

НИИ СОДРУЖЕСТВО УЧЕНЫХ АГРОХИМИКОВ И
АГРОЭКОЛОГОВ «АГРОХИМЭКОСОДРУЖЕСТВО»

КЛАССИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК
ДЛЯ СТРАН СНГ

АГРОХИМИЯ

Под редакцией академика РАН В.Г. Минеева

МОСКВА
2017

УДК 63:54(075.8)
ББК 40.4
А 26

*Издаётся по решению XI симпозиума НП
«Содружество учёных агрохимиков и агроэкологов».
Крым. 2017 г.*

Рецензенты: профессор *В.В. Кидин* (Российская Федерация), профессор *И.Р. Вильдфлуш* (Республика Беларусь), профессор *В.Г. Черненок* (Республика Казахстан).

Авторы: академик РАН Минеев В.Г., академик РАН Сычёв В.Г., академик РАН Гамзиков Г.П., академик РАН Шеуджен А.Х., профессор Агафонов Е.В., профессор Белоус Н.М., профессор Егоров В.С., профессор Подколзин А.И., профессор Романенков В.А., профессор Торшин С.П., академик НАНРБ Лапа В.В., академик НАНРБ Цыганов А.Р., профессор Персикова Т.Ф., академик НАНПК Елешев Р.Е., академик НАНПК Сапаров А.С., *под редакцией академика РАН В.Г. Минеева*

А 26 **АГРОХИМИЯ:** Учебник / В.Г. Минеев, В.Г. Сычёв, Г.П. Гамзиков и др.; под ред. В. Г. Минеева. – М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с., [28] с. цв. илл. (Классический университетский учебник для стран СНГ)

ISBN 978 -5-9238-0236-8

В учебнике на основе достижений агрохимической науки излагаются новые экспериментальные данные по повышению эффективности удобрений во взаимосвязи факторов «почва, климат, удобрение и растение». Большое внимание уделяется роли агрохимии в регулировании питания растений с целью повышения урожая и качества продукции растениеводства, а также в воспроизводстве плодородия почвы, улучшении баланса и биологического круговорота веществ. Все эти вопросы рассматриваются с учетом особенностей природно-климатических условий. Сформулированы новые экологические функции агрохимии. Представлены научные основы зональных систем удобрения и отдельных культур, их агрономическая и экологическая оценка.

Для студентов почвенных специальностей университетов, а также для студентов сельскохозяйственных вузов.

Учебник содержит сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке бакалавров и магистров по направлениям Агрономия, Агрохимия и агропочвоведение, Садоводство и рекомендуется Научно-методическим советом по сельскому хозяйству для использования в учебном процессе.

УДК 63:54(075.8)
ББК 40.4

© ВНИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017
© НП Содружество учёных агрохимиков и агроэкологов
«АГРОХИМЭКОСОДРУЖЕСТВО», 2017



За спонсорскую помощь в издании учебника «Агрохимия» авторский коллектив выражает искреннюю благодарность руководителям научных организаций – членам НП «Агрохимэкосодружество»:

директору ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» академику РАН Сычеву В.Г.,
ректору ФГБОУ ВО «Брянский ГАУ» д.с.-х.н. Белоусу Н.М.,
проректору ФГБОУ ВО «Ставропольский ГАУ» к.вет.н. Морозову В.Ю.,
директору ФГБУН «ИПА СО РАН» д.б.н. Сысо А.И.,
директору ФГБНУ «Рязанский НИИСХ» к.с.-х.н. Гладышевой О.В.,
ректору ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» академику РАН Клименко А.И.,
директору ФГБНУ «ВНИИРАЭ» член-корр. РАН Санжаровой Н.И.,
директору ФГБНУ «Белгородский НИИСХ» д.с.-х.н. Тютюнову С.И.,
директору ФГБНУ «НИИСХ ЦЧП» академику РАН Турусову В.И.,
директору ФГБНУ «ДЗНИИСХ» к.с.-х.н. Зинченко В.Е.,
директору ФГБНУ «ВНИИОУ» д.б.н. Лукину С.М.,
генеральному директору ООО «АНТЦ Рис» д.с.-х.н. Хуруму Х.Д.,
директору ФГБУ САС «Калмыцкая» к.с.-х.н. Унканжинову Г.Д.,
директору ФГБУ ГЦАС «Ростовский» д.б.н. Назаренко О.Г.,
директору ФГБУ ЦАС «Башкирский» Родину Н.А.,
директору ФГБУ ЦАС «Калининградский» д.с.-х.н. Панасину В.И.,
директору ФГБУ САС «Ульяновская» к.с.-х.н. Черкасову Е.А.,
директору ФГБУ ГЦАС «Оренбургский» к.с.-х.н. Березневу А.П.,
директору ФГБУ ГЦАС «Ставропольский» д.б.н. Подколзину А.И.,
директору ФГБУ ЦАС «Омский» д.с.-э.н. Красницкому В.М.,
директору ФГБУ ЦАС «Хабаровский» к.с.-х.н. Крючкову А.П.,
директору ФГБУ ЦАС «Краснодарский» д.с.-х.н. Подколзину О.А.,
директору ФГБУ ГСАС «Костромская» к.с.-х.н. Плотникову А.А.,
директору ФГБУ «САС Камышинская» Солодухину А.В.,
директору ФГБУ ГСАС «Цимлянская» Попову В.В.,
директору ФГБУ ГЦАС «Московский» к.б.н. Ермакову А.А.,
директору ФГБУ ГСАС «Северо-Донецкая» Склярову Н.Ф.,
директору ФГБУ ЦАС «Крымский» Кратюку Д.В.



ОТ РЕДАКТОРА

Агрохимия – молодая отрасль науки, но ее развитие тесно связано с востребованностью практики земледелия. В современном высокопродуктивном мировом земледелии определяющее значение имеет оптимальное минеральное питание культур с учетом биологических особенностей растений и условия их выращивания.

Сбалансированное питание культурных растений макро- и микроэлементами обеспечивает оптимизацию процессов обмена веществ в культурных растениях, формирование заданной величины урожая и качества продукции.

С тех пор как жители нашей планеты начали заниматься земледелием, у них постоянно было особое отношение к земле не иначе как «земля – матушка», «земля - кормилица», «родная земля» и т. д.

Земледельцы уже тысячелетия уделяют особое внимание сохранению и повышению плодородия почвы как главному источнику, определяющему величину и качество урожая. Д.Н. Прянишников показал, что в странах Западной Европы с переходом от трехпольной системы к плодосмену урожайность зерновых увеличилась в 2 раза и составила 1,5 т зерна с 1 га, а с применением удобрений она повысилась еще в 2 раза и составила около 3 т/га. Следовательно, только эти два агроприёма – плодосмен и минеральные удобрения позволили в странах западной Европы за 100 лет повысить урожайность зерновых культур в 4 раза. Поэтому еще в 1937 г. Д.Н. Прянишников, выступая за активное развитие химической промышленности по производству минеральных удобрений в полемике со своими оппонентами, писал: «...Что касается авторов, которые думают, что знают секрет получения высоких урожаев без применения удобрений и без знания агрохимии, то об этих авторах можно только сказать, что напрасно они считают себя материалистами».

В последующие годы во многих странах Мира активное применение минеральных удобрений в комплексе с другими приемами агротехники в условиях интенсивного земледелия (высокопродуктивные сорта, научно обоснованный севооборот, интегрированная система защиты растений, комплексная механизация всех приемов агротехники) позволили достичь урожайности зерновых культур до 7 т/га.

Примером высоких темпов развития аграрного сектора, в том числе и применения минеральных удобрений, среди стран СНГ является Республика Беларусь, где в сочетании с высокой культурой земледелия минеральные удобрения обеспечивают урожайность зерновых культур до 3,5-4 т зерна с 1 га. При этом низко плодородные слабокультуренные дерново-подзолистые почвы превращаются в высокоплодородные сельскохозяйственные угодья. По расчётам учёных Республики Беларусь на долю минеральных удобрений совместно со средствами защиты растений приходится две трети прироста урожая сельскохозяйственных культур. К сожалению, Россия, Казахстан, Украина и другие страны СНГ серьезно отстают от мирового уровня применения минеральных удобрений.

Современная агрохимия основывается на истории агрохимического мировоззрения, ибо научно обоснованная система удобрения в севообороте – самый эффективный путь воспроизводства плодородия почв, создания высокопродуктивных технологий в земледелии. Поэтому не случайно еще в начале XX века К.А. Тимирязев писал, что земледелие стало тем, чем оно есть только благодаря агрохимии и физиологии растений.

За последние десятилетия, особенно со второй половины XX столетия, достигнуты большие успехи в развитии учения об оптимизации показателей почв высокого плодородия, регулировании питания растений с целью получения высококачественной продукции растениеводства. Следовательно, агрохимия является материальной основой обеспечения человека высококачественными продуктами питания, улучшения социальных условий жизни людей на Земле. Существует положительная связь между степенью плодородия, окультуренностью почв и социальным уровнем жизни людей, проживающих на этих землях. Поэтому центральная задача агрохимии – сохранение и улучшение плодородия почв.

Один из основателей науки агрохимии Ю. Либих еще в 1840 году в своем страстном обращении к народам и государствам Мира писал, что «никакая государственная мудрость не в состоянии уберечь от гибели государства, если их правительства и народ не послушают голоса истории и науки и не обратят должного внимания на появляющиеся признаки оскуднения их полей».

С развитием теории минерального питания растений, учения о круговороте и балансе биогенных элементов в агроценозе, создании условий оптимизации питания растений путем применения различных видов и форм удобрений формировалась новая отрасль науки – агрономическая химия.

Большую роль в развитии науки и практики химизации земледелия России и стран СНГ сыграла Географическая сеть опытов с удобрениями, начало которой было положено Д.И. Менделеевым. Позднее Д.Н. Прянишников и А.Н. Лебеядцев продолжили эти опыты на новой основе, охватив ими различные почвенно-климатические зоны. Длительное время руководителем Географической сети опытов был П.Г. Найдин (1941 - 1969 гг.), затем – В.Г. Минеев. С 2003 г. исследования в Географической сети опытов возглавляет В.Г. Сычѳв. Результаты, получаемые в Геосети опытов становятся основой для планирования производства и применения минеральных удобрений и научно обоснованного их распределения по регионам и зонам страны. Во второй половине XX столетия в Географической сети опытов с удобрениями проводили исследования сотни научно-исследовательских учреждений и высших учебных заведений. Ежегодно ими выполнялись тысячи опытов почти на всех почвенных разностях основных земледельческих районов страны.

Большое внимание научными учреждениями уделялось длительным стационарным опытам с удобрениями в севообороте, которые позволяют вскрыть закономерности изменения плодородия почв, урожая и качества сельскохозяйственной продукции при длительном применении удобрений в севооборотах с учетом конкретных почвенных и климатических условий в каждой зоне. Это позволило обосновать в большинстве земледельческих районов страны оптимальные дозы и соотношения питательных веществ в удобрении под многие сельскохозяйственные культуры и при их чередовании в севообороте. Решены и другие важные аспекты агрохимии и химизации земледелия:

- изучены географические закономерности действия удобрений на обширной земледельческой территории страны.

- установлена продуктивность севооборотов в зональном аспекте в зависимости от уровня применения минеральных и органических удобрений в сочетании с химической мелиорацией почвы и другими приемами агротехники.

- определено влияние минеральных и органических удобрений на воспроизводство плодородия почвы, на изменение ее агрохимических, агрофизических и биологических свойств, а соответственно и эффективность удобрений в зависимости от уровня окультуренности и плодородия почвы.

- установлены закономерности изменения качества продукции различных сельскохозяйственных культур в зависимости от интенсивности использования агрохимических средств.

- разработаны методы комплексной почвенно-растительной диагностики питания сельскохозяйственных культур и потребности в минеральных удобрениях в различных почвенно-климатических условиях страны.

- определены потребности земледелия страны в минеральных удобрениях, требования к их ассортименту и качеству.

Однако направленность агрохимических исследований будет постоянно совершенствоваться с учетом уровня развития смежных наук и решения следующих задач:

- разработка оптимальных параметров основных показателей плодородия почв, а в связи с этим применение дифференцированных систем удобрений с учетом разнообразия почвенно-климатических и хозяйственных условий;

- изучение эффективности удобрений в таких крупных сельскохозяйственных регионах страны, как Урал, Западная и Восточная Сибирь, Поволжье, которые в перспективе будут крупными потребителями удобрений;

- расширение и углубление исследований по установлению закономерностей действия и эффективности удобрений с учетом погодных условий: засухи, избытка влаги, высокой и низкой температур и др.;

- дальнейшая разработка теоретических положений агрохимии и физиологии минерального питания растений с целью оптимизации применения удобрений и реализации потенциальной продуктивности сельскохозяйственных культур.

Весьма существенное значение приобретают исследования по разработке агроэкономических требований сельского хозяйства к ассортименту и качеству удобрений, более полному их использованию и повышенной окупаемости их применения. Интерес представляет сочетание в удобрениях макро- и микроэлементов со стимуляторами роста, ингибиторами нитрификации для снижения потерь биогенных элементов, а также изучение ультраконцентрированных удобрений с отсутствием нежелательных вредных примесей.

Комплексный подход к изучению влияния агрохимических средств на баланс и круговорот питательных веществ в земледелии, на плодородие и свойства почвы, продуктивность сельскохозяйственных культур и качество продукции растениеводства, экономическую их окупаемость и решение экологических аспектов химизации земледелия – важнейшая задача и необходимое условие перспективных агрохимических исследований.

Организация Государственной агрохимической службы с «Союзсельхозхимией» завершили в стране построение стройной системы от масштабных агрохимических исследований, разработки научно-обоснованных агротехнологий до реализации достижений науки в практику отечественного земледелия. Все это потребовало повышенного внимания к подготовке агрономов и агрохимиков в аграрных вузах бывших союзных республиках, ныне стран СНГ.

В XX столетии переход на интенсивную систему земледелия с комплексным использованием промышленных удобрений и химических средств защиты растений при нарушении технологий их применения приводило к загрязнению окружающей среды и последующим негативным последствиям. Деятельность атомных электростанций и других объектов использования ядерной энергии в мирных целях стало приводить к кумуляции радионуклидов в почвах сельхозугодий. Возникла необходимость в проведении масштабных исследований по снижению негативных последствий и разработке новых экологических функций агрохимии, влияния удобрений в сочетании с другими средствами химизации на плодородие и свойства почв, природные водоемы и атмосферу, качество продукции, фито-санитарное состояние почв и посевов.

Переход на рыночные отношения в аграрном секторе вызвал необходимость проведения исследований и отражения в учебном курсе не только агрономической, но и экономической эффективности удобрений.

С созданием Государственной агрохимической службы и "Союзсельхозхимии" были разработаны прогрессивные технологии химизации земледелия от завода до поля с механизированными складами для хранения удобрений и с тукосмешением. С распадом Советского Союза были серьезно подорваны основы прогрессивного цивилизованного земледелия во многих союзных республиках.

В Республике Беларусь не только сохранены достигнутые успехи в химизации земледелия, но и существенно усовершенствована методология проведения агрохимических исследований и реализация достижений науки в инновационных технологиях. Этот положительный опыт заслуживает пристального внимания руководящих органов России и других стран СНГ.

На международной конференции ученых агрохимиков и агроэкологов стран СНГ (2012 г.) в г. Минске было принято решение об уделении особого внимания в проведении исследований в Географической сети опытов с удобрениями особенно по воспроизводству плодородия

почв и реализации экологических функций агрохимии, а также в совершенствовании методологии агрохимического обеспечения земледелия в странах СНГ.

Учитывая определенные успехи в развитии агрохимических исследований и в практике химизации земледелия в странах ближнего и дальнего зарубежья ученые приняли решение издать для стран СНГ типовой учебник «Агрохимия» на основе учебника по агрохимии для классических университетов (автор В.Г. Минеев, 2006) с целью подготовки высококвалифицированных специалистов агрономов и агрономов-агрохимиков в аграрных вузах этих стран.

Для подготовки данного учебника привлечены материалы и научные достижения известных учёных-агрохимиков Российской Федерации, Белорусской Республики, Республики Казахстан и Украины.

Академик РАН В.Г. Минеев

Часть 1.

ПРЕДМЕТ, МЕТОДЫ И ЗАДАЧИ АГРОХИМИИ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АГРОХИМИИ. ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Глава 1.

ПРЕДМЕТ, МЕТОДЫ И МЕСТО АГРОХИМИИ СРЕДИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ НАУК

Агрохимия – наука об оптимизации питания растений, применения удобрений и плодородия почвы с учетом биоклиматического потенциала для получения высокого урожая и качества продукции.

Понятие об агрохимии постоянно совершенствовалось в связи с расширением задач этой отрасли науки и формированием новых ее экологических функций.

Такое понятие об агрохимии отражает сложную диалектическую взаимосвязь между растением, почвой, климатом и агрохимическими средствами. Изучение этой взаимосвязи является главной задачей агрохимии.

Агрохимия как наука выделилась в самостоятельную отрасль знания раньше, чем физиология растений. Основные положения учения о корневом питании растений разработаны агрохимиками, которые еще в конце XIX столетия обратили внимание и на биологические процессы в почве: нитрификацию, фиксацию молекулярного азота из атмосферы бобовыми культурами с участием клубеньковых бактерий.

Самостоятельные дисциплины – агрохимия, почвоведение, физиология растений и микробиология – не могут заменить друг друга, но агрохимики, владея глубокими знаниями сложной диалектической взаимосвязи между почвой, погодно-климатическими условиями, растениями и агрохимическими средствами, могут направленно регулировать процессы взаимодействия факторов в агроэкосистеме, добываясь максимального хозяйственно полезного результата.

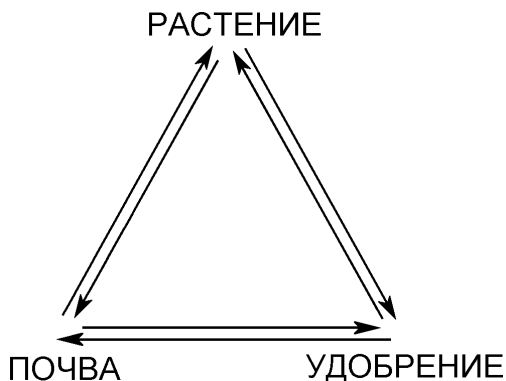
Д.Н. Прянишников – основоположник отечественной агрохимической школы – считал, что **задачей агрохимии является изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех мер воздействия на химические процессы, протекающие в почве и растениях, которые могут повышать урожай или изменять его качество.**

Удобрения создают оптимальный режим питания растений макро- и микроэлементами, направленно регулируют обмен органических и минеральных соединений, что позволяет реализовать потенциальную продуктивность растений по количеству и качеству урожая. Но и сами удобрения подвергаются воздействию растений: труднорастворимые их формы растения переводят в доступные соединения, а обладая избирательной поглотительной способностью по отношению к отдельным элементам, создают физиологическую кислотность или щелочность минеральных удобрений.

Агрохимические средства существенно влияют на химические и физические свойства почвы, а также на активность и направленность микробиологических процессов, но одновременно и сами изменяются под влиянием свойств почвы. Например, в кислых почвах фосфоритная мука разлагается и фосфор переходит в доступную для растений форму. То же происходит и с карбонатами известковых удобрений. На этом принципе основана химическая мелиорация (известкование) кислых почв, вызывающая нейтрализацию почвенного раствора. Обменные реакции в почве между катионами вносимых солей минеральных удобрений и почвенным поглощающим комплексом могут вызвать негативные или позитивные явления. Например, вытеснение алюминия из поглощающего комплекса калием при внесении KCl ведет к дополнительному подкислению почвенного раствора, а обменные реакции между кальцием вносимых удобрений и натрием поглощающего комплекса щелочных почв существенно улучшают их физико-химические свойства, повышают биологическую активность. На этом основана химическая мелиорация (гипсование) солонцовых почв.

Д.Н. Прянишников выразил взаимосвязь между тремя взаимодействующими факторами: почвой, растением и удобрением – простой схемой (рис. 1.1), отражающей сущность предмета агрохимии. Задача агрохимии состоит в том, чтобы применением удобрений создать оптимальные условия для питания растений. Такой же подход к оценке системы удобрений должен быть и в отношении почвы. Только удовлетворяя биологические требования растений, можно реализовать потенциальную продуктивность растений, заложенную в генотипе новых сортов.

Рис. 1.1.
Схема
взаимоотношений
между растениями,
почвой и удобрениями,
как сущность
предмета агрохимии
(по Д.Н.Прянишникову)



Известный русский ученый К.К.Гедройц отмечал, что урожайность зависит от трех факторов: климата, почвы и самого возделываемого растения. Климат же трудно поддается изменениям, но смягчить его действие можно путем улучшения свойств почв, находящихся в данном регионе. Изменяя свойства почвы, человек может в определенной мере регулировать в желательном направлении эффект климатических условий на растения. Действие удобрений К.К.Гедройц также рассматривал опосредованно через изменение свойств почвы.

Прогресс в развитии теоретических положений формирования количества и качества продукции культурных растений вызвал необходимость введения *биоклиматического потенциала* в понятие агрохимии. Разработана теория получения программированных урожаев, которая на практике дает положительные результаты, созданы и совершенствуются статические модели плодородия почвы по комплексу оптимальных параметров агрохимических и агрофизических показателей ее свойств с учетом уровня урожая отдельных культур и продуктивности в целом специализированных севооборотов. Наконец, учеными-аграрниками и биологами разрабатываются модели продукционных процессов отдельных сельскохозяйственных культур, реализация которых в перспективе позволит получать максимально высокие урожаи.

Во всех случаях прежде всего необходимо выяснить биоклиматический потенциал данного района или области, после чего, используя агрохимические средства, создать оптимальные условия питания сельскохозяйственных культур. Географическая сеть опытов с удобрениями и многочисленные эксперименты в зональном аспекте по унифицированным схемам и методам позволяют в определенной степени учесть важнейший фактор – климат – в системе климат–

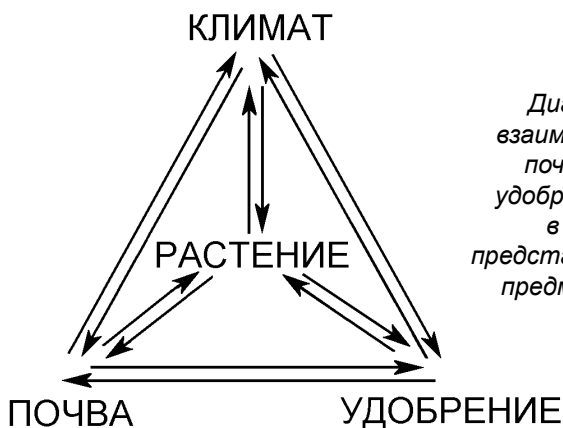


Рис. 1.2.
 Диалектическая
 взаимосвязь системы
 почва – климат –
 удобрения – растения
 в современном
 представлении сущности
 предмета агрохимии

почва – удобрения – растения. Тесную диалектическую взаимосвязь четырех факторов агрохимии можно представить схемой (рис. 1.2).

Поэтому в определении «агрохимия» Государственным стандартом в 1983 г. был введен климат, и оно приобрело в те годы следующую формулировку: «**Агрохимия – наука о взаимодействии удобрений, почвы, растений и климата, круговороте веществ в земледелии и рациональном применении удобрений**» (Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 13 июля 1983 г. № 3110).

Недооценка климатических особенностей конкретного сельскохозяйственного района может привести к серьезным погрешностям в определении значения минеральных удобрений в создании урожая и объективной оценке их эффективности. Это необходимо иметь в виду еще и потому, что за последние годы даже длительные стационарные опыты с удобрениями и многофакторные эксперименты ряда научных учреждений нередко проводятся без учета основных показателей погоды в процессе вегетации растений, что не позволяет, во-первых, воспроизвести условия эксперимента, а во-вторых, дать научный анализ причин недополучения планируемого урожая и снижения окупаемости удобрений. Поэтому *учет погодно-климатических условий – неотъемлемая часть полевого агрохимического опыта.*

Анализ достижений агрохимии и смежных наук позволяет в обобщенном виде сформулировать следующие основные задачи агрохимии на современном этапе развития этой отрасли науки: изучение свойств и химического состава различных видов органических и минеральных удобрений и их влияния на:

- 1) круговорот и баланс питательных веществ в земледелии;
- 2) свойства почв и воспроизводство их плодородия;
- 3) питание растений и обмен в них органических и минеральных веществ в процессе вегетации;
- 4) биологическую активность почвы и ее биоразнообразие;
- 5) формирование количества и качества продукции;
- 6) агроэкологические функции агрохимии в системе почва – растение;
- 7) экономико-энергетические показатели эффективности использования агрохимических средств (рис. 1.3).

Диалектическую взаимосвязь комплекса этих задач необходимо учитывать при разработке программы исследований, приемов или новых технологий с интенсивным применением удобрений в системе агрономических мероприятий. За последние годы возрастает значение экономической и экологической оценок эффективности применения удобрений, установлены и достаточно изучены экологические функции агрохимии. Поэтому главная задача состоит в том, чтобы получать высокие урожаи полноценной по качеству продукции на основе глубоких научных знаний, с наименьшими ресурсными затратами и улучшением природной среды.



Рис. 1.3. Объекты изучения агрохимии

Агрохимия изучает сложные процессы взаимосвязи факторов роста и развития растений в конкретных почвенно-климатических условиях. Вскрыв закономерности этих процессов, можно определить пути оптимизации питания растений с помощью макро- и микроудобрений, регулировать обмен веществ в растении в процессе вегетации в целях получения высокого урожая возделываемой культуры и улучшения качества продукции.

Питание растений – сложный процесс поступления отдельных биогенных элементов из воздуха (например, при ассимиляции углекислого газа листьями в процессе фотосинтеза) и поглощения основной массы доступных минеральных солей через корневую систему из раствора и твердой фазы почвы. Сложность регулирования и оптимизации процесса питания растений и обмена веществ заключается в том, что он находится в тесной взаимосвязи с погодно-климатическими условиями, которые мы не всегда можем регулировать (температурный режим воздуха и почвы, аэрация, водообеспечение, относительная влажность воздуха и др.). От этих же условий в значительной мере зависит и содержание в почве питательных веществ в доступной для поглощения растениями форме. Мобилизация или иммобилизация отдельных питательных элементов в почве в значительной мере также определяется активностью и направленностью химических, физико-химических и микробиологических процессов, а также биологическими свойствами самого растения, динамикой поглощения отдельных катионов и анионов в процессе вегетации.

На сложные процессы, определяющие рост и развитие растений, активное и сильное влияние оказывают минеральные и органические удобрения. Они изменяют концентрацию солей в почве, интенсивность и направленность химических, физико-химических и биологических процессов, реакцию и буферность почвы, ее поглонительную способность. Исследуя эти процессы в динамике и во взаимосвязи, агрохимия вскрывает сущность явлений, закономерности в обмене веществ и формировании урожая и использует их для направленного регулирования роста растений и реализации их потенциальной продуктивности. Самым сильным и быстродействующим средством агрохимии при направленном регулировании этих процессов, как и при ее вмешательстве в круговорот веществ в земледелии, является удобрение почв. Без него невозможно оптимизировать питание растений, регулировать величину и качество урожая, влиять на воспроизводство плодородия почвы.



Рис. 1.4. Содержание понятия «удобрение» (по Д.Н. Прянишникову)

Удобрение – это вещество для питания растений и повышения плодородия почвы.

Д.Н. Прянишников в своем определении понятия «удобрение» указывал, что оно может *содержать пищу для растений, усиливать мобилизацию питательных веществ в почве, повышать энергию жизненных процессов в ней и изменять свойства самой почвы*, т.е. оказывать многостороннее прямое и косвенное действие на почву и растения (рис. 1.4).

В соответствии с задачами агрохимии расширились и методы исследований (рис. 1.5). Среди них особое место занимают **лабораторные: химические, физико-химические методы анализа растений, почв и удобрений**. За последние годы достигнут прогресс в разработке высокопроизводительных и точных физико-химических и физических методов лабораторного анализа, а соответственно и современного лабораторного оборудования.

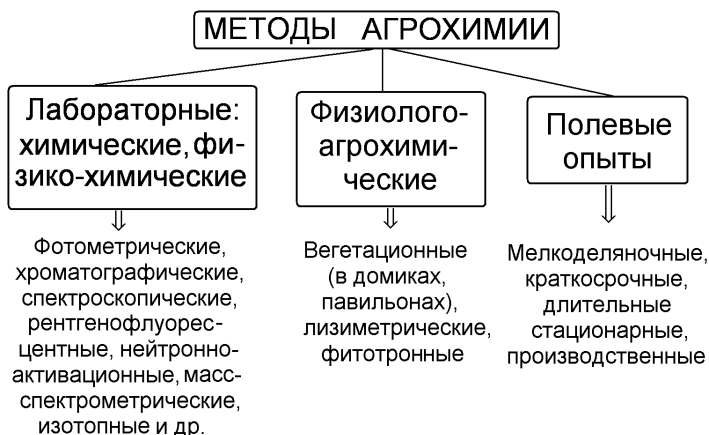


Рис. 1.5. Основные методы агрохимии

Широкое распространение получили и такие методы, как *фотометрия, хроматография, спектроскопия, атомно-абсорбционная спектрофотометрия, рентгенофлуоресцентный, нейтронно-активационный, масс-спектрометрия* и др. Для более точных исследований обмена веществ в растении широко используются *методы стабильных и радиоактивных изотопов*. Высокопроизводительная современная аналитическая техника и ЭВМ широко используются в массовых поточных анализах, т.е. при агрохимическом обслуживании сельскохозяйственных предприятий. Это позволяет применять удобрения и другие химические средства на глубокой научной основе. Портативные агрохимические приборы индивидуального пользования позволяют специалисту непосредственно в поле быстро определить содержание какого-либо элемента в растении или почве, свойство почвы (кислотность или щелочность и др.) и оперативно внести коррективы в рекомендации по применению удобрений.

В последние десятилетия стала широко применяться *комплексная почвенно-растительная диагностика питания растений и применения удобрений*, в которой сочетаются анализ почвы в лаборатории на точных современных приборах для установления оптимальных доз основного удобрения с последующей корректировкой доз удобрений в подкормке в процессе вегетации культуры после анализа растений в поле. Это позволяет оптимизировать питание растений (например, азотом) с помощью удобрений в процессе всей вегетации растений и получать планируемый урожай высококачественной продукции.

Вторая группа методов – **физиолого-агрохимические**, включающие *вегетационные* (эксперименты проводятся в специальных сосудах, размещаемых в вегетационных павильонах-домиках, теплицах) и *лизиметрические методы* (исследования проводятся в больших сосудах – $1 \times 1 \times 1$; $1 \times 1 \times 2$ м³ и т.д. – с изолированными по вертикали стенками в условиях, близких к естественным). В настоящее время последний метод широко используется в научно-исследовательских учреждениях мира, особенно при исследовании миграции, трансформации питательных элементов в почве, в балансовых экспериментах, изменения свойств почв в динамике, а также в физиолого-биохимических исследованиях методом изотопов особенностей обмена веществ в растениях и формирования качества продукции.

В практике часто вегетационный и лизиметрический методы применяются в сочетании и дополняют друг друга. К физиолого-агрохимическим методам относятся исследования в *фитотронах*, где контролируются и регулируются все показатели продукционного

процесса растений: корневое питание, водообеспечение, интенсивность и качество света, температурный режим, фотосинтез, газовый обмен и др. Такие исследования проводятся с полной автоматизацией и регистрацией параметров роста и развития растений соответствующими приборами. Это наиболее точный метод физиолого-биохимических и агрохимических исследований, позволяющий вскрыть процесс обмена веществ по широкой программе исследований с участием всех факторов жизни растений, определить потенциальную продуктивность растений и пути ее реализации для конкретного генотипа, создать динамическую модель продукционного процесса. Поэтому фитотроны широко используются и в селекционно-генетических исследованиях. Для успешного проведения экспериментов в фитотронах, их эффективной эксплуатации требуется высокая квалификация ученых и специалистов многих отраслей знаний. Они применяются, как правило, в наиболее крупных научно-исследовательских учреждениях и высших учебных заведениях.

Третья группа методов агрохимических исследований – **полевые опыты**. Полевой опыт с удобрениями – это опыт, проводимый в полевых условиях для определения действия удобрений на урожай сельскохозяйственных культур, его качество, а также на плодородие почвы.

Мелкоделяночные опыты проводятся для более глубоких, чаще поисковых, экспериментов. Они часто сочетаются с *вегетационными и лизиметрическими опытами*, но в условиях, идентичных или близких к естественным. В мелкоделяночных опытах часто используются *меченые атомы*, создаются и проверяются модели почв высокого плодородия, испытываются новые виды и формы удобрений, их сочетание с другими химическими средствами или *микробиологическими исследованиями* и т.д. Мелкоделяночные опыты с удобрениями проводятся в полевых условиях на делянках площадью не более 10 м².

В *краткосрочных полевых опытах* действие удобрений на урожай и качество сельскохозяйственных культур изучается не менее трех лет в определенных почвенных условиях. В Географической сети опытов в нашей стране для изучения эффективности новых форм и видов удобрений широко используются их сочетания с другими химическими средствами. Данные этих опытов широко используются для определения потребности в различных видах и формах минеральных удобрений в зональном аспекте или административном (район, область, республика), а также при определении перспективной потребности страны в различных видах и формах удобрений. Резуль-

таты этих опытов вводятся в банк данных, а затем с помощью ЭВМ по соответствующей программе выдается необходимая информация.

Мелкоделяночные и краткосрочные полевые опыты широко используются и для совершенствования методов комплексной почвенной и растительной диагностики оптимизации питания растений и применения удобрений.

Научными учреждениями страны проводится широкая сеть стационарных и длительных опытов с удобрениями. *Стационарный опыт с удобрениями* – это полевой опыт с систематическим внесением удобрений, проводимый на одном участке, в севообороте, в звене севооборота или при бессменной культуре.

Длительный полевой опыт с удобрениями – это стационарный опыт, проводимый более одной ротации севооборота. Длительные стационарные опыты дают ценную информацию по оценке сравнительной эффективности различных систем удобрений в севооборотах, т. е. органических, минеральных, их сочетаний; уровня насыщенности севооборотов удобрениями; оптимального распределения органических и минеральных удобрений по культурам севооборота, а также форм удобрений. Эти опыты являются *основной базой для разработки статических моделей плодородия почв, исследования закономерностей изменения плодородия почв и качества продукции при длительном применении удобрений, проведения балансовых исследований, миграции питательных элементов по профилю почвы и накопления балластных токсических элементов* (в том числе тяжелых металлов в почве при длительном применении удобрений и других агрохимических средств, т. е. для решения ряда экологических проблем агрохимии) и т. д. Опыты проводятся в условиях, близких к производственным. Хорошо выдержанные в методическом отношении длительные стационарные опыты с удобрениями представляют большую ценность для развития науки, использования информации для определения перспектив применения удобрений в стране.

Производственные опыты с удобрениями проводятся в производственных условиях для проверки рекомендаций и экономической оценки действия удобрений на урожай и его качество. Схемы их, как правило, краткие и предназначены для испытания и доработки научных рекомендаций в условиях производства, в конкретных почвенно-климатических условиях. Результаты производственных опытов играют большую роль при внедрении и обосновании эффективности одного или комплекса приемов химизации земледелия при подготовке практических рекомендаций.

Правильное научное обоснование мероприятий по химизации земледелия требует как глубокого теоретического изучения вопросов питания растений, химии почв и удобрений, так и практического опыта и организации широкой проверки научных достижений в производстве. Правильная система применения удобрений в хозяйстве строится на основе сочетания минеральных и органических удобрений, что позволяет улучшать круговорот веществ в земледелии. Ведь значительная часть питательных элементов минеральных удобрений уже в первый год их использования поступает в солому, зерно, сено, корнеклубнеплоды, силос и другие сельскохозяйственные продукты, которые впоследствии идут на корм скоту и попадают в навоз. Поэтому применение навоза представляет собой повторное использование части питательных веществ минеральных удобрений, ранее поступивших от химической промышленности. Сколько бы ни производилось минеральных удобрений, сколько бы их ни применялось в сельском хозяйстве, навоз всегда будет главнейшим элементом системы удобрения.

Для не насыщенных основаниями и засоленных почв наибольшая эффективность отмечается при сочетании минеральных и органических удобрений на фоне химической мелиорации почв, т.е. известкования кислых и гипсования солонцовых почв. *Отдача от минеральных удобрений на почвах с предварительным известкованием и гипсованием значительно возрастает, что объясняется прежде всего существенным улучшением химических, физических и биологических их свойств.* Повышается содержание подвижных форм питательных веществ в почве, создаются благоприятные условия для процессов гумификации, улучшаются поглощательная способность и буферность почв, условия питания, роста и развития растений, которые становятся более устойчивыми к неблагоприятным факторам и формируют большой урожай и продукцию лучшего качества.

Все агрохимические средства (минеральные, органические, известковые, гипсосодержащие удобрения и др.) составляют основу химизации земледелия. Задача агронома и агрохимика-почвоведа состоит в том, чтобы глубоко изучить комплексное воздействие агрохимических средств на почву, растение и природную среду, с тем чтобы создать оптимальные условия для роста культурных растений и реализации потенциальной продуктивности с учетом воспроизводства плодородия почвы и улучшения экологической ситуации в земледелии.

МЕСТО АГРОХИМИИ СРЕДИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ НАУК

Внесение удобрений – сильное и активное вмешательство в круговорот питательных элементов в земледелии, в создание активного баланса в системе почва – удобрение – растение. Без удобрений нельзя добиться расширенного воспроизводства плодородия почвы.

Главное содержание агрохимии как науки можно представить тремя отделами: химия растений, химия почвы, химия удобрений. В том, что химия растений является разделом физиологии растений и как глава агрохимии, нет никакого противоречия. Так же и химия почвы, с одной стороны, входит в состав почвоведения, являясь важнейшим разделом этой науки, а с другой – является неотъемлемой частью агрохимии. Химия удобрений полностью разработана агрохимиками. Научные исследования по данному разделу нельзя проводить в отрыве от химии почв, физиологии растений и земледелия.

Агрохимию нельзя рассматривать параллельно с почвоведением, физиологией растений, земледелием, микробиологией. Она проникает внутрь этих дисциплин и в каждой охватывает то, что необходимо для исследования при создании оптимальных условий жизни растений с целью реализации их потенциальной продуктивности.

Агрохимия выделилась в самостоятельную дисциплину именно вследствие теоретической и практической целесообразности.

Д.Н. Прянишников отмечал, что как нецелесообразно делить почвоведение между агрохимией, агрофизикой и микробиологией, так же нецелесообразно растворять агрохимию в почвоведении, физиологии растений и земледелии.

Диапазон агрохимических исследований очень широк. Это – изучение превращения питательных веществ в почве и метаболизма их в растениях, оптимизации питания растений путем применения удобрений, воспроизводства плодородия почв с учетом оптимальных параметров основных его показателей, применения удобрений на планируемый урожай и регулирования качества растениеводческой продукции.

Многофакторная схема содержания науки агрохимии как взаимосвязь климата, почвы, растения и удобрения, выполнение системных исследований и реализация достижений агрохимии на практике связана с рядом других фундаментальных и прикладных дисциплин (рис. 1.6).

На рис. 1.6 представлен далеко не полный перечень отраслей знаний, с которыми агрохимия тесно взаимосвязана при решении теоретических и практических задач. Это можно видеть даже из



Рис. 1.6. Связь агрохимии с другими фундаментальными и прикладными науками

краткого перечня вопросов и разделов, представляющих общий интерес как для агрохимии, так и для других смежных отраслей наук.

Например, трудно переоценить тесную связь агрохимии с *почвоведением*, так как эффективность удобрений в значительной степени определяется химическими, физическими, физико-химическими свойствами почвы, ее биологической активностью. Эти показатели тесно связаны с содержанием и подвижностью питательных веществ в почве, что предопределяет дозы удобрений и соотношение в них биогенных элементов.

Действие и окупаемость удобрений зависят от окультуренности почв, гумусного ее состояния, поглотительной способности, буферности и реакции среды. Поэтому важнейшей задачей агрохимии является изучение свойств и плодородия почвы, баланса питательных веществ в агроценозе, путей его регулирования и воспроизводства плодородия почв.

Взаимосвязь свойств почв и удобрений проявляется в процессах мобилизации, иммобилизации, трансформации, миграции питательных веществ, на что существенное влияние оказывают выращиваемые в агроценозе растения.

Не менее тесно агрохимия связана с *физиологией растений*. Две синтетические лаборатории растения – лист и корневая система – могут осуществлять свою деятельность благодаря корневому и воздушному (фотосинтез) питанию растений. А это связано с поступлением и метаболизмом питательных веществ в растении, что и обеспечивает формирование основных показателей качества продукции. Использование таких агрохимических приемов, как корневые и некорневые подкормки, регулирует питание растений через корни и листья, направленно оптимизирует условия наиболее активного роста и развития растений, формирования большего урожая и лучшей по качеству сельскохозяйственной продукции. На знании закономерностей питания растений и потребности в отдельных питательных элементах в процессе вегетации разработаны методы растительной диагностики (стеблевой, тканевой, листовой) обеспеченности культуры биогенными элементами.

Следовательно, физиология питания и обмен веществ в растениях являются важнейшей составляющей частью теоретических положений агрохимии, которые часто используются в практических целях для направленного регулирования формирования количества и качества продукции растениеводства при проведении фундаментальных исследований по проблеме синтеза органических соединений и решения практических задач, в частности улучшения химического состава и питательной ценности продукции растениеводства (рис. 1.7).

Владея знаниями таких биохимических процессов, как метаболизм биогенных элементов, синтез органических соединений, сопряженность энергообмена при образовании отдельных органических веществ и их распада в процессе дыхания, агрохимические средства могут изменять химический состав выращиваемых растений: содержание белков в зерне пшеницы, сахаристость корнеплодов сахарной свеклы, масличность семян подсолнечника, крахмалистость клубней картофеля и т.д. С учетом периодичности питания культурных растений важно создавать необходимые условия для образования полезных органических веществ в растении. Нарушение этих важных научных положений может привести к негативным последствиям, ухудшению химического состава и питательной ценности продукции с пониженным содержанием в ней белков, сахаров, жиров и других важных органических и минеральных веществ.

Многие разделы агрохимии тесно связаны с биологией почвы и с *микробиологией*. Например, состояние и регулирование азотного режима в агроценозах – важнейшая задача агрохимии, но успешное



Рис. 1.7. Связь агрохимии с фундаментальными науками

ее решение возможно при правильной оценке биологических источников азота в системе почва-растения: симбиотической и ассоциативной азотфиксации, а также свободно живущими микроорганизмами. Активность этих процессов зависит от правильной системы применения удобрений. Трансформация азота в почве – процесс в основном микробиологический. Агрохимик должен владеть этими знаниями при разработке приемов оптимизации азотного удобрения культурных растений.

Многие функции удобрений нельзя объективно оценить без знания микробиологических процессов в агроценозе: питание растений фосфором, изменение микробоценоза почвы под влиянием различных систем удобрения, изменение биологической и ферментативной активности почвы при систематическом применении агрохимических средств, влияние удобрений на грибные болезни растений и др.

Процессы мобилизации и иммобилизации азота в почве (аммонификация, нитрификация, денитрификация) протекают под влиянием почвенной микробиоты.

То же можно сказать и о симбиотической и несимбиотической фиксации азота атмосферы, о процессах гумификации и минерализации гумуса, о роли микоризных грибов и внеклеточной фосфатазной активности в питании высших растений фосфором и т.д. Для активизации биологических процессов в почве применяют специальные бактериальные препараты (нитрагин, ризоторфин и др.). Все это необходимо учитывать при разработке систем удобрения в агроценозе.

Возрастающие экологические негативные явления в агроэкосистемах связывают агрохимию с экологией. Повышается роль агрохимических средств в выполнении экологических функций. Так, техногенное загрязнение агроценозов тяжелыми металлами, радионуклидами и другими токсическими веществами вызывает необходимость использования комплекса агрохимических средств и приемов, направленных на снижение поступления токсикантов в растения и в трофические цепи.

Экологическая оценка особенно необходима при применении различных нетрадиционных видов удобрений – отходов отраслей промышленности, коммунального хозяйства при использовании на удобрение местных органических и минеральных сырьевых ресурсов.

Многие экологические функции агрохимии: поддержание биологического круговорота веществ, сохранение биоразнообразия и улучшение микробоценоза почвы, иммобилизация токсических веществ, сохранение биологической активности почвы, активизация азотфиксирующей способности почвы, предотвращение эвтрофирования природных вод и др. – тесно связаны с соответствующими разделами экологии. Создание оптимальных культурных агроландшафтов в различных природных зонах в соответствии с их специализацией возможно с помощью агрохимических средств. Применяя удобрения, регулируя водный режим, мобилизуя внутренние ресурсы ландшафта, человек создает культурный агроландшафт с оптимальным геохимическим режимом. Такой ландшафт является наилучшим в гигиеническом отношении и отвечает оптимальным условиям жизни человека.

При характеристике геохимического ландшафта необходимо учитывать как взаимосвязь химического состава отдельных его звеньев: почвы, растительности, поверхностных и грунтовых вод, так и факторы, влияющие на миграцию химических элементов.

Подвижность химических элементов в биосфере непосредственно связана с живым веществом и природными водами, т.е. синтез и минерализация органических веществ – процессы, составляющие круговорот химических, особенно биогенных элементов в системе почва – растение.

Систематическое применение агрохимических средств приводит к изменению химического состава почвы, растений, грунтовых вод и т.д., а следовательно, влияет на круговорот веществ в данном ландшафте. Вновь созданный аграрный тип ландшафта является качественно отличным от естественных ландшафтов. Зная оптимальные параметры химического состава звеньев агроландшафта, научно обоснованным применением агрохимических средств его можно существенно улучшить. При комплексном агрохимическом воздействии на звенья такого агроландшафта он приобретает агрохимическое содержание.

В этих экологических функциях агрохимии отмечается ее тесная взаимосвязь с *геохимией*. В.А. Ковда (1984) отмечал, что поведение удобрений в ландшафте необходимо изучать с привлечением биогеохимических методов исследований, «возникает новое направление в науке – агрогеохимия». Он считал, что исследование превращения удобрений во всех компонентах ландшафта позволяет получать от удобрений наибольшую отдачу с наименьшими отрицательными экологическими последствиями.

Можно привести примеры связи агрохимии с другими фундаментальными науками. Например, существуют географические закономерности действия удобрений, которые определяются почвенно-климатическими условиями зон. Эффективность удобрений также определяется биоклиматическим потенциалом зоны. Здесь отмечается связь агрохимии с *географией* (рис. 1.7).

Эффективность же агроприемов, в том числе и применяемых агрохимических средств, в значительной мере определяется погодно-климатическими условиями, что связывает агрохимию с *метеорологией* и т.д.

Нет наук чисто фундаментальных и прикладных. Такое деление весьма условно. Крупные достижения в области фундаментальных отраслей знаний в конечном счете завершаются совершенствованием высоких наукоемких технологий и оказывают влияние на ускорение развития соответствующих прикладных наук.

Что касается агропромышленного производства, то агрохимия по существу тесно связана со всеми отраслями сельскохозяйственных наук (рис. 1.8).

Еще К.А. Тимирязев (1935) писал, что земледелие стало тем, что оно есть, только благодаря агрономической химии и физиологии растений. Связь агрохимии с земледелием объясняется тем, что система применения удобрений – важнейшее звено современного научного земледелия. Одновременно она является и стержневым вопросом



Рис. 1.8. Связь агрохимии с прикладными направлениями

прикладной части агрохимии. Например, действие удобрений в значительной мере определяется наличием подвижных питательных веществ в почве, а также состоянием ее водного и воздушного режимов. А это зависит от предшественников и дифференцированной обработки почвы. То же можно сказать и о системе научно обоснованных специализированных севооборотов, которая определяет дозы и соотношения удобрений, распределение минеральных, органических удобрений и химических мелиорантов по культурам севооборота. Поэтому системы севооборотов, удобрений и обработки почвы – важнейшие взаимосвязанные разделы научного земледелия.

Комплекс всех агрономических приемов в процессе вегетации культуры, в том числе и применение удобрений, особенно при разработке эффективных высокопродуктивных технологий, определяется биологическими требованиями культуры, метеорологическими условиями, плодородием почвы, видом предшественника и т.д. А это связывает агрохимию с *растениеводством*.

За последние годы высокие темпы роста урожаев различных сельскохозяйственных культур в западноевропейских странах и передовых хозяйствах нашей страны отмечаются при комплексном научно обоснованном применении в прогрессивных технологиях агрохимических средств на основе комплексной почвенно-растительной

диагностики питания растений и применения удобрений и химических средств защиты с учетом фитосанитарного состояния почв и посевов. В этом случае резко возрастает окупаемость как минеральных удобрений, так и химических средств защиты растений (пестицидов). В этом проявляются общие интересы двух наук: агрохимии и *защиты растений*.

Наибольший эффект от удобрений получается в условиях орошения при оптимальном сочетании водного режима почв и питательных элементов. Поэтому культуры, возделываемые при орошении, прежде всего обеспечиваются удобрениями в соответствии с научными рекомендациями. В этих условиях отмечается наибольшая окупаемость применяемых удобрений.

То же можно сказать и о высокой эффективности удобрений при применении их под сельскохозяйственные культуры на мелиорированных осушенных землях, особенно с двойным регулированием водного режима. Это свидетельствует о тесной связи агрохимии с *мелиорацией земель*.

Для расширенного воспроизводства плодородия почвы, улучшения круговорота веществ в земледелии и создания активного баланса биогенных макро- и микроэлементов в системе почва – растение – удобрение важно максимально использовать все местные удобрительные ресурсы, которые никогда не утратят своего значения, какими бы ни были темпы и объемы применения минеральных удобрений. Поэтому данная задача всегда будет актуальной.

Особое значение придается навозу. Хорошо налаженная и правильная технология накопления, хранения и использования навоза – важнейший показатель уровня культуры земледелия. Поэтому агрохимик должен знать основы *животноводства* и рациональное использование в земледелии отходов этой отрасли сельского хозяйства. Без этого не может быть и рационального применения минеральных удобрений.

Высокие темпы химизации земледелия требуют постоянного совершенствования ее *механизации* и *автоматизации*, т.е. совершенствования транспортных средств для перевозки удобрений; машин по тукосмешению и внесению минеральных и органических удобрений; техники по накоплению, хранению навоза, приготовлению различных компостов, их транспортировке и внесению по полям севооборота.

Какой должна быть сельскохозяйственная техника для выполнения комплекса работ и автоматизации производственных процессов по рациональному использованию органических удобрений, в значительной мере определяет агрохимик.

Севооборот с системой удобрений имеет важное организационно-экономическое значение. Судить об эффективности удобрений можно только с учетом агроэкономической их оценки. Реализовать в хозяйстве все приемы, связанные с химизацией земледелия, можно только при выполнении комплекса организационно-экономических и хозяйственных мероприятий и при наличии материально-технической базы по транспортировке, хранению, тукосмешению и внесению удобрений. Все это требует от агрохимика знания научных основ организации и экономики сельскохозяйственного производства.

Результаты комплексного использования всех факторов земледелия в историческом аспекте можно видеть на примере роста урожая пшеницы в странах Западной Европы.

В Средние века при господстве трехполья средний урожай пшеницы составлял 7-8 ц/га (рис. 1.9). Введение плодосмена с клевером удвоило урожай этой культуры. В тот период для плодосмена было характерно наличие клевера и корнеплодов. Типичным севооборотом этой системы было норфолькское четырехполье (пропашные, яровые, клевер, озимые). Севооборот этот сложился в Англии в XVIII в. Появление плодосменного севооборота с клевером удвоило урожай хлебов по сравнению с трехпольем главным образом за счет биологического азота, фиксированного клубеньковыми бактериями клевера. Почва обогащалась азотом при запашке корневых и растительных остатков клевера.

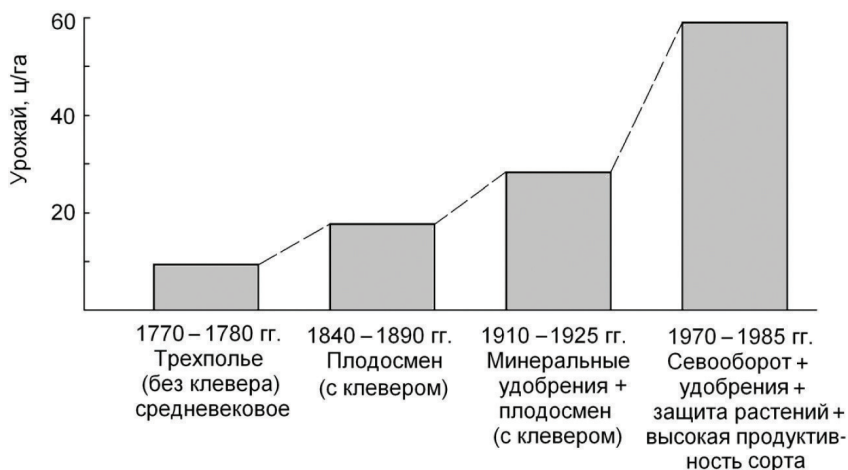


Рис. 1.9. Динамика роста урожая пшеницы в Западной Европе за 200 лет

В начале XX в. удвоение урожаев пшеницы в Западной Европе связано с массовым применением минеральных удобрений. В последние годы наблюдается динамичный рост урожаев зерновых культур, достигающий 50-60 ц/га, а в некоторых странах и выше, что объясняется высокой культурой земледелия, научно обоснованной системой применения минеральных и органических удобрений на основе почвенной и растительной диагностики, а также учетом правильного чередования культур в севообороте. Несомненную положительную роль играет интегральная система защиты растений от вредителей, болезней и сорняков, а также значительный прогресс в селекции высокопродуктивных сортов зерновых и других культур (рис. 1.9).

Таким образом, цивилизованные страны Европы, используя комплекс агроприемов в прогрессивных технологиях возделывания зерновых культур с учетом оптимального обеспечения зерновых культур питательными веществами, практически достигают реализации их потенциальной продуктивности. При этом отмечается прямая корреляционная связь между уровнем применения удобрений в этих странах и урожаями зерновых культур (рис. 1.10, табл. 1.1).



Рис 1.10. Производство зерна пшеницы, посевные площади, урожайность, и потребление минеральных удобрений (1961–2010 гг.) (FAOstat, 2012; IFADATA)

1.1. Производство зерна пшеницы, посевная площадь, урожайность и внесение удобрений в 20-ти ведущих странах-производителях (FAOstat, 2012; Heffer, 2009; FADATA, 2012, Филлипс, Нортон, 2012)

Страна	Производство зерна, млн.т	Посевная площадь, млн. га	Экспорт, млн. т	Урожайность, т/га	Удобрения, внесенные под пшеницу (2006-2007 гг.), тыс. т. д. в.			Всего внесено удобрений, тыс. т д.в.
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Китай	112,10	23,90	0,77	4,69	4258	1194	255	49513
Индия	77,02	27,76	0,16	2,77	2892	1109	187	23906
США	58,70	20,32	27,11	2,89	1604	568	224	18795
Россия	52,26	24,18	12,60	2,15	402	169	70	2055
Франция*	36,73	5,31	16,03	6,92	619	240	206	3249
Канада	24,79	9,25	17,01	2,67	591	173	36	2770
Германия*	23,71	3,17	6,42	7,47	458	117	129	2253
Пакистан	22,57	8,75	0,13	2,58	1004	345	15	3829
Турция	19,06	8,15	0,27	2,34	584	252	15	1925
Украина	18,30	6,31	6,43	2,86	**	**	**	955
Австралия	17,92	13,04	13,88	1,36	263	284	28	1908
Великобритания*	14,83	1,93	2,36	7,66	549	89	87	1462
Казахстан	13,83	12,98	4,09	1,07	**	**	**	55
Иран	13,40	6,47	0,06	2,05	414	179	48	1614
Аргентина	12,68	4,69	8,73	2,70	280	165	1	1321
Польша*	8,79	2,26	0,76	3,87	591	176	140	1968
Египет	7,87	1,26	0,00	6,27	302	35	10	1409
Италия*	7,29	2,00	0,21	3,65	190	141	81	1128
Испания*	5,80	1,89	0,48	3,06	515	199	114	1558
Румыния	5,35	2,05	1,14	2,59	150	24	7	397
Всего в мире	647,30	218,60	134,78	2,96	16614	6261	1261	161313

Примечание: * - количество минеральных удобрений, внесенных под пшеницу в каждой из 27 стран ЕС оценивалось из средней потребности культуры в удобрениях (Heffer, 2009) и общего количества удобрений, внесенных в каждой стране за год.

** - нет данных

Возможность получения высоких урожаев зерновых культур (50-60 и даже 70-80 ц/га) в различных почвенно-климатических условиях нашей страны подтверждается опытными производственными хозяйствами при условии оптимального сочетания всех звеньев научного земледелия.

С учетом определяющей роли минеральных удобрений в повышении продуктивности отечественного земледелия во второй половине XX столетия в России были приняты меры по резкому увеличению их производства и применения (табл. 1.2).

1.2. Динамика применения (поставки) минеральных удобрений в РФ

Годы	Тыс. т в пересчете на 100% питательных веществ	Кг на 1 га пахотных земель
1965	2608	19,7
1970	4317	32,9
1975	7869	59,9
1980	8914	67,5
1985	12677	96,0
1986-1990	12800	99,0
1999	1200	10,0
2006	1510	27,0
2011	1970	38,0

Принимались меры по увеличению поголовья животных, что приводило к нарастанию производства и применения органических удобрений (рис. 1.11).

Много внимания уделялось химической мелиорации, в частности известкованию кислых почв (рис. 1.12).

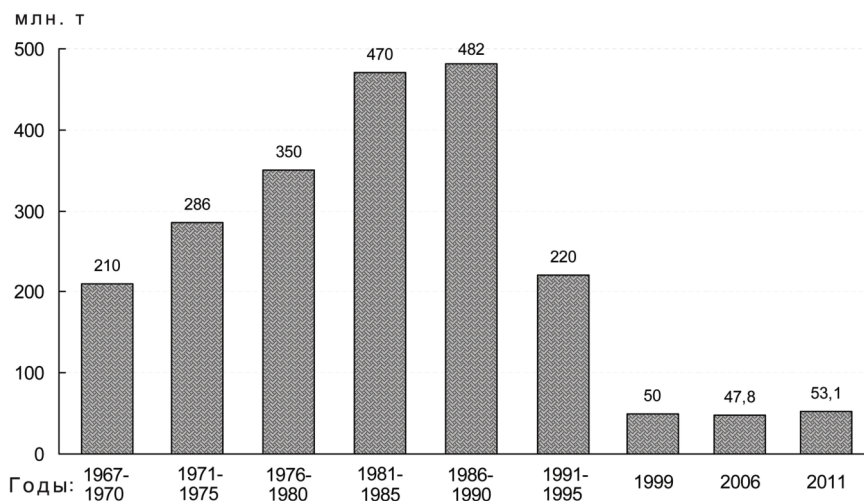


Рис. 1.11. Внесение органических удобрений в РФ, млн. т

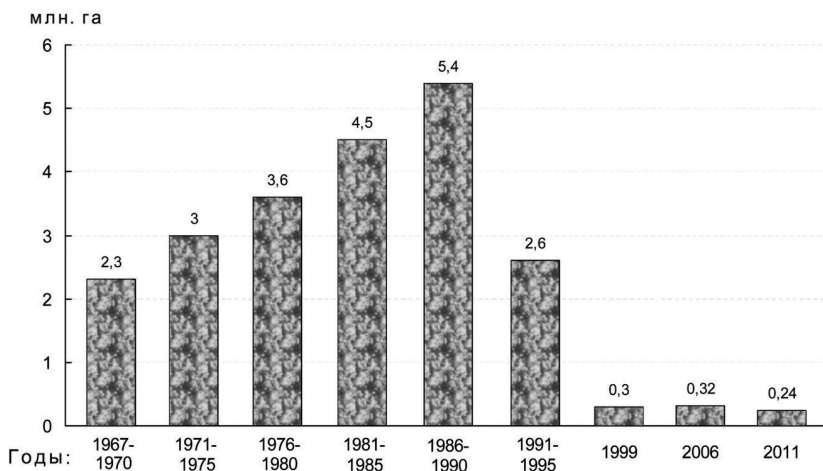


Рис. 1.12. Среднегодовое известкование почв, млн. га

Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан представлены следующие данные по использованию минеральных удобрений – табл. 1.3.

В Беларуси в период с 2006 по 2013 гг. в расчете на 1 гектар пашни применялось от 250 до 313 кг/га д.в. минеральных удобрений, или 1,3 - 1,5 млн. т.д.в. на все сельскохозяйственные угодья. Технологическая потребность в минеральных удобрениях на планируемую продуктивность пахотных земель в целом по республике на ближайшую перспективу составляет 1939,1 тыс.т.д.в., в том числе азотных –

1.3. Использование минеральных удобрений в Республике Казахстан (по данным МСХ Казахстана)

Годы	Внесено удобрений, (НРК) тыс. т д.в.	Внесено кг д.в. на 1 га		% удобренной площади	Удобренная площадь, тыс. га
		общего посева	удобренной площади		
1965	107,3	3,6	–	7,0	–
1986	1018,7	29,0	59,0	47,0	17253
1990	672,2	19,1	72,0	26,5	9332
2000	11,5	0,71	133,7	0,53	86
2005	58,5	3,17	89,4	6,23	1150
2010	99,4	4,14	40,2	12	2472
2015	81,1	4,3	33,1	10,3	2453

753,3, фосфорных – 325,0, калийных – 860,8 тыс.т.д.в. В дальнейшем по мере повышения запасов в почвах фосфора и калия потребность в фосфорных и калийных удобрениях может уменьшиться до размеров выноса этих элементов планируемой урожайностью сельскохозяйственных культур, потребность в азотных удобрениях сохранится на указанном уровне.

В XXI в. Россия и страны СНГ оказались перед необходимостью резкого подъема продуктивности сельского хозяйства, достижения продовольственной независимости от импорта продуктов питания. По опыту стран мира, этого можно достичь только при условии полного обеспечения отечественного земледелия минеральными удобрениями в должном объеме и ассортименте в сочетании с такими важными агрохимическими мероприятиями, как полное использование всех видов органических удобрений и других местных удобрительных ресурсов, фосфоритование и известкование кислых почв.

К этому имеются необходимые научные предпосылки. Несмотря на резкий спад применения удобрений, в агрохимической науке имеет место ряд важных фундаментальных и прикладных достижений по совершенствованию теории питания растений, ассортимента минеральных удобрений, по разработке прогрессивных технологий эффективного использования агрохимических средств с учетом почвенно-климатических условий, приемов воспроизводства плодородия почв, в том числе с использованием различных видов нетрадиционных удобрений, разработки экологических функций агрохимии и т. д.

ГЛАВА 2.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ УЧЕНИЯ О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ И ФОРМИРОВАНИЕ АГРОХИМИИ КАК НАУКИ

ИСТОКИ АГРОХИМИИ

С первых шагов древнего земледелия стержневой его проблемой был поиск путей поддержания и восстановления плодородия обрабатываемых земель, ведения более разумного землевладения.

По данным археологических исследований, возделывание сельскохозяйственных культур было начато примерно 10-12 тыс. лет назад. С появлением земледелия качественно изменилась история развития человечества. Человек постепенно стал переходить от естественных источников жизнеобеспечения к производству пищи, к возделыванию сельскохозяйственных растений. Постепенно накапливался опыт ведения хозяйства, который передавался из поколения в поколение, от отца к сыну. В лесных районах люди переходили к подсечно-огневой системе земледелия. А это уже требовало знания целой системы технологических приемов, таких, как: выбор участка леса, подсека, сжигание, перемешивание золы с почвой, рыхление и обработка почвы соответствующими орудиями.

Возрастало значение золы как источника плодородия почвы и питания растений. Земледелие же рассматривалось как единство факторов: почвы, воды, огня, леса, металла.

Что касается орошаемого земледелия, то в гигантских речных долинах Нила, Тигра, Евфрата, Инда за несколько тысячелетий до нас уже существовала контролируемая ирригация земель, которая явилась главной функцией возникших здесь государственных образований.

Египтяне хорошо понимали, что затопление полей при разливах Нила выполняет триединую задачу: увлажняет поля, удобряет их речным илом, о плодородии которого слагались легенды, и уносит соли, накопившиеся на поверхности почвы за сухой период.

Во времена первых фараонов Египта появился кадастр земель по их плодородию и доходности.

Исторические истоки древней ирригации в Средней Азии развивались параллельно с Египтом и Двуречьем, т.е. до II тысячелетия до нашей эры. Почвы дельты Амударьи тяжелые и не отличались высоким плодородием, поэтому хорезмские земледельцы рано научились песковать их и удобрять различными отходами.

Археологические памятники на севере Индии свидетельствуют, что колыбель индийского земледелия появилась за III–II тысячи лет до нашей эры сначала на севере страны, а затем центр его переместился на более плодородные аллювиальные равнины, где рано возникла переложная система земледелия, а позднее и искусственное орошение.

Древнейшим очагом земледелия является также и Восточный Китай. Здесь задолго до нашей эры (4 000 лет до н.э.) было накоплено много сведений по земледелию, и правительство, руководствуясь ежегодными наблюдениями за полевыми работами, назначало народу время вспашки, удобрения, способы посева и т.д.

Первые специальные, сохранившиеся до нашего времени агрономические, биологические и географические сочинения, в которых немало говорится о земле-почве, ее свойствах и плодородии, восходят к древним грекам, которым были уже известны различия между почвами, приемы их обработки в рамках богарного земледелия средиземноморского типа.

В литературных произведениях древнегреческого философа и ученого *Аристотеля* (384–322 гг. до н.э.) изложены наиболее значительные сведения об особенностях агрономии, питании растений. Он отмечал ступени природы: неорганический мир, растение, животное, человек. Аристотель считал, что растениям нужны четыре стихии: воздух, вода, земля и огонь.

Выдающийся исследователь растительного мира в Древней Греции *Феофраст* (ок. 372–287 гг. до н.э.) в своем сочинении «Исследования о растениях» отмечал, на каких почвах какие культуры лучше высевать, как поддерживать плодородие почвы, о роли навоза и т.д. Для естествознания он наравне со своим учителем Аристотелем сыграл важную роль в развитии учения о растениях и почве. Труд Феофраста «Исследования о растениях» считается главным из самых ранних ботанических и агрономических сочинений.

Греческая агрономия была преемницей древневосточной, а сельскохозяйственные знания римлян развивались под влиянием греческой культуры и науки.

До II в. до н.э. у римлян не обнаружено литературных сочинений агрономического содержания.

По различным вопросам сельского хозяйства богатое наследие по тому времени оставили древнеримские ученые и писатели: Катон, Варрон, Плиний, Колумелла. Все они занимались земледелием, так как этот род занятий считали самым полезным и достойным свободного гражданина. Они оставили немало трудов по вопросам агрономии.

Марк Порций Катон Старший (234 - 149 гг. до н.э.) – государственный деятель и писатель. До наших дней дошли книга «О делах деревенских» и трактат «Земледелие», в которых собраны практические советы по разным отраслям хозяйства: по обработке почвы, возделыванию виноградников, оливковых садов, по луговодству и животноводству. Он сделал попытку классифицировать почвы по пригодности их для выращивания различных культурных растений, дал практические советы по правильному хранению и срокам вывоза навоза на поля, рекомендации по возделыванию люпина, вики, бобов на зеленое удобрение, по лучшим срокам скашивания трав на сено, а именно до начала созревания семян.

Катон писал, что хорошо возделывать поле – это значит хорошо пахать и унавоживать. Если в хозяйстве не хватает навоза, он рекомендовал использовать на подстилку овцам стебли, мякину, листья дуба, высокую траву, т.е. увеличивать количество органических удобрений путем компостирования.

Катон считал земледелие основой Римского государства, а труд земледельца – самым чистым, верным и не вызывающим зависти. Он почтительно относился к земледельцам, о которых писал как о самых мужественных людях и дивных воинах.

Марк Теренций Варрон (116 - 27 гг. до н.э.) – писатель и ученый-энциклопедист. Он успешно обобщил материалы, накопленные в течение столетия после Катона. Его труд «Сельское хозяйство» целиком сохранился до наших дней. Варрон придавал большое значение научному подходу при решении вопросов земледелия. Он предлагал тщательно изучать почвы по отдельным районам, советуя на более жирных почвах сеять пшеницу, а на более тощих – бобы.

Варрон также писал о зеленом удобрении, рекомендуя для этой цели выращивать и запахивать люпин.

Варрон писал свой труд на основе литературных источников и бесед со сведущими лицами, однако он первый утверждал самостоятельность земледелия как науки и отмечал, что земледелие – наука необходимая и великая.

При характеристике почв Варрон широко использовал сочинения **Феофраста**, дал классификацию почв Италии. Он был активным

сторонником внесения в почву навоза и первым выдвинул идею о союзе земледелия и животноводства. Для Варрона забота о плодородии почвы – важнейшая задача земледелия. Этой заботе была подчинена и его идея о необходимости установления севооборотов.

В начале нашей эры римская наука дошла до своих предельных высот. В связи с этим нельзя не отметить труды знаменитого римского ученого и писателя *Гая Секунда Плиния Старшего* (23 - 79 гг. н.э.), одного из последних римских авторов, писавших по вопросам земледелия. Его «Естественная история», состоящая из 37 книг, представляла своего рода энциклопедию. В последующий ряд столетий этот огромный труд, потребовавший от автора большой энергии, трудолюбия и исключительной эрудиции, служил справочником по целому ряду отраслей знаний, в том числе и по сельскому хозяйству.

Плиний полагал, что плодородие почв падает, и это нельзя компенсировать никакими самыми дорогими способами ее обработки.

По существу, это начальный вариант закона убывающего плодородия почвы, подоплекой которому был рабский труд, производительность которого падала вследствие отсутствия заинтересованности рабов в хорошей обработке и повышении плодородия почв. Философским оправданием взглядов Плиния было учение Сенеки, Марка Аврелия об истощении земли как неумолимом, но естественном процессе.

Плиний трагически погиб при извержении Везувия в 79 г., желая ближе наблюдать это природное явление.

Луций Юний Мозерат Колумелла (I в. н.э.) – выдающийся представитель античной агрономии, римский писатель и агроном. Он выступал против взглядов Плиния и других авторов. Его сочинение «О сельском хозяйстве» состоит из 12 книг и является подлинной сельскохозяйственной энциклопедией.

Полемизируя со сторонниками учения об убывающем плодородии почвы, Колумелла утверждал, что разумный человек не позволит довести землю до усталости и истощения такой степени, чтобы она с прежней щедростью не обеспечивала людей пропитанием. Земля не может состариться, если ей помогать навозом как пищей для восстановления ею утраченных сил.

Колумелла призывал вести земледелие на научной основе, ввести экспериментирование в земледелие и широко распространять сельскохозяйственные знания, вводя публичные курсы по этим отраслям наук.

В своих трудах Колумелла много внимания уделял описанию и использованию различных видов удобрений: навозу, приготовлению

различных видов компостов, применению золы, выращиванию на зелёное удобрение люпина.

Колумелла предложил классификацию удобрений: навоз, минеральное удобрение, зеленое удобрение, компост, удобрение «земли земель». Зеленое удобрение, по его мнению, «имеет силу наилучшего навоза». Что касается удобрения земель, то он ссылается на улучшение песчаных почв глиной, а глинистых – песком.

С первого века нашей эры развитие науки было практически остановлено, забыты были и труды древних мыслителей по агрономии и естествознанию, и только через 1000 лет стали возвращаться к авторам Древнего мира, особенно к Аристотелю и Колумелле.

ЗАРОЖДЕНИЕ УЧЕНИЯ О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ, ПЛОДОРОДИИ ПОЧВ И УДОБРЕНИИ ЗЕМЕЛЬ

Наиболее правильный взгляд на почву как на источник минеральных веществ, необходимых для растения, высказал французский естествоиспытатель **Б. Палисси**. Еще в 1563 г. он писал, что «соль есть основа жизни и роста всех посевов». Если засеять поле несколько лет подряд, не унавоживая, то посевы извлекут из земли соль, необходимую для своего роста; земля, таким образом, обедняется солями и перестает давать урожаи. Его представления о причинах истощения почвы, о необходимости возврата зольных веществ в виде удобрений лишь 300 лет спустя доказаны точными опытами.

В 1656 г. **И.Р. Глаубер** выдвинул гипотезу, что главным фактором урожайности является селитра, внесение которой в почву вызывает значительный рост урожая. Удобрительное действие навоза он связывал с образованием селитры. Но взгляды Б. Палисси, И.Р. Глаубера в свое время не были оценены по достоинству и не оказали существенного влияния на земледелие.

В 1789 г. **Рюккерт** создал теорию истощения почв, довольно близкую к либиховской. Он считал, что каждое растение требует особого состава почвы, наиболее подходящего для его развития.

Некоторые же растения при многолетней культуре обедняют почву, урожаи падают, а в то же время другие культуры на этой же почве вполне удаются. Истощение почвы можно устранить с помощью удобрения, содержащего недостающее вещество, поэтому разные растения требуют разных удобрений. Однако это верное научное положение не было убедительным для современников вследствие недостаточного совершенства методики анализа почвы и растений.

Фактически в течение XVIII в. не сформировались определенные знания о роли минеральных солей в питании растений и роли почвы как их источника. И только в рукописи французского ученого *Лавуазье*, опубликованной после его трагической смерти в 1794 г., имеются замечательные строки, свидетельствующие, что основные положения минеральной теории питания растений были сформированы на 50 лет раньше Либиха. Лавуазье писал, что растения черпают материалы, необходимые для своей организации, в воздухе, который их окружает, в воде, вообще в минеральном царстве.

Однако если теория корневого питания растений в XVIII в. еще не была сформирована, то вполне была доказана роль атмосферы как источника углерода для растений. Гениальные мысли *М.В. Ломоносова* (1753) о воздушном питании растений (фотосинтезе) вскоре были подтверждены работами *Пристли* (1775), *Ингенгуза* (1779) и *Сенебье* (1782). Потребовалось длительное время для раскрытия механизма этого процесса и разработки теории воздушного питания растений. Но более сложным путем развивалась теория корневого питания растений. Несмотря на довольно определенные высказывания и известные работы Палисси, Глаубера и других о роли минеральных солей в питании растений, шведский химик Валериус в 1761 г. предположил, что растения питаются гумусом. Он исходил из практического наблюдения о влиянии на плодородие почвы навоза и всякого перегноя и ошибочно считал, что растения прямым путем усваивают корнями гумус, что только органические вещества почвы являются питательными для растений, а другие составные части являются вспомогательными и, по его мнению, могут способствовать растворению жирных веществ гумуса (например, мел). Наиболее активно и широко эту неверную гумусовую теорию питания растений распространял крупнейший немецкий агроном *А. Тэер* (1752 - 1828).

Он считал, что плодородие почвы полностью зависит от содержания гумуса в почве и что, кроме воды, гумус представляет единственное вещество почвы, которое может служить пищей растениям. Минеральным веществам по этой теории отводилась второстепенная роль, т.е. как веществам, ускоряющим процесс разложения в почве и переводящим гумус в усвояемую форму. Поскольку Тэер пользовался большой популярностью и авторитетом в то время, его ошибочные взгляды по гумусовой теории питания растений получили широкое распространение.

Заслуживают несомненного внимания воззрения немецкого учёного *Шпренгеля*, ближайшего предшественника Либиха. Его научные

позиции очень близко приближались к теории минерального питания Либиха. В своей книге «Учение об удобрениях» Шпренгель писал, что растения из неорганических веществ, получаемых ими из почвы и воздуха, образуют органические тела с помощью света, тепла, электричества и воды. Он объяснял причины падения урожаев при непрерывной культуре. Особое внимание Шпренгель обращал на необходимость возмещения утраченных почвой минеральных веществ, так как углерод, водород и кислород растения находят в воздухе, который по сравнению с почвой всегда остается одинаковым по составу. Он считал обязательным внесение в почву связанных форм азота, так как большинство растений не способно усваивать азот атмосферы. Фактически Шпренгель создал учение о значении минеральных веществ для питания растений и необходимости их возврата в почву в целях предотвращения ее истощения.

Лишь в одном Шпренгель расходился с Либихом: он считал главным источником углерода для питания растений углекислоту воздуха, но и не отрицал возможного использования перегноя почвы корнями. В этой части взгляды Шпренгеля совпадали с гумусовой теорией питания растений. Он не располагал ни одним экспериментальным фактом, который бы позволил ему отрицать такую возможность.

Окончательный крах гумусовой теории питания растений произошёл после выхода в свет в 1840 г. книги *Юстуса Либиха* (1803 - 1873) «Химия в приложении к земледелию и физиологии», которая произвела огромное впечатление на ученых и практиков, привлекла всеобщее внимание к вопросу о минеральном питании растений и имела большой успех.

Основным положением учения Либиха о питании растений является то, что только неорганическая природа доставляет растениям их первоначальную пищу. Перегной же, по его мнению, служит источником углекислоты в почве, которая ускоряет процесс выветривания силикатов и подготавливает минеральную пищу растениям.

Логическим продолжением минеральной теории питания растений Либиха является его теория удобрения и истощения почвы, обоснование необходимости севооборота. Либих считал, что все растения только истощают почву, но разные культуры истощают почву в разных направлениях. Поэтому чередование растений в севообороте лишь замедляет процесс истощения, но оно рано или поздно наступит, если не возмещать почве все то, что было отчуждено растущими культурами. Так как большая часть хозяйств продает и вывозит чаще всего зерно, то в первую очередь наступит дефицит фосфорной кислоты, которой

больше в зерне, чем в соломе. Солома и сено идут на корм скоту и подстилку. Поэтому при удобрении только навозом почва недополучает тех элементов, которые с продукцией вывезены за пределы хозяйства.

Указание Либиха на необходимость внесения прежде всего фосфатов как фактора, лимитирующего урожай, нашли впоследствии подтверждение в опережающем применении фосфатов по сравнению с другими видами минеральных удобрений. Для получения растворимых однокальциевых фосфатов он рекомендовал обрабатывать серной кислотой кости. Более же интенсивное развитие суперфосфатная промышленность получила, когда по такому же типу серной кислотой стали обрабатывать фосфориты. Начало такой технологии положено в Англии Лоозом в 1843 г.

Либих настойчиво рекомендовал возвращать в почву те минеральные вещества, которыми почва особенно истощена. Если же эти минимумы не устранить, то другие вещества окажутся бесполезными. Впоследствии это положение назвали «либиховский закон минимума», хотя сам Либих этот термин не употреблял и считал это научное положение относительным. В книге «55 тезисов» (1855) он отмечал: «Элемент, полностью отсутствующий или не находящийся в нужном количестве, препятствует прочим питательным соединениям произвести их эффект или, по крайней мере, уменьшает их питательное действие». Этим он подчеркивал незаменимость элементов питания растений.

Ю. Либих впервые четко высказал идею о сознательном регулировании обмена веществ между человеком и природой. «Учение о необходимости возврата, – писал К.А. Тимирязев, – представляет, как бы ни пытались ограничить его значение, одно из важнейших приобретений науки».

Широта и глубина взглядов Либиха на питание растений и сейчас заставляют удивляться. Он писал: «...Всякая почва лишь в том случае может считаться вполне плодородной для того или иного вида растений, скажем для пшеницы, если каждая из частиц ее, соприкасающихся с корнями, содержит все необходимые питательные вещества и при том в такой форме, которая позволяет корням усваивать эти вещества на любом этапе развития растения, в должное время и в надлежащем их взаимном соотношении» (Либих Ю., 1840).

Либих придавал большое значение и многообразию совокупности факторов, влияющих на урожай, например географической широте расположения данной местности, ее положению над уровнем моря, годовому количеству осадков, распределению их по отдельным

временам года, средней температуре весны, лета и осени, высшим и низшим температурам за каждое время года и, наконец, физическим, химическим и геологическим свойствам почв, т.е. к оценке плодородия он подходил с учетом комплекса факторов. Ему не известна была роль биологических свойств почвы, так как только через 35-40 лет после смерти Либиха было установлено значение почвенных бактерий в образовании нитратов, а еще позже вскрыта биологическая природа и других процессов в почве.

Либих не проводил экспериментов с растениями, при обосновании своих научных положений исходил из общих соображений о круговороте вещества в земледелии и химического анализа растений.

Увлечение полемикой и поспешность перехода от общих положений к практическим рекомендациям привели его к ряду неверных формулировок и ошибочных положений. Так, Ю.Либих считал, что содержание в воздухе аммиака и окисленной формы азота достаточно, чтобы обеспечить почву азотом, а следовательно, и удовлетворить потребность в нем растения. Поэтому и ценность навоза он определял по содержанию в нем зольных веществ – калия, фосфора и др.

Большую роль в изучении вопроса об источниках азота для питания растений сыграл **Ж.Б. Буссенго** (1802 - 1887). С 1836 г., будучи профессором Лионского университета, он изучал баланс прихода и расхода питательных веществ за севооборот и установил важную роль бобовых в обогащении почвы азотом. Ряд основных работ Буссенго по изучению круговорота веществ в земледелии явились фундаментом для создания новой отрасли знания – агрохимии. Синтез либиховского положения о роли зольных элементов и тезис Буссенго о значении азота в удобрениях сыграли большую роль в дальнейшем развитии теории корневого питания растений.

Буссенго развивал азотную теорию удобрения, противопоставив ее гумусовой теории Тэера. Истощение плодородия почв он связывал с выносом азота с урожаем. В то же время он установил, что некоторые культуры, например клевер и люцерна, не истощают, а обогащают почву азотом. Причем Буссенго это доказал точными агрохимическими исследованиями в полевых экспериментах в севооборотах. Тот факт, что азотный дефицит в севообороте покрывается за счет клевера и люцерны, был установлен им в течение 1836 - 1838 гг.

Буссенго был не только мыслителем. Он проводил точные агрохимические и физиологические эксперименты, подчеркивая, что для проверки мнения ученых «нужно спрашивать мнение самого растения». Буссенго по праву считается основателем агрохимии.

Кроме полевых опытов он проводил многочисленные исследования по азотному питанию растений в специальных сосудах, тем самым положив начало вегетационному методу. Им проведен ряд работ по ассимиляции углерода растениями, установлено, что углекислота атмосферы является источником углеродного питания растений, изучено влияние внешних условий на ассимиляцию углерода листьями. Его работы по азотному обмену положили начало биохимическому направлению в агрохимических исследованиях.

В 1886 г. была опубликована работа *Гельригеля* об усвоении азота бобовыми. Клубеньки на корнях бобовых обнаружил *М.С. Воронин* ещё в 1865 г., но связь между ними и усвоением азота этими культурами не была установлена. Гельригель после серии опытов пришел к выводу, что бобовые, развиваясь на почве, содержащей соответствующие бактерии, заражаются ими и образуют на корнях клубеньки, после этого приобретают азотфиксирующую способность. При этом бобовые культуры увеличивают в почве количество органического вещества, но одновременно являются азотособираателями. После хорошего травостоя клевера почва получает азота и органического вещества не меньше, чем его поступает с дозой навоза 30-35 т/га. Таким образом, открытие Гельригелем особенностей питания бобовых растений азотом завершает важный этап развития знаний по теории агрохимии, составляющий основу современного учения о питании растений.

РОЛЬ РУССКИХ УЧЕНЫХ В РАЗВИТИИ УЧЕНИЯ О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ И НАУКИ АГРОХИМИИ

Развитие агрохимии в России неразрывно связано с историей и совершенствованием земледелия, формированием взглядов на питание растений, созданием научной методики химических и биологических исследований, введением количественных методов изучения превращения веществ. В XIV-XVI вв. в земледельческих хозяйствах получает все большее применение парово-зерновая система с трехпольным севооборотом, распространяется практика удобрения навозом и т. п. Все это ведет к совершенствованию сельского хозяйства, а, следовательно, и к обогащению знаний о природных явлениях.

Попытки «рационального» сельского хозяйства вызывали интерес к некоторым агробиологическим и агрохимическим мерам и методам. Огородная и садовая культура в дворянских поместьях и в городских купеческих владениях, которая с XV-XVI вв. становилась заметной, фиксировала совершенствование представлений о природе в области

ботаники и химии. В наставлениях «Домостроя» во второй половине XVI в. указывалось на необходимость соблюдения определенной методики в огородничестве: как копать гряды, удобрять навозом, разводить семена, бороться с вредителями растений и т.д.

Михаил Васильевич Ломоносов (1711 - 1765) был родоначальником естествознания в России. В 1753 г. в работе «Слово о явлениях воздушных» он писал: «Преизобильное рращение тучных дерев, которые на бесплодном песку корень свой утвердили, ясно изъявляет, что жирными листьями жирный тук из воздуха впитывают». Ломоносов первым высказал научные предположения о происхождении гумуса, чернозема. В книге «О слоях земных» он дал правильное объяснение происхождению гумуса почвы: «Нет сомнения, что чернозем не первообразная и не первозданная материя, но произошел от согнития животных и растущих тел со временем». Он считал, что в естественных условиях при образовании гумуса происходят те же процессы, что и в культурных почвах при разложении в них навоза и образовании пахотных земель.

В 1765 г. было учреждено Вольное экономическое общество (ВЭО), которое в течение более 100 лет играло большую роль в развитии в России агрономической науки. В трудах этого общества регулярно печатались работы по вопросам применения удобрений.

Научная мысль по вопросам агрономии в России в XVIII и в первой половине XIX в. концентрировалась вокруг ВЭО, в котором принимали активное участие и обогатили агрономическую науку многие русские ученые.

Андрей Тимофеевич Болотов (1738 - 1833) – выдающийся ученый-агроном, активный пропагандист сельскохозяйственных знаний, автор серии важных статей по удобрению полей, плодородию почв. Много внимания уделял местным удобрениям – навозу, навозной жиже, золе и извести. Он писал, что земли во многих местах без навоза не могут дать хороших урожаев, а навоза в хозяйстве мало, так как мало скота из-за недостатка кормов, а чтобы иметь их больше, надо иметь удобрения. Из этого замкнутого круга выход был найден позднее, после организации производства минеральных удобрений.

А.Т. Болотов ставил в печати вопрос «...об употреблении в пользу скотского навоза в степных и таких местах, где земли оным уваживать обыкновения нет». Уже в то время он видел, что черноземы выпаживаются и нуждаются в удобрениях. В статье «О навозных солях» он писал об образовании из органических удобрений доступных растениям питательных веществ. А.Т. Болотов уделял большое

внимание плодородию почв и считал, что первым предметом хлебопашества является качество земли, нужно знать, «к чему земля наиспособна». При этом плодородие почвы он связывал с биологическими особенностями растений. Качество (плодородие) почвы он рекомендовал определять путем проведения опытов с удобрениями.

Иван Михайлович Комов (1750 - 1792) в 1789 г. опубликовал книгу «О земледелии», которая в тот период имела исключительное значение. В ней он изложил научные основы земледелия. По его мнению, прежде чем «давать правила, как каждую землю удобрять и как какое растение сеять, надобно показать начала и источники, откуда оные правила истекают».

И.М. Комов подробно описал свойства различных почв и дал указания, как по морфологическим и геоботаническим признакам определить плодородие почвы. Он давал указания о химическом и механическом анализе почв, об определении в почве содержания глины, песка, извести и гумуса. «Узнавши, таким образом, свойства земли, главное земледельца дело состоит в том, чтобы худую землю удобрить и, удобрив, стараться, чтобы доброты не теряла». Много внимания уделил известкованию почвы, применению золы, торфа, навоза и других местных удобрений: «Известь глинистую почву делает не только рыхлой, но и всякую кислоту, в глинистой по большей части земле находящуюся, истребляет». Комов считал полезным использовать опыт сельского хозяйства Англии и других европейских стран.

Антон Пошман в 1809 г. опубликовал книгу «Наставление о приготовлении сухих и влажных туков», в которой предлагал применять «сухие туки», конечно же, не современные минеральные удобрения, а главным образом золу от сжигания растений и других органических отходов. Тогда уже, отмечая важность сочетания навоза и «сухих туков», А. Пошман рекомендовал смешивать навоз с известью, мусором, золой, сухими туками, т. е. готовить различные компосты. Он высоко ценил известь: «Свойство извести можно почитать за побудительную силу произрастания».

А. Пошману принадлежит идея специального приготовления искусственных минеральных удобрений (приготовление сухих туков из различных органических веществ). Ему было известно значение азота для питания растений, но он ошибочно полагал, что зола может притягивать из воздуха азот и кислород и синтезировать селитру.

А. Пошман не был сторонником составления агрономических рецептов, которые могут быть непосредственно, без всякого приспособления к местным условиям, использованы в хозяйстве.

Матвей Иванович Афонин (1739 - 1810) был первым русским профессором, читавшим курс агрономии, когда еще в 1770 г. в Московском университете началось ее преподавание. В этом году на торжественном собрании Московского университета он произнес речь, посвященную органическому веществу почвы и его значению в земледелии. Таким образом, вторую половину XVIII в. можно считать периодом возникновения русской агрономической науки.

Михаил Григорьевич Павлов (1793 - 1840), профессор Московского университета, был выдающимся деятелем русской агрономической школы. В 1818 г. он был командирован за границу, где изучал агрономию и работал у А. Тэера, автора гумусовой теории питания растений.

М.Г. Павлов издавал журнал «Русский земледелец», в котором немало внимания уделялось вопросам агрономической химии. В 1825 г. он опубликовал книгу по агрохимии «Земледельческая химия», а затем «Курс сельского хозяйства», где изложил свои взгляды на питание растений и на применение удобрений. М.Г. Павлов придерживался гумусовой теории питания Тэера, поэтому современники называли его «русским Тэером».

Об удобрении почв он пишет: «Удобрить землю – значит сделать ее более плодородною, нежели какою она находится».

«Землеудобрение» может быть осуществлено с целью улучшения физических свойств, устранения кислот, ускорения разрушения органических веществ почвы или повышения плодородия. Целью последнего, по Павлову, является умножение в почве питательных веществ или, по крайней мере, вознаграждения того, что похищается из земли возрастающими на ней растениями, с помощью органических удобрений. Свои взгляды на сельское хозяйство он реализовал на опытном поле земледельческой школы. М.Г. Павлов был организатором и заведующим этого опытного поля и школы, поэтому его можно назвать первым организатором опытного дела в нашей стране.

М.Г. Павлов ничего не писал о роли азота, фосфора и калия и вообще о минеральном питании растений. Он считал, что материалом для питания растений являются «чернозем» (гумус), вода и углекислота. Такие взгляды М.Г. Павлова на питание растений, конечно, не могли дать научного объяснения действия удобрений.

Более успешной была его общественная, опытная и педагогическая деятельность.

С выходом в свет книги Ю. Либиха «Химия в приложении к земледелию и физиологии растений» (1840) гумусовая теория питания растений прекратила свое существование. На русском языке эта книга

впервые была опубликована в 1864 г. Только после создания учения о химических элементах, химическом составе растений стало возможным создание теории минерального питания растений в ее современном понимании.

В 40-х годах XIX столетия началось экспериментальное агрохимическое изучение отдельных видов минеральных удобрений.

Среди выдающихся деятелей агрохимической науки второй половины XIX в. следует назвать Д.И. Менделеева, А.Н. Энгельгардта, А.Е. Зайкевича, П.А. Костычева.

Дмитрий Иванович Менделеев (1834 - 1907) известен как великий ученый-химик, но он интересовался и сельским хозяйством, проводил исследования по агрохимии. В 1869 г. на съезде русских естествоиспытателей в Москве он выступил с докладом об агрохимических опытах. Его многие мысли о производстве и применении удобрений, обработке почвы не потеряли актуальности и до настоящего времени. Наиболее важные из них следующие.

1. *О постановке опытов по изучению эффективности удобрений в различных зонах России.*

В своем докладе «Об организации сельскохозяйственных опытов» на заседании 1-го отделения Вольного экономического общества (3. IV 1866) он ясно изложил свои мысли: «Опыты... необходимы для нас как для того, чтобы ближе узнать условия русского земледелия, так и для того, чтобы избрать из научных выводов некоторые выгодные для сельского хозяйства. Такие опыты могут послужить немало и в самой науке, если будут ведены по строгим способам».

Д.И. Менделееву удалось поставить опыты только в четырех пунктах (в Московской, Петербургской, Симбирской и Смоленской губерниях), но это были настоящие агрохимические опыты с подробным изучением почвы в отношении ее состава и влияния на нее удобрения и климата. Положительное значение опыты имели в методическом отношении. Д.И. Менделеев говорил, что опыты должны быть научными, с широкой программой и большой повторностью и что кое-как сделанные опыты только вредны. Будучи представителем точной экспериментальной науки, он считал, что к земледелию должны быть приложены точные науки, указывал на необходимость повторностей в полевом опыте и значение математической обработки результатов опыта.

2. *О необходимости широкого использования в земледелии минеральных удобрений.* Д.И. Менделеев говорил: «Употребление искусственных удобрений дает возможность быстро исправлять недостатки

почвы, заменить навоз разными отбросами, позволяет доводить культуру до высшего совершенства при всех недостатках почвы».

Он указывал, что почвы истощаются, в них требуется вносить питательные вещества, но навоза мало, следовательно, надо найти другие источники питательных веществ для растений. С этой целью и ставились опыты Вольного экономического общества с минеральными удобрениями.

Наибольшее внимание Д.И. Менделеев предлагал обратить на фосфорные удобрения и на «щелочно-поташные» (калийные). Особое значение он придавал изучению форм удобрений. Он писал, что химической форме питательных начал следует уделить главное внимание в вопросах об удобрениях.

3. *О комплексном использовании разных приемов создания урожая.* В агрономической науке Д.И. Менделеев отводил центральное место агрохимии и считал, что научные начала в сельском хозяйстве стали распространяться благодаря интересу химиков и что основные положения агрохимической науки – возврат питательных веществ, теория удобрения, теория питания – извлечены из исследований химических.

Д.И. Менделеев считал, что не стоит бояться истощения почв, так как потомки сумеют найти необходимые для питания растений вещества для внесения в почву. Он ратовал за широкое использование в земледелии навоза, азотных удобрений и извести, которые в Нечерноземной зоне давали высокий эффект, и несколько недооценивал фосфорные удобрения, которые в его опытах действовали слабо.

Александр Николаевич Энгельгардт (1832 - 1893), профессор химии Петербургского земледельческого института, современник Д.И. Менделеева, крупнейший общественный деятель того времени.

Он оставил глубокий след в истории отечественной агрохимии, доказал эффективность фосфорных удобрений в земледелии России.

А.Н. Энгельгардт провел широкие исследования по использованию фосфоритов на удобрение, обследовал залежи фосфоритов в Курской, Смоленской, Орловской и Воронежской губерниях. В результате его деятельности и общего увлечения применением минеральных удобрений в России началась разработка залежей фосфоритов, а в 1868 - 1869 гг. начали работать первые туковые заводы по размолу фосфоритной муки. На основании исследований фосфоритов А.Н. Энгельгардт делает выводы: «В фосфоритной муке мы имеем могущественное средство для разработки наших пустошей, составляющих в северной России главную массу угодий». Зону эффективно-

го применения фосфоритной муки (дерново-подзолистые почвы) Д.Н. Прянишников назвал «энгельгардтовской зоной применения фосфоритной муки».

А.Н. Энгельгардт первый правильно подошел к применению минеральных удобрений и травосеяния, сочетанию фосфоритования почвы с применением сидерации для обогащения почвы азотом.

В книге «Химические основы земледелия» он указывал на необходимость возвращения в почву питательных веществ, вынесенных растениями с урожаем, так как при удобрении поля навозом в почву возвращается только часть питательных веществ, содержащихся в сене и соломе, остальные питательные вещества, которые находятся в зерне, скоте, молочных продуктах, не возвращаются в почву. Он видел зависимость эффективности удобрений прежде всего от наличия усвояемых питательных веществ в почве: чтобы растения могли вырасти и дать урожай, мало, чтобы в среде, где живут растения, находились питательные элементы, но «эти элементы должны находиться в виде тех соединений, которые годны для питания растений».

А.Н. Энгельгардт стремился создать кадры интеллигентных земледельцев. С его именем связана организация сельскохозяйственного опытного дела в северной Нечерноземной полосе России.

Анастасий Егорович Зайкевич (1842 - 1931), профессор Харьковского университета, первый установил, что черноземы, несмотря на высокое содержание в них гумуса, прекрасно отзываются на минеральные удобрения.

А.Е. Зайкевич создал научные основы техники внесения удобрений (механизированное местное, рядковое внесение удобрений). Велика его роль в организации опытного дела в России. Он поставил удачные опыты не только с удобрениями, но и по агротехнике, изучая зависимость урожайности разных сортов растений от удобрений, обработки парового поля, глубины вспашки и т.д.

Павел Андреевич Костычев (1845 - 1895) – блестящий педагог, популяризатор и организатор, выдающийся исследователь и знаток черноземных почв России. В классическом труде «Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства» он развил учение о факторах образования чернозема. Большое значение имели работы П.А. Костычева по изучению фосфатного режима почв и применения фосфорных удобрений. В работе «На каких почвах фосфоритная мука увеличивает урожая. Исследование подзола и причины улучшения его фосфоритной мукой» он отмечал, что в подзолистых почвах содержится большое количество органических фосфатов.

Взгляды П.А. Костычева на минерализацию органического вещества почвы, роль поглощающего комплекса почвы, поглощенных оснований и почвенного раствора, на создание структуры почвы, мобилизацию естественных запасов почв в основном совпадают с современными представлениями. Он отмечал, что мобилизация питательных веществ почвы не позволяет обойтись без удобрений. «При возделывании сельскохозяйственных растений уже давно заметно было, что всякие почвы, с которых получают урожаи в течение более или менее долгого ряда лет, истощаются, т.е. начинают приносить все меньшие и меньшие урожаи» (Костычев, 1908).

П.А. Костычев был первым русским агромикробиологом, положившим начало биологическому направлению в агрономической химии, получившему развитие в работах П.С. Коссовича и Д.Н. Прянишникова и его школы.

В конце XIX и начале XX в. в России развернулись самостоятельные исследования по агрохимии.

Климент Аркадьевич Тимирязев (1843-1920) своими трудами оказал влияние на развитие не только физиологии растений, но и всей нашей агрономической науки. Он высоко ценил вклад Либиха в развитие идей рационального земледелия. Его положения о возврате в почву уносимых с урожаем недостающих в ней питательных веществ и о зависимости урожая от питательного вещества, находящегося в минимуме, К.А. Тимирязев считал основным законом. Главные пути повышения продуктивности земледелия он видел в клеверосеянии и применении минеральных удобрений.

К.А. Тимирязев придавал большое значение биологическому синтезу азота бобовыми, а возможность получения азотных удобрений за счет азота воздуха он назвал поразительным результатом научного творчества, обещающим крутой поворот в земледелии. Он выступал за проверку научных достижений на полях, за широкую постановку полевых опытов в хозяйствах. В полевом опыте он видел лучшее средство подать крестьянину мысль повторить его в своем хозяйстве.

К.А. Тимирязев считал необходимым шире использовать вегетационный метод. Первый вегетационный домик в России был построен им в 1872 г. в Петровской земледельческой академии.

Впоследствии были разработаны методы изолированного питания растений (И.С. Шулов), метод текучих растворов (впервые применил П.С. Коссович), метод стерильных культур в лаборатории Д.Н. Прянишникова (И.С. Шулов и Г.Г. Петров).

Яркие страницы в истории развития фундаментальных положений агрохимии, в частности в вопросах минерального питания растений, оставил *Дмитрий Анатольевич Сабинин* (1889 - 1951).

Основным направлением научных работ Д.А. Сабинина явилось глубокое изучение физиологии корневой системы, ее проницаемости и способности поглощать, выделять и перерабатывать минеральные вещества и некоторые органические соединения. По существу, эти работы стали началом нового направления в изучении минерального питания растений, утвердившего представление о синтетической способности корневой системы.

Результаты многогранной научной деятельности Д.А. Сабинина опубликованы в его многочисленных научных трудах. Особенно высокую оценку получила его монография «Физиологические основы питания растений», изданная после смерти ученого в 1955 г.

Д.А. Сабинин весьма продуктивно осуществлял и научно-педагогическую деятельность, особенно в период заведования лабораторией физиологии растений в ВИУА (1932 - 1941) и кафедрой физиологии растений в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова.

Идеи Д.А. Сабинина получили развитие в исследованиях И.И. Колосова, Н.З. Станкова, И.В. Мосолова и др. Ученики и последователи Дмитрия Анатольевича с большой теплотой и любовью отзывались о своем учителе, характеризовали его как обаятельного душевного человека, как смелого ученого-новатора, оригинального мыслителя и исследователя, талантливого педагога, которым по праву гордится отечественная наука.

Петр Самсонович Коссович (1862 - 1915) – выдающийся исследователь и общественный деятель – отличался широтой и разнообразием изучавшихся им вопросов, их практической направленностью. Он подтвердил вывод Д.Н. Прянишникова о возможности питания растений аммиачным азотом путем проведения прямых опытов в стерильных условиях, исключаящих процесс нитрификации аммонийного азота. Это имело большое практическое значение, так как открывало перспективы развития производства и широкого использования аммиачных удобрений.

П.С. Коссович установил, что бобовые усваивают свободный азот корнями. Следовательно, наиболее вероятный пункт синтеза азота в растениях – корни, на которых находятся клубеньки. Изучая усвоение свободного азота, он показал, что биологический синтез азота могут осуществлять и свободно живущие бактерии – азотобактер и клубоцидум.

П.С. Коссович обнаружил, что способность растений усваивать фосфор из труднорастворимых фосфатов зависит от биологических особенностей растений, типа почвы и сопутствующих удобрений.

Изучая клевероутомление почвы, он вегетационными опытами доказал, что основная причина этого – недостаток питательных веществ в почве, прежде всего фосфора и калия. Внесение минеральных удобрений, особенно фосфорных, под клевер является эффективной мерой борьбы с клевероутомлением, так как повышает устойчивость растений к неблагоприятным условиям роста.

П.С. Коссовичу удалось экспериментально разрешить такой практически важный вопрос для сельского хозяйства, как биологическая иммобилизация азота почвы при внесении соломы или свежего неперепревшего навоза, интересным опытом с двумя растениями – овсом и викой. Внесение в почву соломы уменьшило урожай овса, но не уменьшило урожай вики, которая обеспечивала свой урожай за счет азота воздуха. Это позволило научно обосновать приемы правильного хранения навоза и использование его на удобрение.

Большой заслугой П.С. Коссовича была организация издания «Журнала опытной агрономии», который в течение многих лет был единственным периодическим научно-агрономическим журналом в России. Круг интересов П.С. Коссовича был очень широк. Он был не только агрохимиком, почвоведом, физиологом, но и одним из первых русских геохимиков. Ему принадлежит работа о круговороте серы и хлора в природе. Он показал, что с увеличением количества заводов и фабрик возрастает попадание серы в почву из атмосферы.

Константин Казтанович Гедройц (1872 - 1932) – ученик П.С. Коссовича, оригинальный исследователь и глубокий мыслитель.

Исследовательская работа К.К. Гедройца включала разработку методики вегетационного опыта, фосфоритование и известкование почвы, установление потребности клевера в фосфатах, учение о солонцеватости почв и др. Мировую известность К.К. Гедройцу принесли работы по почвенно-поглощающему комплексу и поглощательной способности почв, которые он начал в 1910 г.

Наиболее полно учение К.К. Гедройца изложено в трудах «Учение о почвенной поглощательной способности» и «Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации». Им написан также «Химический анализ почв». Эти работы сыграли видную роль в развитии почвоведения и агрохимии, в теоретическом обосновании известкования почв и химической мелиорации солонцов.

Дмитрий Николаевич Прянишников (1865 - 1948) – основоположник советской агрохимии – обосновал теорию аммиачного и нитратного питания растений и дал исчерпывающие рекомендации по производству и применению аммиачных удобрений. Им выполнены классические работы по теории азотного обмена. Д.Н. Прянишникову принадлежит заслуга глубокого обоснования условий эффективного применения фосфоритов на кислых почвах, положения о возрастающем плодородии почв, об использовании азота атмосферы биологическим путем в сочетании с азотом минеральных удобрений.

Практически нет ни одного теоретического направления развития агрохимии как науки или практики химизации земледелия без активного влияния на них работ Д.Н. Прянишникова и его учеников.

Он был активным пропагандистом всего нового, передового, смело выступал против ошибочных положений в науке, всего того, что мешало научно-техническому прогрессу сельского хозяйства и тормозило развитие химической промышленности по производству минеральных удобрений.

Д.Н. Прянишников призывал не ждать и бездействовать, когда у нас будут построены заводы для связывания азота воздуха, когда суперфосфат станет общедоступным, а немедленно действовать и знать, что каждый куст люпина есть, в сущности, миниатюрный завод по утилизации атмосферного азота, работающий даром за счет солнечной энергии. Пожалуй, не было проблемы в агрохимии, которая не изучалась бы в лаборатории Д.Н. Прянишникова. В первые годы советской власти он призывал к максимальному использованию местных удобрений – золы как источника калия, кальция и других зольных элементов; проявлял заботу о правильном хранении навоза, о компостировании его с торфом, об использовании извести на кислых почвах и т.д.

Он принимал активное участие в организации в нашей стране Географической сети опытов с удобрениями и активно отстаивал необходимость расширения посевов бобовых культур (характерных для плодосменных севооборотов, в особенности клевера и люцерны), существенно улучшающих баланс азота и гумуса в почве. Он выступал против скептиков, недооценивавших эффективность минеральных удобрений на наших малоплодородных землях, а также крайних сторонников травополья – противников ускоренного развития химизации земледелия в нашей стране. Еще в 1937 г. Д.Н. Прянишников писал: «Что касается авторов, которые считают... что знают какой-то секрет получения высоких урожаев без внесения соответствующих

количеством удобрений (и без знания агрохимии), то об этих авторах можно только сказать, что они напрасно считают себя материалистами». Он призывал не смешивать понятия «травополье» и «культура бобовых трав на полях», отстаивал расширение посевов последних, особенно в увлажнённых районах, а зернобобовых – во всех земледельческих районах страны.

Д.Н. Прянишников первым в нашей стране начал готовить кадры агрономов-агрохимиков. Он – автор фундаментального руководства «Агрохимия», в котором представлен многолетний мировой опыт применения удобрений, сформулированы теоретические основы агрохимии в тесной связи с биохимией и физиологией растений.

XX в. ознаменовался крупными достижениями в развитии фундаментальных положений агрохимии, практики химизации земледелия и совершенствования методологии агрохимических исследований.

Так, развивая **теорию азотного питания растений**, *Г.Г. Петров* в 1917 г. опубликовал результаты экспериментально-критического исследования в книге «Усвоение азота высшими растениями на свету и в темноте», где подробно показал весь путь превращения азота в растении с момента его поглощения до превращения в белковое вещество.

Исследования Г.Г. Петрова являются большим вкладом в развитие фундаментальной агрохимии.

В 1913 г. *Иваном Семеновичем Шуловым* (1874-1940) были опубликованы итоги его экспериментальных работ в книге «Исследования в области физиологии питания высших растений при помощи методов изолированного питания и стерильных культур».

Используя стерильные культуры, И.С. Шулов подробно исследовал вопросы благоприятного влияния азотнокислого аммония на использование высшими растениями труднорастворимых фосфатов; развития и морфологических признаков корневой системы и надземных органов при разном азотистом питании; усвоение высшими растениями азота аспарагина, поглощение растениями фосфорной кислоты органических соединений, а также вопросы об органических корневых выделениях, об использовании растениями $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. В своих исследованиях растворяющее действие NH_4NO_3 на труднорастворимые фосфаты он объяснял тем, что при его применении корнями растений выделяется больше органических кислот.

Существенный вклад в решение проблемы **азотного питания растений** внес *Иван Георгиевич Дикусар* (1897-1973) – выдающийся ученый-агрохимик, ученик и последователь Д.Н. Прянишникова.

Исследования он проводил и в ВИУА, и на станции питания растений Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева. Результаты он представил в докторской диссертации «Азотное питание растений и урожай», которую защитил в 1945 г.

Эта работа была высоко оценена Д.Н. Прянишниковым, Д.А. Сабининым, А.И. Опариным и др., отмечавшими, что труд И.Г. Дикусара представляет собой «незаурядное явление в нашей научной литературе».

Научные положения, изложенные И.Г. Дикусаром в работе, были всесторонне проверены и подтверждены точным экспериментом, последовательно и целеустремленно направлены как на развитие вопросов теории питания растений, так и на требования практики более рационального использования удобрений.

Напугав студентов после окончания Московского университета, он говорил: «Агрохимик должен заниматься не только научными проблемами, но и воспитанием других агрохимиков, которые продолжают дело своих учителей. Нужно, чтобы наши дети и внуки полюбили агрохимию, за агрохимией будущее» (1978). Этими словами он, по существу, выражал содержание всей своей жизни и плодотворной научной деятельности.

Исследования *А.В. Владимирова* (1904 - 1952) оказали также большое влияние на **развитие теории питания растений**. Итоги научно-исследовательских работ, выполненных А.В. Владимировым с сотрудниками (с 1926 по 1946 гг.), он опубликовал в монографии «Физиологические основы применения азотистых и калийных удобрений» (1948).

В книге А.В. Владимиров показал:

1. Условия, влияющие на поступление в растения аммиачного и нитратного азота: действие сопутствующих катионов и анионов; особенности биохимических процессов у отдельных растений, аэрации питательного раствора, реакции среды и др.;

2. Влияние форм калийных солей на обмен веществ в растениях, на трансформацию углеводов и накопление сахаров в корнеплодах сахарной свеклы, влияния анионов солей на процесс сахаронакопления в растениях;

3. Роль аммиачного и нитратного азота, калия и других элементов в обмене веществ, в образовании и накоплении в растениях окисленных и восстановленных органических соединений.

Разработанные А.В. Владимировым теоретические положения в отношении правильного сочетания аммиачного и нитратного азота с элементами зольного питания позволяют в значительной мере повысить урожай растений и улучшить их качество.

Крупным вкладом в развитие агрономической науки и, в частности, в разработку **теории азотного питания растений и практику применения удобрений** стали работы выдающегося ученого-агрохимика **Федора Васильевича Турчина** (1902 - 1965). Приведем наиболее важные результаты его исследований:

1. Жидкие азотные удобрения (аммиак и аммиакаты) дают такой же эффект, как и обычные «твердые» азотные удобрения, так как при заделке на глубину 10 - 12 см адсорбируются почвенными коллоидами и потеря азота практически не происходит.

2. Аммонизация суперфосфата жидкими азотными удобрениями позволяет получить продукт, обладающий высокой удобрительной ценностью и превосходными физическими качествами.

3. Внесено новое представление о значении калия в азотном и углеводном обмене, в синтезе азотистых органических соединений, установлена специфическая роль калия и фосфора в нитратном и аммиачном питании растений. Ф.В. Турчин показал, что недостаток калия в условиях аммиачного питания вызывает обильное накопление аммиака в растениях, приводящее к аммиачному отравлению и даже к полной гибели растений. При этом содержание редуцирующих сахаров в растении не только не понижается, но, наоборот, значительно возрастает.

Действие калия на усвоение аммиака Ф.В. Турчин связывает с влиянием его на химическую активность углеводов. Поэтому при недостатке калия в растении скорость синтеза аминокислот и обновления белков замедляется.

4. Ф.В. Турчин был инициатором широкого использования в агрохимических исследованиях изотопного и спектроскопического методов исследования, что позволило ему выполнить классические исследования в области азотного питания растений и азотистого обмена веществ.

5. Он вскрыл закономерности в синтезе и обмене белков и хлорофилла в растениях и показал, что синтез белков начинается с образования конституционных белков протоплазмы. Запасные белки образуются в результате превращения конституционных белков, которые вовлекаются в общий обмен веществ в организме растений и непрерывно обновляются.

6. Используя хроматографический метод, Ф.В. Турчин установил последовательность синтеза отдельных аминокислот за счет поступившего в растения аммиака: первым синтезируется аланин, затем дикарбоновые аминокислоты – аспарагиновая и глутаминовая кислоты. В более поздние сроки синтезируются основные и ароматические аминокислоты.

7. Изучая процессы биологической фиксации азота, ферментативного синтеза азотистых соединений, Ф.В. Турчин представил схему фиксации атмосферного азота в клубеньках бобовых растений.

В дальнейшем немалый вклад в решение проблемы азота в земледелии внесли П.А. Баранов, Д.А. Кореньков, П.М. Смирнов, Н.А. Сапожников и др.

В XX столетии ряд важных исследований по **проблемам фосфора и калия в земледелии** были выполнены А.Н. Лебеяднцевым, Ф.В. Чириковым, А.В. Соколовым и другими учеными.

Александр Никандрович Лебеяднцев (1878 - 1941) внес существенный вклад в развитие агрохимических исследований.

1. Вместе с Д.Н. Прянишниковым он организовал Географическую сеть полевых опытов, благодаря которой была установлена географическая закономерность в действии минеральных удобрений, определена их потребность в региональном аспекте и в стране в целом, что послужило обоснованием развития химической промышленности по производству минеральных удобрений.

2. А.Н. Лебеяднцев обстоятельно изучил и впервые убедительно показал возможность успешного применения фосфоритной муки на деградированных, выщелоченных, а также и мощных черноземах, что дало возможность резко повысить урожайность сельскохозяйственных культур на этих почвах.

Эти исследования расширяли возможности обеспечения отечественного земледелия фосфорными удобрениями. Д.Н. Прянишников назвал новую область применения фосфоритной муки «лебеяднцевской зоной». Ранее фосфоритование осуществлялось в зоне распространения дерново-подзолистых почв – в так называемой «энгельгардтовской зоне»

3. А.Н. Лебеяднцев уделял много внимания вопросу нитрификации как мощному фактору усиления зольного питания растений.

4. Большой объем исследований А.Н. Лебеяднцев выполнил по выявлению роли высыхания почвы в повышении ее плодородия и пришел к выводу, что в естественных условиях процесс высушивания почвы играет крупную, доселе совершенно не освещенную роль во всех процессах поднятия почвенного плодородия, которого достигают приемами механической обработки почвы.

Существенный вклад в **исследование фосфатного режима почв и повышения эффективности фосфорных удобрений** внес *Федор Васильевич Чириков* (1883 - 1964).

Определяя содержание в золе растений CaO и P_2O_5 , проанализировав соотношение $\text{CaO}:\text{P}_2\text{O}_5$ и сопоставив эти данные с отзывчивостью различных растений на фосфор фосфоритов, он установил, что если соотношение $\text{CaO}:\text{P}_2\text{O}_5$ невысокое (1,3 и менее), как например, у злаков, то растения не реагируют на фосфорит как на удобрение; при соотношении больше 1,3 (гречиха, горох, горчица, люпин) растения усваивают P_2O_5 фосфорита.

Изучая усвоение растениями P_2O_5 почвенных фосфоритов, Ф.В. Чириков разделил их на пять групп по растворимости. Эта методика была использована для обоснования дифференцированного применения фосфорнокислых удобрений на разных почвах, а также при изучении фосфорного режима почв, особенностей превращения фосфатов в почве при длительном применении фосфорных удобрений на разных типах почв.

Он подробно исследовал процессы превращения фосфатов в почве при использовании гранулированного суперфосфата, действие фосфорных удобрений в севообороте, а также длительность действия различных фосфатов.

Значительный вклад в решение проблемы фосфора в земледелии и в целом в развитие агрономии внес **Андрей Васильевич Соколов** (1898 - 1980) – выдающийся ученый-агрохимик и организатор науки и практики химизации сельского хозяйства.

Свои взгляды и результаты агрохимических исследований он изложил в книге «Агрохимия фосфора» (1950). Андрей Васильевич подчеркивал важность и незаменимость фосфора в жизни людей: «Человек не может двигаться, питаться, размножаться, дышать и мыслить без того, чтобы в его организме не происходили многочисленные процессы, в которых активно участвует фосфор» (с. 7). И в связи с этим особенно актуальна проблема фосфора в земледелии.

А.В. Соколов отмечал, что оптимизация фосфорного питания растений – интереснейшая область агрономической химии, реализовать которую невозможно без адекватного отношения к фосфорным удобрениям.

Он указывал на тесную взаимосвязь азотного и фосфорного питания растений, на то, что эти элементы входят в состав одних и тех же соединений и тесно взаимосвязаны в обмене веществ.

Андрей Васильевич много внимания уделял и практическим вопросам применения фосфорных удобрений, показывая, что они повышают содержание сахара в свекле, крахмала – в картофеле, ускоряют развитие огурцов и томатов, увеличивают долю бобовых в травосмесях, повышая тем самым качество сена по содержанию белка и т.д.

Он всесторонне изучал роль фосфатов в засушливых условиях, где растения плохо используют фосфаты почвы и в большей степени нуждаются в фосфоре удобрений, способствующих росту корневой системы и ускорению развития растений.

А.В. Соколов исследовал также взаимосвязь фосфорного питания растений с известкованием дерново-подзолистых почв и отмечал, что при известковании почв растения в течение десятилетий используют намного больше фосфатов, чем без известки, что объясняется лучшей усвояемостью фосфатов кальция, чем фосфатов полуторных окислов; при известковании уничтожаются активные формы алюминия и железа, разлагаются органические фосфаты и постепенно гидролизующиеся фосфаты полуторных окислов переходят в кальциевые фосфаты, доступные растениям.

А.В. Соколов уделял внимание и анализу причин более высокой эффективности гранулированных фосфорных удобрений при локальном их внесении. Он объяснил это явление снабжением молодых растений питательными веществами путем приближения удобрений к молодым корням; уменьшением ретроградации почвенных фосфатов, а также уменьшением при этом биологического связывания фосфатов микробами почвы.

Большой научный и практический интерес представляют работы А.В. Соколова «Очерки из истории агрономической химии в СССР» (1958) и «Географические закономерности эффективности удобрений» (1968), в которой он приводит результаты изучения географии действия удобрений на различных типах почв.

Оскар Карлович Кедров-Зихман (1885 - 1964) внес большой вклад в решение проблемы **известкования кислых почв**. В монографии «Отзывчивость сельскохозяйственных растений на известкование в связи с почвенной кислотностью и степенью насыщенности почв основаниями» (1934) на основании исследований им сделан важнейший вывод о возможности более широкого использования магнийсодержащих пород для известкования кислых почв, показаны реакции сельскохозяйственных культур на почвенную кислотность и состав поглощенных катионов в связи с известкованием.

Применение для известкования доломитизированных известняков и доломитов вдвое расширило запасы известкового сырья в стране. По вопросу применения магния при известковании кислых почв им опубликован ряд работ: «Значение магния в известковых удобрениях» (1940), «Влияние известкования почвы на величину и качество урожая в зависимости от содержания магния в известковом удобрении и

применения бора» (1948), «Магний и бор как факторы повышения эффективности известкования» (1940).

Особое внимание Оскар Карлович уделял изучению действия микроэлементов на культурные растения в условиях известкования кислых дерново-подзолистых почв. Результаты исследований показали, что борные удобрения усиливают положительное действие извести и что бор и магний при известковании почвы действуют в одном направлении: увеличивают содержание крахмала в клубнях картофеля, сахара – в корнеплодах свеклы, жира – в семенах, улучшая их качество. Было выявлено также положительное действие кобальта в условиях известкования на урожайность большинства сельскохозяйственных культур, повышение подвижности молибдена при известковании почв, что позволяет сократить применение молибденовых удобрений. В то же время соединения цинка, подобно бору, кобальту, марганцу, при известковании переходят в менее подвижное и менее доступное для растений состояние.

По результатам этих исследований была опубликована серия работ, которые и в настоящее время не утратили своей актуальности.

Агрохимиками страны велась большая плодотворная работа и по изучению вопросов **применения органических удобрений**.

Ведущая роль в решении этой проблемы принадлежала лаборатории органических удобрений ВИУА под руководством И.П. Мамченкова.

Иван Прохорович Мамченков (1896-1980) со времени открытия ВИУА в 1931 г. в течение 40 лет возглавлял лабораторию органических удобрений.

Наиболее важные результаты большого числа многоплановых исследований по органическим удобрениям следующие:

1. Проведение оценки различных способов хранения навоза показало, что при аэробном способе хранения навоза во избежание потерь азота необходимо компостировать его с суперфосфатом и фосфоритной мукой.

2. При саморазогревании торфа и торфонавозных компостов до 60 - 70°С значительно повышается содержание в них аммонийного и легкогидролизуемого азота.

3. При компостировании навоза с фосфоритной мукой увеличивается скорость его гумификации, сокращаются потери азота навоза, повышается коэффициент использования фосфора фосфоритной муки. Компостирование навоза с суперфосфатом тоже резко сокращает потери азота.

4. Изучение различного рода подстилок (солома, древесные опилки, торф и др.) показало, что экономически наиболее целесообразно применять на подстилку солому и торф, поскольку мобилизация азота торфа достигается при компостировании его с навозом, навозной жижей, с различными отходами сельского и коммунального хозяйства. Была изучена возможность использования осадков сточных вод на удобрение и доказано, что наиболее выгодно совместное применение органических и минеральных удобрений в севообороте.

5. На основе глубокого изучения процессов, протекающих при хранении навоза, были разработаны и реализованы наиболее рациональные способы приготовления и хранения навоза, его компостирования с фосфоритной мукой и суперфосфатом, с различными органическими компонентами, что позволяло получать удобрения высокого качества.

Значительные работы по хранению и применению навоза, кроме И.П. Мамченкова, выполнили Ф.Т. Перитурин, М.А. Егоров, И.Ф. Ромашкевич и др.

Вопросами эффективного использования зеленого удобрения кроме Д.Н. Прянишникова активно занимались Е.К. Алексеев, С.П. Кулжинский, В.Н. Прокошев, Ф.Ф. Юхимчук и др. Результаты их исследований и сейчас имеют большое научно-практическое значение.

В первой половине XX столетия возникла необходимость изучения и широкого испытания **эффективности микроудобрений**.

Изучению влияния микроэлементов на рост и развитие растений, биохимических процессов в растительных организмах и условий высокой эффективности микроудобрений в различных почвенно-климатических зонах Советского Союза были посвящены работы Я.В. Пейве, М.Я. Школьника, Е.В. Бобко, О.К. Кедрова-Зихмана, А.В. Соколова, П.А. Власюка, М.В. Каталымова и многих других ученых. Наиболее обстоятельно были изучены вопросы действия борных удобрений, особенно в условиях известкования. Была установлена высокая эффективность медных удобрений на торфяных почвах. В свекловичных хозяйствах была выявлена высокая эффективность марганцевых удобрений.

На основе этих исследований в земледелии страны стало широко внедряться применение борных, медных и марганцевых удобрений. Позже была установлена высокая эффективность цинковых удобрений, особенно на карбонатных черноземах, а также молибдена, прежде всего под бобовые культуры.

Следует отметить фундаментальные работы *Яна Вольдемаровича Пейве* (1906-1976) по вопросам изучения роли микроэлементов в

питании растений и в фиксации азота клубеньковыми бактериями. Этому ученому заслуженно считают основоположником учения о микроэлементах в нашей стране. Кратко перечислим наиболее значимые научные разработки Я.В. Пейве:

1. В 1933 - 1934 гг. он разработал новую методику определения подвижного калия в почвах, сыгравшую существенную роль в улучшении агрохимического обслуживания и вошедшую в дальнейшем в учебники агрохимии.

2. Анализ результатов сотен полевых и производственных опытов с микроэлементам представлен Я.В. Пейве в ряде крупных научных работ: «Микроэлементы и ферменты» (1960), «Биохимия почв» (1961), «Руководство по применению микроудобрений» (1963) и др.

3. Возглавив научную работу лаборатории биохимии микроэлементов (организованной им в 1962 г. в составе Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева АН СССР), он выполнил фундаментальные исследования по металлоферментам, имеющим отношение к азотному обмену растений. Большая серия работ была посвящена металлосодержащим белкам, участвующим в процессах симбиотической азотфиксации в клубеньках бобовых растений, и выявлены новые, до сих пор неизвестные звенья процесса биологического связывания азота, что не только обогатило теорию, но и показало практическую возможность интенсифицировать данный процесс, регулируя условия минерального питания растений.

4. В различных почвенно-климатических условиях было изучено влияние на усвояемость почвенных микроэлементов реакции среды почвы, ее окислительно-восстановительных условий, содержания в почве органического вещества, известкования почвы и внесения органических и минеральных удобрений.

5. Ян Вольдемарович тщательно исследовал участие микроэлементов в биохимических процессах в растениях и в почве, проводил исследования на стыке таких наук, как агрохимия, биохимия, аналитическая химия, почвоведение и физиология растений.

6. Под руководством Я.В. Пейве были разработаны методы определения содержания в почве усвояемых растениями форм микроэлементов, методы массового анализа почв на содержание микроэлементов, получившие широкое распространение при решении практических задач повышения продуктивности земледелия.

Агрохимические исследования в нашей стране проводилась в тесной связи с проблемами агропочвоведения: изучение физических, физико-химических и других свойств почв связывалось с отзывчивостью

сельскохозяйственных культур на удобрения в различных почвенно-климатических условиях. В результате была создана научно-методическая база для успешного развития химизации в районах возделывания хлопчатника, сахарной свеклы и других культур. Такие ученые, как Н.П. Карпинский, В.А. Францесон, Н.К. Балябо и др., обобщали материалы почвенно-агрохимического обследования, разрабатывали агропочвенное районирование Европейской части СССР и орошаемых районов Средней Азии, на основе чего составляли почвенные карты.

Значительные исследования были проведены В.А. Францесоном и Н.К. Балябо в районах Заволжья по динамике изменения агрофизических свойств и засоления почв.

Н.П. Карпинским на основании результатов опытов с удобрениями на разных почвах была установлена зависимость действия удобрений не только от генезиса почвы, но и от ее окультуренности.

Аналогичная зависимость выявлена и исследованиями А.Ф. Тюлина, П.И. Андрианова, Е.Н. Гапона по изучению почвенных коллоидов, физических и физико-химических свойств почв, механизма поглощения почвой катионов и анионов солей под воздействием увлажнения и высушивания почв.

Агрочоведами России были разработаны различные методы определения подвижности питательных элементов почвы. Н.П. Карпинский и В.П. Замятина установили связь между величиной концентрации фосфат-ионов в солевой вытяжке ($0,03 \text{ н. K}_2\text{SO}_4$) и доступностью фосфора для растений. Для определения степени подвижности калия А.П. Голубевой была предложена величина концентрации калия в вытяжке $0,003 \text{ н. CaCl}_2$.

Проведены также исследования по **мелиорации хлоридно-сульфатных солонцовых почв** каштановой зоны в условиях орошаемого и богарного земледелия (Н.К. Балябо, Б.С. Гутина и др.). Большая работа по изучению плодородия целинных и залежных земель и его изменения в первые годы после распашки проводилась под руководством **Владимира Андреевича Францесона** (1902 - 1961).

Будучи с 1937 г. руководителем лаборатории по изучению плодородия почв черноземной зоны, он изучал водные свойства в процессе высушивания и смачивания черноземных почв и обобщил итоги этих исследований в докторской диссертации «Изменение агрономически важных свойств чернозема под влиянием высушивания и смачивания», которую успешно защитил в 1948 г. В работе были подтверждены выводы А.Н. Лебеяднцева о существенном увеличении подвижности питательных элементов под влиянием высушивания и смачивания

почвы и показана связь этих явлений с разрушением почвенных агрегатов.

В 1948 - 1949 гг. В.А. Францесон руководил экспедицией по изучению водно-физических свойств почв центрально-черноземной области в целях орошения. Полученные материалы опубликованы в работе «Черноземные почвы, их генезис и свойства».

Наиболее важные научные и практические положения, вытекающие из результатов исследований В.А. Францесона:

1. Вопросы окультуренности и окультуривания почв он рассматривал как новый этап в развитии агрономического почвоведения, которое должно изучать не только виды почв как природных тел, но и варианты почв, созданные человеком, т.е. изучать генезис различных культурных почв и их агрономическую характеристику.

В.А. Францесон обобщил большой экспериментальный материал почвенно-агрохимических обследований в черноземной зоне и установил ряд закономерностей в отношении эффективности минеральных удобрений в зависимости от почвенных условий и окультуренности почв. Он отмечал, что окультуренные почвы требуют более глубокого изучения эффективности удобрений.

2. Изучая водно-физические свойства черноземных почв, он подчеркивал важность мероприятий по сохранению влаги и преодолению засухи как важнейшей предпосылки получения высокого урожая и проявления высокой эффективности удобрений в неорошаемых районах черноземных степей и лесостепи. Проблему рационального, более экономного использования влаги он рассматривал во взаимосвязи с правильным применением удобрений, поскольку оптимальное соотношение между азотом, фосфором и калием имеет большое значение для экономного расходования влаги в почве при создании высокого урожая. В.А. Францесон считал важным установить наиболее эффективные дозы, соотношение и технику внесения удобрений для преодоления почвенной засухи в период вегетации сельскохозяйственных культур.

3. Было показано, что по мере перехода от обыкновенных черноземов к мощным, выщелоченным, оподзоленным черноземам лесостепи снижается способность почв к накоплению нитратов. В этом направлении закономерно усиливалось действие азотных удобрений, вносимых под все сельскохозяйственные культуры.

4. В.А. Францесоном была установлена определенная связь между эффективностью фосфорных удобрений и динамикой содержания почвенного азота. Даже на почвах, бедных подвижным фосфором,

эффективность фосфорных удобрений может сильно снижаться при слабой обеспеченности почв подвижным азотом. Эти научные положения актуальны и в настоящее время.

5. Уделяя много внимания эффективности фосфоритной муки в связи со свойствами почв, Владимир Андреевич констатировал, что малая эффективность фосфоритной муки на почвах с высокой насыщенностью основаниями ставит вопрос о разработке специальных мероприятий по повышению усвояемости фосфорной кислоты фосфорита в этих условиях: внесение фосфоритной муки с физиологически кислыми удобрениями; компостирование ее с навозом; внесение фосфоритной муки под культуры, обладающие повышенной способностью к усвоению фосфорной кислоты из нее.

По эффективности действия фосфоритной муки он выделил в черноземной зоне группы районов:

1) районы сплошного или преобладающего распространения почв, обеспечивающих наиболее эффективное применение удобрений. Это районы выщелоченных и оподзоленных черноземов;

2) районы частичного распространения почв, обеспечивающих наиболее эффективное применение фосфоритной муки. Это районы с преобладанием мощных и тучных черноземов и районы с преобладанием выщелоченных и оподзоленных черноземов с повышенной насыщенностью основаниями;

3) районы, где применение фосфоритной муки эффективно при обязательном обеспечении азотного фона (посев бобовых культур, внесение минерального азота и т.д.);

4) районы, нуждающиеся в специальных мероприятиях по повышению подвижности P_2O_5 фосфоритной муки. Это территории распространения обыкновенных черноземов, обладающих очень высокой насыщенностью основаниями (более 93 - 95%).

Успехи развития агрохимической науки в XX столетии в значительной мере были связаны с внедрением новых физических, химических, физико-химических методов, а также с **совершенствованием методологии агрохимических исследований**. Среди ученых, внесших вклад в разработку и внедрение новых методов в экспериментальную агрохимию, достойное место занимает выдающийся ученый *Александр Трофимович Кирсанов* (1880 - 1941).

Он отличался высокой эрудицией не только как агрохимик-почвовед, но и в области растениеводства, земледелия, химии почв и растений и т.д. Его научно-методические разработки и положения имеют широкое практическое значение и в настоящее время.

Александр Трофимович много внимания уделял разработке метода определения подвижных фосфатов в почве как важного элемента питания растений. Это позволило уже в 1931 г. выпустить первые картограммы содержания подвижных фосфатов в различных почвах.

Метод А.Т. Кирсанова и поныне является одним из основных при оценке состояния фосфатного режима почв дерново-подзолистого типа, им широко пользуются в научных учреждениях и в системе агрохимической службы.

Он внес значительный вклад в теорию и практику известкования кислых почв, в трактовку природы кислотности почвы, связывая приемы регулирования почвенной кислотности с урожаем, с физическими, физико-химическими свойствами почвы, с биологическими процессами (нитрификацией, аммонификацией, биологическим поглощением питательных веществ почвенными организмами).

Во втором издании книги А.Т. Кирсанова «Известкование как фактор урожайности» (1930) подробно изложен опыт известкования почв в зарубежных странах, а также методические подходы при определении нуждаемости почв в известковании в разных странах.

Немало внимания он уделял и проблеме эффективного использования калийных удобрений и взаимовлиянию калийных и азотных удобрений. В связи с этим он опубликовал серию работ: «Химическое определение потребности почв в калийных удобрениях» (1933), «Действие К на различных почвах при различных концентрациях Н, Са и N» (1934), «Взаимная зависимость действия калийных и азотных удобрений» (1935), «Изменение содержания N, P₂O₅, К в урожае ячменя под влиянием почв и удобрений» (1938) и др.

Изучая взаимодействие различных видов удобрений, А.Т. Кирсанов еще в 1934 г. пришел к выводу, что «при сильном недостатке калия азотные удобрения не только не повышают урожай, но даже губят его».

Действие удобрений он связывал с наличием доступных питательных веществ в почве, соотношением ионов в почвенном растворе, влажностью почвы, уровнем плодородия, высотой урожаев предыдущих лет, особенностями агротехники и с другими факторами.

Крупный вклад в совершенствование методологии агрохимических исследований внес **Всеволод Маврикиевич Ключковский** (1900 - 1972). Среди российских ученых XX столетия В.М. Ключковский занимает достойное место как ведущий исследователь в области агрохимии и радиоэкологии, обративший свои фундаментальные знания на исследование строения атомов, разработку методологии и применения метода меченых атомов в агрохимии и биохимии. В его масштабных

обстоятельных исследованиях особое место занимает создание и развитие радиоэкологии и агрохимии радиоактивных продуктов деления. Эти и другие многоплановые исследования радиоизотопов в различных отраслях биологических и сельскохозяйственных наук получили всемирную известность и признание.

Становление и активное развитие сельскохозяйственной радиологии началось с организации В.М.Клечковским в 1947 г. лаборатории биофизики в Московской сельскохозяйственной академии имени К.А.Тимирязева, в которой трудились талантливые ученые – А.Г.Шестаков, И.В.Гулякин, Е.В.Юдинцева и др. Уже в течение пяти первых лет работы данной лаборатории были вскрыты основные закономерности поведения радионуклидов в почве, размеры перехода их из почвы в растения, величины накопления радионуклидов в различных органах растений.

Масштабные исследования в дальнейшем были проведены с целью выяснения условий, способствующих поступлению радионуклидов в растения, а также факторов, снижающих накопление радионуклидов в урожае сельскохозяйственных культур. Результаты этих экспериментов имели важное значение и остаются весьма актуальными и по сей день, особенно при выращивании растений на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному заражению.

Яркий след в истории агрохимии, в развитии отечественной агрохимической научной школы оставил *Николай Сергеевич Авдониин* (1903 - 1979). Им были разработаны важнейшие научно-практические положения в агрохимической науке.

Под руководством Н.С.Авдониина на кафедре агрохимии МГУ имени М.В.Ломоносова проводились многоплановые фундаментальные и прикладные исследования.

В начале 50-х гг. выполнены подробнейшие исследования по обоснованию повышенной эффективности гранулированного суперфосфата по сравнению с порошковидным в системе почва - удобрение - растение - микроорганизмы. Было установлено, что снижение ретроградации фосфорной кислоты гранулированного суперфосфата в почве связано с активизацией микробиологических процессов в сфере вокруг гранул, что снижает химическую иммобилизацию фосфор. Результаты этих исследований были обобщены и опубликованы Н.С.Авдониным в книгах: «Гранулированные удобрения» и «Применение гранулированного суперфосфата», получивших широкую известность в нашей стране и за рубежом.

Под руководством Н.С. Авдониной было изучено взаимодействие между свойствами почвы, применением удобрений и устойчивостью зимующих культурных растений к неблагоприятным погодным и другим условиям в зимне-весенний период.

Биохимическое исследование содержания в зимующих растениях различных фракций углеводов, азотистых веществ, химического состава золы, изучение активности инвертазы, каталазы, пероксидазы и протеолитических ферментов показали, что гибель этих растений зимой на дерново-подзолистой почве происходит вследствие негативного воздействия на них неблагоприятных свойств почвы и условий зимовки.

Итоги этих исследований были представлены в монографии Н.С. Авдониной «Вопросы земледелия на кислых почвах».

На кафедре агрохимии МГУ под руководством Н.С. Авдониной было обстоятельно изучено влияние свойств почвы и удобрений на качество растительной продукции. Результаты исследований показали, что чем более окультурены почвы, тем лучше качество растительной продукции, которое оценивалось по широкому спектру показателей: содержанию белковых веществ, незаменимых аминокислот, различных видов углеводов (глюкозы, сахарозы, крахмала), витаминов (С, В1, В2), каротинов, составу зольных веществ и т.д. Эти многочисленные оригинальные данные были обобщены и опубликованы Н.С. Авдониным в книге «Почвы, удобрения и качество растениеводческой продукции».

На развитие агрохимии существенное влияние оказали исследования и разработки ученых, работавших в смежных отраслях знаний. В этой связи необходимо отметить видную роль работ В.В. Докучаева, А.Г. Дояренко, Н.И. Вавилова, С.И. Вольфовича, В.А. Ковды.

Василий Васильевич Докучаев (1846 - 1903). В.В. Докучаев писал, что улучшение сельскохозяйственной культуры может пойти правильным, надежным путем только при всестороннем знакомстве с почвами. Он изучал почвы с целью управления происходящими в них процессами, определяющими плодородие, устойчивость и высоту урожая сельскохозяйственных растений.

В ряде своих работ по классификации и оценке земель В.В. Докучаев детально учитывал процесс окультуривания почв при удобрении навозом, изучая плодородие удобренных почв при построении классификации и оценочных шкал.

В 1892 г. он написал свою знаменитую книгу «Наши степи прежде и теперь» как отклик на бедствие народа – в 1891 г. сильная засуха

поразила черноземную полосу России. В книге дан анализ причин засухи и изложен план преобразования природы и реконструкции сельского хозяйства черноземной полосы для получения высоких и устойчивых урожаев.

Система мероприятий, разработанная и рекомендуемая В.В. Докучаевым, направлена на регулирование водного хозяйства в степях России. Он писал, что вековой опыт местных жителей и научные исследования, выполненные в южной степи России, свидетельствуют, что черноземная полоса подвергается медленному прогрессирующему иссушению. В связи с этим в книге «Наши степи прежде и теперь» В.В. Докучаев наметил программу действия, систему мер по спасению степного земледелия России и устранению причин, приводящих к стихийным бедствиям в черноземном крае.

Главные из них: регулирование рек; регулирование оврагов и балок; регулирование водного хозяйства в открытых степях, на водораздельных пространствах; разработка норм по соотношению площадей пашни, лугов, лесов и вод и совершенствование системы обработки почвы в степном земледелии.

Все предложенное В.В. Докучаевым весьма актуально и ныне и свидетельствует о том, что он мыслил по государственному, стратегически подходил к решению вопросов отечественного земледелия – с учетом всего агрокомплекса, применительно к конкретным природно-географическим условиям.

В.В. Докучаев не ограничивался только составлением своего плана. Он добился организации специальной экспедиции, возглавил ее, организовал сеть опытных станций, на практике проверяя реальность своего плана и эффективность предложенных мер.

Разработанный им комплекс агрономических мероприятий был осуществлен применительно к местным условиям на Каменностепной опытной станции (ныне НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева), что позволило в течение многих лет получать в черноземной степи высокие и устойчивые урожаи зерновых и других культур.

В.В. Докучаев писал не только о необходимости создания сельскохозяйственных учреждений для применения разработанных научных положений и выработки наиболее выгодных приемов для достижения успехов в любом техническом производстве, но и о важности подготовки хороших специалистов-агрономов, для чего необходима организация высших учебно-агрономических институтов. В.В. Докучаев впервые показал важнейшую роль почвы в жизни природы и человека, а в его учении она рассматривается как особое естественно-историческое тело, в котором, как в зеркале, отражаются вековые взаимодей-

ствия между мертвой и живой природой, включая и деятельность человека. Поэтому отечественные зарубежные ученые называют его одним из основателей современного учения о биосфере.

В.В. Докучаев выступал за разработку и развитие отечественной зональной агрономии, против слепого использования достижений агрономии западноевропейских стран.

Освещаются вопросы агрохимии и в трудах известного ученого Н.И. Вавилова. *Николай Иванович Вавилов* (1887 - 1943) – выдающийся агроном-растениевод, генетик, селекционер, географ, педагог и организатор сельскохозяйственной науки, основоположник учения о биологических основах селекции.

Уже в первых работах Н.И. Вавилова по химической защите растений и в последующих исследованиях о влиянии различных удобрений на иммунитет растений отмечается непосредственная связь с агрохимией. Н.И. Вавилов на основе серии полевых и вегетационных опытов по влиянию азотных и калийных удобрений на иммунную систему растений пришел к заключению, что изменчивость иммунитета в зависимости от условий окружающей среды – вопрос весьма сложный. Он подтвердил это заключение при изучении влияния на иммунитет растений макро- и микроэлементов на новых сортах пшеницы и овса, различающихся по устойчивости к бурой и желтой ржавчине. В число факторов, способных изменять иммунитет растений, он включил такой важный агрохимический показатель, как кислотность почвы.

Н.И. Вавилов всегда следовал учению Д.Н. Прянишникова об агрохимии как системе растение - почва - удобрение и подчеркивал большое значение минеральных удобрений для земледелия страны.

Поэтому с особым удовлетворением Николай Иванович воспринял открытие больших запасов залежей калийных и фосфорнокислых солей в Соликамске и Хибинах. Он писал, что это по-новому поставило проблему химизации земледелия – от академического изучения промышленности минеральных удобрений, при фактическом их отсутствии, страна приступила на деле к широкому их использованию.

По мнению Н.И. Вавилова, расширение производства минеральных удобрений – одно из существенных условий дальнейшего подъема сельского хозяйства.

На основе результатов исследования эффективности действия минеральных и органических удобрений, а также известкования почв на полях колхозов и совхозов Ленинградской области им были выявлены районы наиболее эффективного применения удобрений в сево-

оборотах в сочетании с другими приемами агротехники. Поэтому в статье «Проблемы северного земледелия» (1931) Н.И.Вавилов писал, что основным условием при этом является химическая мелиорация почвы и применение органических и минеральных удобрений, обращая при этом внимание на недооценку навоза в земледелии нашей страны.

Николай Иванович призывал к дифференцированному подходу к применению удобрений и предостерегал от шаблонного применения любых мероприятий.

Н.И.Вавилов отмечал, что химизация земледелия в стране требует проведения огромной планомерной исследовательской работы, которая может быть под силу только хорошо налаженному коллективу агрохимиков. Для достижения успехов по любым вопросам агрономических наук он призывал к кооперации усилий ученых различных специальностей между собой – селекционеров, биохимиков, физиологов растений, фитопатологов.

Важную роль в истории развития агрохимии, в частности **технологии производства минеральных удобрений**, сыграл **Семен Исаакович Вольфкович** (1896-1980), выдающийся ученый-химик. Его многоплановые работы по технологии производства минеральных удобрений оказывали существенное влияние на развитие химической туковой промышленности. Он руководил исследованиями по переработке хибинских апатитнефелиновых руд на концентрированные удобрения, фтористые соли и соединения редкоземельных металлов; участвовал в освоении первого цеха синтеза аммиака, в разработке процесса получения и кондиционирования аммиачной селитры.

С.И.Вольфкович был инициатором исследований процесса синтеза мочевины и активным пропагандистом ее применения.

Впоследствии аммиачная селитра и мочевина стали основными высококачественными и эффективными азотными удобрениями в отечественном земледелии.

Позже Семен Исаакович совместно с сотрудниками предложил способ производства фосфатов и полифосфатов мочевины и тройного удобрения – карбоаммофоски.

После открытия крупнейшего Верхнекамского месторождения калийных солей он с сотрудниками предложил технологическую схему переработки сильвинитов, а также метод химической переработки карналлитов с получением калийно-азотного и магниезального удобрений.

Обширные теоретические и производственные исследования С.И. Вольфовича, его учеников и сотрудников послужили основой для создания и развития промышленности по производству обесфторенных фосфатов, аммонийных и натриевых фосфатов, моно- и дикальцийфосфатов и др., которые получили распространение в качестве кормовых средств для животноводства.

С.И. Вольфович отводил агрохимии важное место среди других отраслей знаний и отмечал, что, объединяя свои усилия с биологией и физикой, она (агрохимия) позволит раскрыть сущность закономерностей развития организмов. Поэтому такие сопредельные, «гибридные» науки, как биохимия, агрохимия, химия почв, биохимия микроорганизмов, биогеохимия, химия пищевых и кормовых средств и т.п., призваны решать важнейшие теоретические и практические задачи изучения круговорота элементов питания в природе, процессов роста и плодоношения растений, животных и микроорганизмов с целью активного воздействия на их течение в нужных направлениях, с желательной интенсивностью.

Еще в 1962 г. С.И. Вольфович призывал не только к увеличению темпов производства минеральных удобрений, но и определил основные направления в развитии их ассортимента и повышении качества: к значительному повышению концентрации питательных веществ в удобрениях; к большему выпуску удобрений в виде тукосмесей и комплексных удобрений, включающих как макро-, так и микроэлементы; к расширению производства борных, медных и марганцевых и к организации производства молибденовых, кобальтовых, цинковых, йодных и других микроудобрений; к выпуску части азотных и комплексных удобрений в жидком виде; к выпуску части бесхлорных калийных удобрений; к организации производства медленно растворимых (длительно действующих) азотных удобрений и комплексных удобрений на базе продуктов полимеризации мочевины с различными веществами и т.д. Значительная часть этих направлений была реализована на практике при производстве минеральных удобрений.

Во второй половине XX в. получило развитие **экологическое направление исследований в агрохимии**. Причем существенное влияние в этом направлении оказали работы профессора Московского университета **Виктора Абрамовича Ковды** (1904-1991), своими классическими работами по связи агрохимии с геохимией создавшего новое направление исследований – агрогеохимическое. Характерная особенность работ В.А. Ковды состоит в том, что рассмотрение

глобальных, фундаментальных проблем почвенного покрова, его биосферных и геохимических функций он проводит с позиций жизнеобеспечения человечества на планете, с решением насущных практических задач. Им выполнен и опубликован ряд важных научных работ, содержащих новые фундаментальные положения агрохимии.

В работе «Основы учения о почвах» (1973) В.А.Ковда пишет, что культурные (искусственные) биогеоценозы (т. е. агрогеоценозы), направляемые разумом и трудом человека, производят важнейшую органическую продукцию пищевого и производственного значения. Человек получает максимальную устойчивую биологическую продукцию от биогеоценозов только тогда, когда он правильно воздействует на звенья этой сложной системы... Однако эффективно управлять культурными экосистемами удастся лишь тогда, когда правильно понят механизм, сущность и история взаимоотношений почвы, организмов и условий среды.

Плодородие почвы – главное условие жизни человека на Земле. Оптимизация химического состава почв с помощью применения агрохимических средств не только повышает плодородие почв, но и предотвращает возникновение многих эндемических заболеваний человека и животных.

Всеобщим и наиболее важным результатом биологического круговорота веществ и биогенной трансформации горных пород, синтеза и минерализации органических веществ явилось повсеместное обособление на суше гумусового горизонта. Именно эта тонкая оболочка энергетически и биологически наиболее активной части почвенного покрова и определяет уровень и потенциальные возможности его плодородия.

Органическое вещество с точки зрения агрономической практики и физиологии питания растений выполняет многоплановое действие в агробиогеосистемах: как своеобразные формы комплексных удобрений; перегнойные вещества, образующие агрономически ценную водостойчивую структуру почвы, способствующую созданию для растений благоприятных водно-воздушных свойств.

Подчеркивая важность гумусовых веществ в практике земледелия, В.А.Ковда обращает внимание на необходимость использования комплекса мер по сохранению и воспроизводству гумуса в почве: систематическое применение органических удобрений; система правильных севооборотов; правильное травосеяние, в частности регулярное возделывание в севооборотах бобовых трав или бобово-злаковых травосмесей; периодическое применение зеленых удобрений;

известкование, обогащающее почву соединениями кальция и активизирующее процессы синтеза соединений гуминовых кислот, и т.д.

В.А.Ковда отмечал, что наступает время реальной возможности постепенного и все более рационального управления сверхсистемой природа - общество в рамках всей планеты. И эти обстоятельства заставляют особенно внимательно рассматривать проблемы одного из важнейших компонентов природы – почвенного покрова в свете его улучшения, рационального использования и охраны, поскольку с его существованием и нормальным функционированием связано и нормальное функционирование биосферы в целом.

Естественное плодородие почв без добавления минеральных и органических удобрений даже на лучших почвах не может обеспечить устойчивое получение урожаев зерновых культур более 25-30 ц/га. Без применения удобрений на подзолистых, серых лесных, осушенных болотных почвах урожаи не превысят 8-12 ц/га; на орошаемых сероземах, черноземах или каштановых почвах – 25-30, а чаще 15-20 ц/га. Для получения урожая зерна порядка 50-60 и тем более 70-100 ц/га нужны благоприятный биохимический фон почвы, высокая обеспеченность почвы энергией (содержание гумуса 5-6%), влагой, элементами минерального питания и углекислотой.

Успехи будущего земледелия Виктор Абрамович связывал с широким применением минеральных удобрений, отмечая, что промышленные удобрения остаются и будут оставаться в обозримом будущем одним из главных рычагов повышения продуктивности сельскохозяйственного производства. В настоящее время нет разумной альтернативы их применению.

Он писал: «Одной из задач современной агрохимии является всемерное повышение эффективности минеральных удобрений и одновременное изучение экологических последствий интенсивной химизации сельского хозяйства... В развитых странах, где высокопродуктивное сельскохозяйственное производство основано на интенсивном применении удобрений, последние становятся экологическим фактором, усиливающим через почвенно-грунтовые воды, растения и почвенные микроорганизмы круговорот биофильных элементов» .

Несомненно, современники и потомки наши должны помнить и быть благодарны многим известным ученым, активно развивавшим в XX столетии фундаментальные положения и методологию агрохимической науки. К уже названным ранее именам исследователей необходимо добавить имена других **ученых стран СНГ**.

Весьма авторитетным и хорошо известным в Украине был *Пётр Антипович Власюк* (1905 - 1980) – Заслуженный деятель науки УССР, академик ВАСХНИЛ и АН УССР.

Его творческой деятельности была присуща многоплановость исследований: физиология питания растений, почвоведение и геохимия. Многие его работы выполнены в направлении выяснения сущности влияния органических веществ, биогенных макро и микроэлементов, физиологически активных веществ на рост и развитие растений.

При исследовании питания растений он впервые на Украине применил метод меченых атомов, что позволило ему выявить физиологические особенности участия соединений фосфора в синтезе углеводов в разных органах сахарной свеклы, а также роль серы в биосинтезе аминокислот и белков.

Много внимания П.А. Власюк уделял выяснению биологической роли марганца, молибдена, бора и цинка в жизнедеятельности растений. Эти исследования проводились в различных аспектах: как биогенные элементы в питании растений, как компоненты ферментных систем и как активаторы и ингибиторы (в зависимости от концентраций) процессов роста и развития растений.

Александр Иванович Душечкин (1874 - 1956) – Заслуженный деятель науки УССР, основатель украинской научной агрохимической школы. Он много внимания уделял исследованию динамики изменения форм азота в почве в зависимости от внесения удобрений и других факторов; формам и динамике фосфора в почве и путям повышения эффективности фосфорных удобрений, поступлению питательных веществ в растения, рациональным приемам внесения удобрений, наиболее эффективного использования местных удобрений и другим актуальным проблемам агрохимии.

Иван Георгиевич Рождественский (1901 - 1977). Внес большой вклад в развитие агрохимической науки и в разработку систем удобрения в свекловичных севооборотах. Он обосновал условия эффективного использования калийных солей, разных форм азотных и фосфорных удобрений в зависимости от почвенно-климатических условий, целесообразность сочетания хлоридов и сульфатов калия, натрия, магния и кальция, обеспечивающих увеличение урожая и улучшение качества сахарной свеклы. Им выполнены важные исследования по применению под сахарную свеклу концентрированных удобрений и тукосмесей.

Яркой личностью среди ученых Украины был *Николай Константинович Крупский*. Он много внимания уделял развитию фундаментальных агрохимических исследований. Под его руководством выполнены исследования по выяснению природы почвенной кислотности, что позволило разработать новое направление в известковании почв. Он впервые предложил использование электрометрических методов определения ионов в почвах, которые нашли широкое применение в научных исследованиях по агрохимии и почвоведению. Под руководством Н.К. Крупского выполнены фундаментальные исследования агрохимических показателей плодородия почв Украины и их изменения под влиянием удобрений и агротехники.

Юрий Константинович Кудзин (1907-1978). Основным направлением его исследований была разработка агрохимических основ системы удобрения культур севооборота при длительном их применении. Он установил, что при длительном систематическом применении понижается эффективность суперфосфата, возрастает положительное действие азотных и калийных удобрений, возникает потребность в цинке. Он впервые изучил действие длительного применения удобрений на биологические процессы в черноземных почвах.

За последние десятилетия большой вклад в развитие агрохимической науки внесли украинские ученые Н.М. Городний, Б.С. Носко, А.Г. Сердюк, С.А. Балюк и другие.

В Республике Беларусь большой вклад в развитие агрохимической науки внесла *Тамара Никандровна Кулаковская* (1919-1986) – академик ВАСХНИЛ, член-корреспондент АН БССР. Выполнила обстоятельные исследования по совершенствованию методологии развития фундаментальных положений агрохимии и практики эффективного использования органических и минеральных удобрений. Она много внимания уделяла комплексной оценке состояния плодородия почв, изучению динамики баланса питательных веществ в земледелии Белоруссии, совершенствованию методов прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур.

Исследование взаимосвязи величины урожая сельскохозяйственных культур и свойств почвы привело к необходимости разработки оптимальных показателей плодородия земель в агроэкосистемах. Дифференциация доз удобрений с учетом биологических требований культур, плодородия почв и приемов агротехники позволило Т.Н. Кулаковской научно обосновать и разработать методы определения доз удобрений под планируемый урожай .

Т.Н. Кулаковская не только проводила многочисленные агрохимические исследования, но и выполняла большую научно-организаторскую работу, занимая должность директора института почвоведения и агрохимии.

Трудно переоценить значимость и результативность фундаментальных агрохимических исследований *Сергея Нестеровича Иванова*, член-корреспондента АН БССР. Развивая учение К.К. Гедройца о почвенном поглощающем комплексе, он изучал зависимость поглощательной способности почв от реакции среды, рода и концентрации катионов.

Много внимания он уделял совершенствованию методов агрохимических исследований. Под его руководством разработаны методы изучения калийного питания растений с использованием ^{86}Rb и ^{85}Rb в качестве метки калия, что позволило начать изучение процессов питания растений, потребления ими питательных веществ из удобрений и почвы в условиях совместного действия азота (^{15}N), фосфора (^{32}P) и калия (^{85}Rb) на более высоком теоретическом уровне.

Яркий след в истории развития агрохимических исследований в Белоруссии оставил *Роберт Тенисович Вильдфлуш* (1906 - 1972). Его отличительной чертой была многоплановость исследований: известкование почв, использование магнийсодержащих известковых удобрений, биохимические вопросы питания растений, влияние соотношения Са и Mg на азотный обмен в растениях и др. Под руководством Р.Т. Вильдфлуша впервые в Белоруссии были развернуты фундаментальные исследования по разработке физиологических основ и практических аспектов локального и других способов внесения удобрений. Он уделял внимание и разработке приемов эффективного использования микроудобрений при возделывании бобовых культур (клевер, люцерна, кормовые бобы, донник).

Длительное время (1973 - 1991) кафедрой агрохимии в Белорусской сельскохозяйственной академии заведовал *Александр Арсеньевич Каликинский* (1915 - 1993). Он много внимания уделял исследованиям эффективности локального внесения удобрений. На дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава и степени окультуренности. Им установлено, что лучший эффект от локального внесения удобрений получается на суглинистых почвах, а на песчаных почвах проявляется слабое действие этого приема (этот прием мене эффективен). Результат этих исследований А.А. Каликинский обобщил в своей докторской диссертации. По его инициативе были заложены стационарные опыты, в которых изучают эффектив-

ность способов внесения удобрений в полевых и кормовых севооборотах в зависимости от уровня плодородия дерново-подзолистых почв.

За последние десятилетия большой вклад в развитие агрохимии в Республике Беларусь внесли академики И.М. Богдевич, В.В. Лапа, А.Р. Цыганов, а также профессора И.Р. Вильдфлуш, Т.Ф. Персикова и другие.

Много внимания развитию агрохимии уделяли ученые Республики Казахстан, особенно в южной части страны в условиях орошаемого земледелия. Среди них хорошо известен **Кенжес Имангазиевич Имангазиев**. Он установил ряд важных закономерностей в действии удобрений (на разных типах почв): эффективность фосфорных возрастает от сероземов к горно-каштановым, а азотных – наоборот от каштановых к сероземам. На луговых почвах отмечена слабая отзывчивость сахарной свеклы на азотные удобрения. На этой культуре установлена высокая эффективность минеральных удобрений в условиях орошения. При возделывании сахарной свеклы после трав возрастает потребность в фосфорных и калийных удобрениях, а азотных – снижается. Высокая эффективность установлена от пожнивного зеленого удобрения – чины, гороха, вики при посеве после уборки озимой пшеницы.

На основе экспериментальных данных К.И. Имангазиев разработал систему удобрения в свекловичном севообороте.

Важные агрохимические исследования в условиях Казахстана выполнила **Анна Терентьевна Пономарева**. Ее исследования направлены на повышение эффективности удобрений с учетом биологических свойств культуры и плодородия почвы, в частности содержания в почве подвижных форм азота, фосфора и калия.

Много внимания она уделяла изучению фосфатного режима почв в условиях южного Казахстана. Это позволило ей констатировать сложную связь между урожайностью сельскохозяйственных культур, уровнем плодородия почв и дозой удобрений. При этом отмечена определенная корреляция между эффективностью фосфорных удобрений и содержанием подвижного фосфора в почве. С учетом этого А.Т. Пономарева разработала дозы фосфорных удобрений для основных культур, определила баланс фосфора в земледелии Казахстана и потребность республики в фосфорных удобрениях.

В орошаемых условиях Южного Казахстана определенное значение в развитии агрохимических исследований играют работы **Баяна Сапаргалиевича Басибекова**. На основе исследований, выполненных в длительных стационарных опытах, он показал, что внесение пол-

ного (NPK) минерального удобрения в севообороте обеспечивает повышение как потенциального, так и эффективного плодородия орошаемой светло-каштановой почвы, на этой основе получение высоких и устойчивых урожаев культур свекловичного севооборота: сена люцерны, корнеплодов сахарной свеклы, зерна озимой пшеницы.

На основе экспериментальных данных Б.С. Басибеков рассчитал, что в условиях Южного Казахстана при орошении светло-каштановых почв для получения высоких урожаев культур с хорошим качеством продукции и сохранения бездефицитного баланса гумуса и фосфора вынос азота за ротацию севооборота должен возмещаться на 60%, фосфора в зависимости от обеспеченности почвы подвижным фосфором: при низкой – 120%, средней – 100%, высокой – 60%. При высокой обеспеченности этих почв калием, вынос его урожаем возмещать на 25%.

За последние десятилетия ученые Республики Казахстан вносят большой вклад в развитие науки агрохимии. Среди них Р.Е. Елешев, В.Г. Черненко, С.Б. Рамазанова, А.С. Сапаров, С.З. Елюбаев и другие.

Среди ученых – агрохимиков Молдавии, внесших существенных вклад в развитие науки в XX столетии заслуживают быть отмеченными:

Петр Андрианович Курчатov (1898 - 1955). Им были разработаны теоретические положения и практические приемы управления плодородием почв, повышения урожайности культур и качества продукции.

Константин Лукьянович Загорча. Много внимания уделял исследованиям питания растений и роли удобрений в получении высоких урожаев и качества сельскохозяйственных культур, разработке методов повышения плодородия и улучшения физико-химических, физических и биологических свойств черноземных почв.

Степан Григорьевич Бондаренко. Его заслугой является разработка и использование в агрохимии и виноградарстве математических методов и компьютерной техники, системного подхода и методики расчетов энергоемкости технологий производства винограда.

Михаил Александрович Цуркан, посвятивший свою творческую деятельность разработке систем удобрения, особенно в агрохимических и технологических вопросах применения органических удобрений. Их действия на воспроизводство плодородия почв, повышение продуктивности культур, улучшении качества продукции и решению экологических проблем.

Среди ученых – агрохимиков Молдавии видное место занимают Симон Иванович Тома, Серафим Васильевич Андриеш, Петр Васильевич Кордуняну, Порфирий Николаевич Кордуняну.

Ученые - агрохимики Прибалтийских республик выполнили важные агрохимические исследования. В Литве: К.И. Плесявичюс, П.К. Васинаускас, А.И. Залинс, Я.Б. Адомавичуте, и другие; в Латвии: П.Д. Барбанис, Г.Я. Ринькис, В.Ф. Ноллендорф и другие. В Эстонии: О.Г. Халлик, Х.А. Кярблане, Р.И. Тоомре.

Среди закавказских республик в XX столетии особенно активные многоплановые агрохимические исследования проводились в Республике Азербайджан. Так академик Д.А. Алиев много внимания уделял развитию теории питания растений, фотосинтеза, метаболизма и формирования высокой продуктивности культурных растений. Практике агрохимии азота посвятил свои исследования З.Р. Мовсумов, совершенствованию методов исследования фосфатного режима почв и изучению эффективности фосфорных удобрений Р.К. Гусейнов, М.И. Джафаров, агрохимии калийного режима почв и эффективности калийных удобрений Т.А. Алиев, Х.О. Гюльяхмедов.

Состоянию режима микроэлементов в почвах и эффективности микроудобрений посвятили свои исследования А.Н. Гюльяхмедов, Н.А. Агаев, Б.К. Шакури, систем удобрения хлопчатника и овощных культур Ф.Г. Ахундов и П.Б. Заманов.

Среди ученых Армении в XX столетии активные агрохимические исследования проводили Г.Ш. Асланян, Б.Н. Аствацатрян, Н.О. Авакян, Я.С. Арутюнян, Г.Б. Бабаян.

В развитии науки агрохимии в Грузии большой вклад внесли Ш.Р. Цинцадзе, Г.Н. Урушадзе, И.Д. Гамкрелидзе, И.А. Накаидзе, М.Л. Базиава, О.Г. Ониани, И.Ф. Саришвили, О.Ю. Зардалишвили, В.П. Цанава, Г.Н. Маргвелашвили и другие.

Среди республик Средней Азии особое место в развитии агрохимических исследований занимает Узбекистан. В этой связи представляют интерес работы И.И. Мадраимова, Б.И. Мачигина, Н.Н. Зеленина, Г.И. Яровенко, П.В. Протасова, Б.М. Исаева, Т.П. Кирахунова, Д.С. Сагтарова.

Становление агрохимии в Таджикистане связано с именами И.Н. Антипова-Каратаева, И.М. Липкинда, А.М. Мещерякова. Особую роль в развитии агрохимии в этой стране сыграли исследования Х.Д. Джуманкулова.

Определенный вклад в развитие агрохимии в Туркмении внесли К.И. Семергей, А.С. Ибрагимов, Г.А. Дюжев, а в Киргизии – Н.Г. Корнева.

ГЛАВА 3.

АГРОХИМИЯ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ

Плодородие почвы – способность почвы удовлетворять потребность растений в элементах питания, влаге и воздухе, а также обеспечивать условия для их нормальной жизнедеятельности.

Почва – источник материального благосостояния человечества, величайший дар природы. Поэтому охрана и воспроизводство плодородия почв – первооснова высокопродуктивного земледелия, получения высоких и устойчивых урожаев. Важным показателем высокого плодородия почв является наличие достаточного запаса необходимых растениям биогенных элементов, которые находятся в доступной для сельскохозяйственных культур форме вследствие мобилизации элементов, составляющих потенциальное плодородие, и применения удобрений.

Важное свойство почвы – ее *поглощительная способность*, под которой понимают способность почвы поглощать и удерживать твердые, жидкие и газообразные вещества.

Благодаря поглощительной способности почв питательные элементы, сохраняя доступность корням растений, удерживаются от вымывания. Они веками накапливаются в почве, участвуют в биохимических циклах, обеспечивая жизнь новых поколений растительных организмов. Высокое плодородие почвы обеспечивает оптимальное питание растений, формирование высокого урожая и полноценной по качеству продукции для питания человека и кормов для животных. Такие почвы способны накапливать влагу в необходимых количествах и формах и удерживать ее от просачивания по профилю, смывания по поверхности и испарения в атмосферу, создавая оптимальные водный и воздушный режимы. Хорошее гумусное и структурное состояние почвы обеспечивает высокую ее влагоемкость.

Важным свойством плодородных почв является их *биологическая активность*, которая характеризует интенсивность биологических процессов, протекающих в почве. Полезные почвенные микроорганизмы не только принимают участие в биологическом круговороте питательных элементов, но и выделяют ферменты, антибиотики, стимуляторы роста и другие органические вещества, благотворно влияющие на культурные растения.

Хорошо окультуренные плодородные почвы имеют благоприятные физико-химические свойства для нормального роста и развития растений, так как одновременно обеспечивают их корневую систему достаточным количеством пищи, воздуха, влаги и тепла.

Создание оптимальных условий для роста и развития растений в значительной мере связано

- ♦ с изменением физических, химических и биологических свойств почвы;
- ♦ наличием в ней достаточного количества усвояемых для растений питательных веществ;
- ♦ интенсивностью процессов перехода элементов питания из труднодоступной для растений формы в легкодоступную и наоборот, т.е. процессов мобилизации их и иммобилизации.

Всё это определяет потребность культурных растений в удобрениях, а также в применении комплекса агротехнических и мелиоративных мероприятий. Иначе говоря, между растениями, почвой и удобрениями существует постоянная взаимосвязь.

Внесенное в почву удобрение в результате взаимодействия с почвой и воздействия почвенных микроорганизмов подвергается различным превращениям, влияющим на его способность к передвижению в почве, растворимость содержащихся в нем элементов питания и их доступность растениям. Эти превращения зависят от свойств почв и удобрений. Например, на песчаных почвах скорость разложения поступивших органических удобрений при равенстве остальных факторов выше, чем на суглинистых и глинистых.

Скорость и степень разложения органических удобрений зависят также от обогащенности почв микроорганизмами, их состава и биологической активности, а также от условий, определяющих жизнедеятельность микроорганизмов (сложения почвы, ее структуры и аэрации, гидротермического режима и физико-химических свойств, от наличия в ней питательных веществ и т.д.).

Интенсивность минерализации органических удобрений в значительной степени определяется их биогенностью. Например, навоз – биологически активное вещество; он богат микроорганизмами, в каждой тонне его содержится до 13 кг живых микробов. Торф, наоборот, беден микроорганизмами и поэтому в почве он разлагается медленно. Для ускорения процесса разложения к торфу добавляют биологически активные вещества (навоз, навозную жижу, фекалии и другие), то есть готовят органические компосты.

В почве минеральные удобрения (как и минеральные продукты разложения органических удобрений) подвергаются глубоким превращениям. Например, фосфоритная мука под влиянием кислой реакции почвенного раствора или кислых выделений корневой системы такой культуры, как люпин, переходит в растворимую форму для питания растений.

Минеральные удобрения могут вступать в обменные реакции с твердыми коллоидными частицами почвы и таким образом удерживаться в ней, могут поглощаться микроорганизмами и временно закрепляться в живой плазме и т.д.

Скорость процессов превращения поступивших в почву удобрений зависит от

- ♦ природы удобрений,
- ♦ свойств почвы,
- ♦ климатических условий,
- ♦ а также комплекса агротехнических мероприятий.

Взаимодействие удобрений и почвы может иметь положительное или отрицательное последствие в питании растений, формировании урожая и качестве продукции. Положительный эффект от систематического применения органических и минеральных удобрений заключается в изменениях физико-химических свойств почв. Например длительное внесение навоза приводит к росту в почве содержания органического вещества, увеличению ёмкости поглощения почв; при этом снижается обменная и гидролитическая кислотность и увеличивается степень насыщенности почв основаниями.

Примером ухудшения свойств почв при длительном применении минеральных удобрений является изменение реакции почвенного раствора в сторону подкисления (особенно, когда почвы уже имеют кислую реакцию почвенного раствора), что происходит в результате вытеснения из поглощающего комплекса ионов водорода и алюминия, а также в связи с физиологической кислотностью азотных и калийных удобрений. Подобные отрицательные последствия являются скорее признаком неправильного использования человеком агрохимических средств, поскольку научно обоснованная система удобрений позволяет избежать негативных последствий от их применения. При правильном внесении минеральных удобрений в сочетании с органическими (в частности, с навозом) совместно с проведением известкования, а также при внесении добавок для нейтрализации физиологической кислотности удобрений, кислотность почв не только не возрастает, а может даже снижаться.

Кроме этого, удобрение действует и на почву (реакцию раствора, интенсивность и направленность микробиологических процессов и т.д.), т.е. кроме снабжения растения элементами пищи удобрения действуют на общие условия плодородия почвы. Поэтому очень важно знать состав почвы, ее свойства и плодородие, характер и направленность происходящих в ней физико-химических, химических и биологических процессов. Это позволит правильно определить особенности превращения удобрений в почве и их действие на рост растений с учетом биологических требований и конкретных условий возделывания.

Наибольший эффект от удобрений получается в таких условиях, когда растения наилучшим образом обеспечены всеми необходимыми для них условиями жизни – пищей, водой, воздухом, теплом, светом, когда почва чиста от сорняков, когда растения не поражаются вредителями, болезнями и т.д.

Для более полного понимания влияния агрохимии на плодородие и свойства почвы необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- ♦ состав и свойства минеральной и органической частей почвы;
- ♦ поглощательная способность и свойства почвы;
- ♦ изменение и оптимизация плодородия и свойств почвы при длительном применении удобрений;
- ♦ биологический круговорот и баланс биогенных элементов и гумуса в агроценозе.

В следующих подглавах учебника эти темы будут последовательно рассмотрены.

СОСТАВ И СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ И ОРГАНИЧЕСКОЙ ЧАСТЕЙ ПОЧВЫ

Государственным стандартом дано следующее определение почвы: **Почва** – самостоятельное естественно-историческое органо-минеральное природное тело, возникшее на поверхности Земли в результате длительного воздействия биотических, абиотических и антропогенных факторов, состоящее из твердых минеральных и органических частиц, воды и воздуха и имеющее специфические генетико-морфологические признаки, свойства, создающие для роста и развития растений соответствующие условия.

Почва состоит из трех фаз: твердой, жидкой (почвенный раствор) и газообразной (почвенный воздух), которые находятся в постоянном контакте и взаимодействии.

Газообразную фазу почвы составляет почвенный воздух, который играет важную роль в жизни растений, их корней и аэробных микроорганизмов. Почвенный воздух находится в некапиллярных порах (больших промежутках в почве), так как в капиллярах большей частью находится вода. При заполнении водой всех пор почвенный воздух вытесняется из почвы. Если почва сухая, то воздух заполняет все поры (капиллярные и некапиллярные). В том и в другом случае нарушается питание растений и они гибнут.

Наиболее благоприятное соотношение воды и воздуха возможно на рыхлых структурных окультуренных и хорошо обработанных почвах.

Структура почвы – это физическое строение твердой части и порового пространства почвы, обусловленное размерами, формой, количественным соотношением, характером взаимосвязи и расположением как механических элементов, так и состоящих из них агрегатов. На структурных окультуренных почвах внесенные удобрения наиболее эффективны, так как растения получают нормальное и бесперебойное питание.

По составу почвенный воздух сильно отличается от надпочвенного воздуха. Он богат углекислым газом, а в распыленных слабо-окультуренных почвах беден кислородом. Достаточное количество кислорода в почве обуславливает полезную деятельность аэробных микроорганизмов, отсутствие же его способствует развитию анаэробных микробов, которые нередко вырабатывают токсичные для растений вещества; растительность при этом слабо развивается или гибнет. В почве постоянно протекают процессы разложения органического вещества микроорганизмами, дыхание корней растений и многие химические процессы, в результате которых потребля-

ется кислород и выделяется углекислый газ. Поэтому газовая фаза почвы по сравнению с атмосферой отличается повышенным содержанием углекислого газа (от нескольких десятых до одного, а иногда до 2 - 3%) и несколько меньшим содержанием кислорода.

Постоянный газообмен между почвой и атмосферой приводит к обогащению углекислотой надпочвенного слоя воздуха. А это улучшает воздушное питание растений углекислотой (фотосинтез), что приводит к повышению продуктивности растений. При повышенной концентрации CO_2 в почвенном воздухе он растворяется в почвенном растворе, образуя угольную кислоту, подкисляющую почвенный раствор:



Вследствие этого почвенный раствор усиливает растворение минеральных соединений почвы (фосфатов, карбонатов и др.), переводя питательные вещества в доступную для растений форму.

При плохой аэрации почвы (избыточной влажности, сильном уплотнении) в почве создается избыток CO_2 и недостаток кислорода, подавляются микробиологические процессы, а анаэробные восстановительные – активируются. В результате ухудшаются дыхание и рост корней, замедляется рост растений. Поэтому важно создавать условия для хорошей аэрации почвы, что будет благоприятно влиять на ее биологическую активность, на питание и рост растений.

Жидкая фаза почвы. Никакая жизнь, в том числе и жизнь в почве, и никакие химические процессы немислимы без воды, без растворов. Все превращения веществ совершаются в почвенных растворах или на границе коллоидных частиц и раствора (жидкой фазы). В.И. Вернадский отмечал, что в природе нет ни одного твердого тела, которое бы в своем составе не заключало воды. Почвы в среднем содержат около 20% воды от всей массы, т.е. одна пятая часть почвы – вода, ее жидкая часть. Однако в зависимости от погодных условий содержание воды в почве разное.

Питание растений различными веществами происходит через раствор. Не случайно поэтому растение может испытывать голод даже при полном наборе всех питательных веществ, если в почве не хватает влаги. Следовательно, удобрения могут сыграть свою положительную роль только при достаточном количестве влаги в почве.

Вода в почве бывает в разных состояниях. В воздухе, заполняющем промежутки между комочками почвы, она находится в виде пара. При понижении температуры пар переходит в жидкость и оседает на твердых частицах сплошной пленкой. Почвенная вода,

примыкающая к почвенным частицам, в силу большого притяжения теряет всякую способность к передвижению и находится в состоянии, близком к твердому. Эта вода получила название *гигроскопической*. Водная оболочка в виде пленки, расположенная за неподвижным слоем гигроскопической воды, называется *пленочной*. Совокупность гигроскопической воды и пара, а также части пленочной воды, наиболее плотно прижатой к молекулярному слою воды, называется *мертвым запасом влаги*. Он недоступен растению и обычно равен двойной максимальной гигроскопичности почвы.

Мертвый запас влаги тем выше, чем больше в почве иловатых (коллоидных) частиц и органических веществ (гумуса). Например, песчаная почва, бедная гумусом, содержит только 1% влаги, недоступной растениям, а очень тяжелые суглинки и глинистые почвы, богатые гумусом, – до 15% такой влаги. В торфяных почвах мертвый запас достигает 20 - 50%.

Водный режим почвы, а следовательно, и эффективность удобрений во многом зависят от ее влагоёмкости и водопроницаемости. *Влагоёмкость* – способность почв удерживать воду под влиянием сорбционных и капиллярных сил. *Водопроницаемость* – это способность почвы воспринимать и пропускать через себя воду. Глинистые и богатые органическим веществом (гумусом) почвы обладают высокой влагоемкостью и низкой водопроницаемостью и, следовательно, значительным мертвым запасом влаги; песчаные и бедные гумусом почвы, наоборот, обладают незначительной влагоёмкостью, но зато высокой водопроницаемостью. Это нужно учитывать при определении наличия полезной влаги в почве и при применении удобрений.

Когда количество воды в почве начинает превышать ее мертвый запас, она проникает в тончайшие почвенные поры – капилляры. Вода, заполняющая их, называется *капиллярной*. Эта влага хорошо усваивается растениями в процессе питания. При избыточном количестве влага в почве заполняет и более крупные, некапиллярные промежутки. Эта вода называется *гравитационной влагой*. Она передвигается в почве под влиянием силы тяжести и поэтому легко просачивается в глубь почвы. Наибольшее количество гравитационной воды наблюдается лишь после дождей, таяния снега или искусственных поливов.

Вода с растворенными в ней веществами (солями, кислотами, основаниями и т.д.), газами и содержащимися в ней микро-организмами называется почвенным раствором. В разных почвах состав почвенного раствора и его концентрация различны, что и обуславливает разные режимы питания растений. *Почвенный раствор* – самая динамичная и активная часть почвы. В него постоянно поступают различные

растворимые химические соединения, образующиеся в результате выветривания и разрушения минералов, разложения органических веществ микроорганизмами, внесения органических и минеральных удобрений. Содержание в почвенном растворе различных катионов и анионов определяется прежде всего типом почвы. Для питания растений особенно важно достаточное количество в растворе K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$, постоянное пополнение этих ионов.

Концентрация солей в почвенном растворе зависит от типа почвы, ее свойств и химического состава, природных условий, степени засоления, миграции солей по профилю почвы, антропогенного воздействия на почву и т.д. Обычно она составляет сотые доли процента (около 0,05%). При концентрации солей в почвенном растворе более 0,2% они оказывают вредное влияние на растение. На засоленных почвах концентрация может достигнуть нескольких процентов.

Твердая фаза почвы состоит из минеральной части (90-99% массы твердой фазы) и органической. В минеральной части почвы содержатся все зольные химические элементы, 1 - 3% азота от общего количества, он практически полностью находится в органической части почвы. А такие элементы, как углерод, водород, кислород, фосфор и сера, находятся в минеральной и органической частях почвы.

МИНЕРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПОЧВЫ

Минеральная часть почвы возникла в результате выветривания горных пород и минералов верхних слоев литосферы и их превращений в процессе почвообразования. Это подтверждается сходством химического состава литосферы и почв. Под совокупным влиянием на минеральную природу физических и химических факторов, в особенности живых организмов (растений и микро-организмов), произошли глубокие изменения, которые и привели к образованию на поверхности земной коры почвенного покрова.

Таким образом, «строителями» почвы являются растения и микроорганизмы, а также микро- и макрофауна, обитающая в почве, строительным же материалом – горные (материнские) породы и окружающая их атмосфера и гидросфера, а энергетическим источником почвообразования – солнечная энергия.

Почвы наследуют геохимические особенности почвообразующих пород. Например, богатство породы окисью кремния определяет и повышенное содержание его в почве, а избыток глинистых минералов отражается на преобладании их в генетических горизонтах почвы. На карбонатных породах развиваются почвы, обогащенные щелочно-

земельными элементами, а на засоленных породах формируются засоленные почвы и т.д. Однако решающую роль в почвообразовании играет биологический фактор.

Под влиянием живых организмов в почве по сравнению с земной корой количество углерода увеличилось в 20 раз, а азота – в 10 раз. Это свидетельствует о том, что растения способствуют накоплению биологически важных элементов в почве. Почвообразование в естественных условиях протекает довольно медленно. С помощью удобрений и правильной агротехники интенсивность почвенных процессов можно значительно ускорить. Например, при применении удобрений усиливается жизнедеятельность не только растений, но и почвенной микрофлоры, что резко ускоряет процессы накопления органических веществ и биологически важных элементов, т.е. повышается плодородие почвы.

В преобладающей части почв минеральную основу ее твердой фазы составляют кремнекислородные соединения. Самый распространенный минерал в почве – кварц (окись кремния). Алюминий и железо большей частью входят в состав алюмосиликатных и ферросиликатных минералов. Атомы кремния в соединении с кислородом образуют прочносвязанные группы SiO_4 , в которых кремний окружен в тетраэдрической координации четырьмя атомами кислорода. Так как кремний четырехвалентен, а кислород двухвалентен, то тетраэдр SiO_4 имеет ненасыщенные валентности кислорода, его можно рассматривать как четырехзарядный анион. Весьма существенна способность тетраэдров SiO_4 соединяться между собой с образованием групп из определенного числа атомов кремния и кислорода (рис. 3.1 а-д).

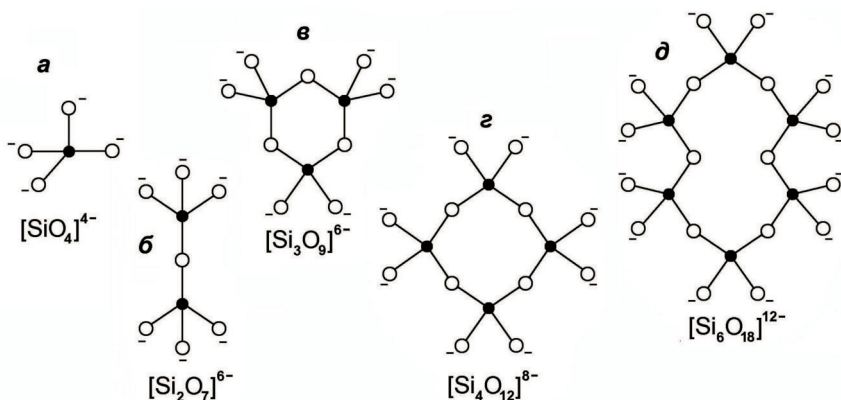
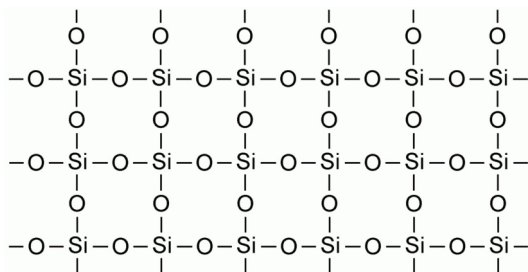


Рис. 3.1. Группы соединений тетраэдров SiO_4

В структуре минералов тонкодисперсных фракций почв кремнекислородные тетраэдры соединены в слои, цепочки или изолированные группы тетраэдров SiO_4 , представляющие собой сложные анионные комплексы, так как у атома кислорода, не участвующего в соединении между собой двух SiO_4 -тетраэдров, остается свободная валентность или один отрицательный заряд. В сложных сочетаниях из кремнекислородных тетраэдров часть атомов кремния может быть замещена атомами алюминия, что повышает ненасыщенность анионного радикала.

В кристаллической решетке кварца тетраэдр SiO_4 соединен через общие атомы кислорода с четырьмя другими тетраэдрами SiO_4 по схеме



Общая формула такого соединения $(\text{SiO}_2) \cdot n$. У полевых шпатов часть атомов кремния в подобной структуре замещается на алюминий, вследствие чего у такого кремнеалюмокислородного каркаса возникает отрицательный заряд, который компенсируется соответствующим количеством катионов натрия, кальция и других, располагающихся внутри каркаса, в «полостях» решетки. Например, полевой шпат альбит, имеющий общую формулу $\text{Na}[\text{SiAlO}_8]$, построен из связанных между собой кремнекислородных и алюмокислородных тетраэдров, причем на каждые три атома кремния приходится один атом алюминия и один ион натрия, нейтрализующий отрицательный заряд каркаса.

Алюминий в тетраэдрической координации с ионами кислорода или гидроксила образует октаэдрические группы, в которых ион алюминия окружен шестью ионами кислорода или гидроксила. Общая формула такого соединения (слоя) $[\text{Al}(\text{OH})_3] \cdot n$ соответствует составу минерала гиббсита (гидрагиллита), встречающегося в почве.

Структуру подобных минералов можно записать следующим образом:



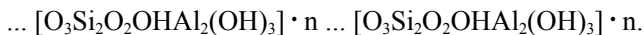
Формула показывает химический состав слоя (пакета), а точки – межпакетные промежутки.

В почвах встречаются первичные и вторичные минералы. К первичным относятся минералы, перешедшие из земной коры в почву в неизменном или почти неизменном виде. К ним можно отнести минералы почвенного скелета: кварц и его разновидности, полевые шпаты, в том числе плагиоклазы, слюды, роговые обманки, авгит, турмалин, магнетит, кальцит, доломит и др. Первичные минералы входят в состав материнских почвообразующих пород, возникших в результате выветривания и разрушения горных пород, из которых слагается оболочка земной коры. В почвах эти минералы присутствуют в основном в виде частиц песчаной размерности (от 0,05 до 1,0 мм) и пылеватых частиц (от 0,001 до 0,05 мм). В незначительном количестве некоторые из них присутствуют в виде илистых (< 0,001 мм) и коллоидных (< 0,25 мкм) частиц.

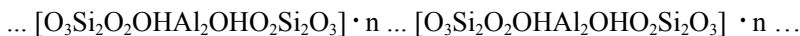
Из первичных минералов под влиянием химических и физико-химических процессов (гидратации, гидролиза, окисления) и жизнедеятельности различных организмов в почве образуются гидраты полуторных окислов и кремнеземы, различные соли, а также вторичные минералы (минералы глин) – каолинит, монтмориллонит, гидрослюды и др. Они находятся в основном в виде илистых и коллоидных частиц и редко в виде пылеватых частиц, т.е. отличаются высокой дисперсностью.

В основе кристаллической решетки алюмосиликатных минералов мелкодисперсной фракции почв лежат сочетания из кремне-кислородных тетраэдрических и алюмогидроксильных октаэдрических слоёв.

У каолинита кристаллическая решетка образована пакетами из двух слоев, связанных между собой общими атомами кислорода: тетраэдрического кремнекислородного и октаэдрического алюмогидроксильного по типу



У монтмориллонита, гидрослюды пакет кристаллической решётки образован одним алюмогидроксильным слоем и двумя присоединёнными к нему кремнекислородными по типу



У минералов каолинитовой группы связь между пакетами прочнее, межпакетные пространства небольшие. Взаимодействие микрокристаллических частиц с раствором в этом случае происходит только на внешней поверхности.

У минералов монтмориллонитовой группы межпакетные пространства больше, связь между пакетами непрочная, при увлажнении вода входит в межпакетные пространства. Поэтому в обмене на катионы почвенного раствора принимают участие катионы, расположенные как на поверхности частиц, так и находящиеся в межпакетных промежутках. Этим объясняется более высокая обменная поглощательная способность минералов монтмориллонитовой группы, а также наличие у них необменного поглощения катионов.

Почвенные глинистые минералы разделяются на четыре группы: монтмориллонитовые (монтмориллонит, бейделлит, нонтронит и др.), каолиновые (каолинит и галлуазит), гидрослюды и минералы полуторных окислов (гематит, бемит, гидраргиллит, гётит и др.). Из вторичных минералов наивысшей поглощательной способностью обладают монтмориллонитовые, наименьшей – каолинит. Например, емкость поглощения каолинита в 8 - 15 раз меньше емкости поглощения монтмориллонита. Эта особенность минералов имеет существенное значение в поглощении удобрений и ее следует учитывать при их применении. Вторичные алюмосиликатные минералы в почве находятся в виде кристаллов, имеют высокую дисперсность, обладают большой поглощательной способностью.

В состав минеральной части почвы входят и аморфные вещества. Это гидраты окислов алюминия $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ и железа $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, а также гидраты кремнезема $SiO_2 \cdot nH_2O$. Они могут кристаллизоваться. Минералы окислов и гидроксидов алюминия и железа встречаются в значительных количествах в красноземах и желтоземах.

По химическому составу минералы подразделяются на силикаты и алюмосиликаты. Из силикатов наиболее распространен кварц. Обычно в почвах его содержится более 60%, а в песчаных – выше 90%. Это химически инертный, стойкий и прочный минерал.

Алюмосиликаты представлены первичными и вторичными минералами. Из первичных больше всего полевых шпатов: калиевых (ортоклаз $KAlSi_3O_8$) и натриево-кальциевых (плагиоклазы). Слюды в почве меньше по сравнению с полевыми шпатами. Они содержат калий. Мусковит содержит много алюминия, а биотит – это железисто-магнезиальная слюда. Полевые шпаты и слюды постепенно разрушаются, освобождая калий, кальций, магний, железо и другие питательные элементы для растений.

Вторичные алюмосиликаты по химической природе относятся к гидроалюмосиликатам и подразделяются на три группы.

1. Монтмориллониты (монтмориллонит – $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, бейделлит – $\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_9(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и др.). Эта группа глин характеризуется высокой дисперсностью, набухаемостью, липкостью и вязкостью.

2. Каолиниты (каолинит – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ и галлуазит $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Эта группа глин менее дисперсна, обладает небольшой набухаемостью и липкостью. В дерново-подзолистых почвах и черноземах, сформированных на покровных суглинках, в составе высокодисперсных минералов преобладают монтмориллонит и гидрослюды. В красноземах, желтоземах и дерново-подзолистых почвах, образовавшихся на продуктах древнего гумидного выветривания гранита, в значительных количествах содержатся минералы каолиновой группы.

3. Гидрослюды (гидромусковит, гидробиотит, вермикулит) образуются из слюд, имеют непостоянный химический состав, по физическим свойствам занимают среднее положение между монтмориллонитом и каолинитом. Слюды определяют агрохимические и физические свойства почвы. Они являются источником калийного питания растений. Энергия поглощения калия коллоидами велика, вследствие чего в поглощающем комплексе многих почв его содержится 0,5-10 ммоль/100 г почвы. В некоторых почвах имеется недостаток калия, например в красноземах, латеритах, что объясняется малым содержанием в них слюд и гидрослюд и богатством почв минералами каолиновой группы, которая почти не содержит калия.

Вторичные минералы имеют кристаллическую природу. К представителям слабо окристаллизованных минералов и прочих веществ, играющих важную роль в поглощательной способности почв, относятся аллофан, свободная кремнекислота, аморфные полуторные окислы (т.е. окислы железа и алюминия), различные кислоты и их соли (карбонаты, сульфаты, нитраты, хлориды, фосфаты кальция, магния, калия и натрия).

В почве кроме макроэлементов содержится некоторое количество микроэлементов: одних больше, чем в литосфере (йод, бор), других – меньше (медь, кобальт), а некоторых примерно столько же (табл. 3.1). Основным источником микроэлементов в почве служат почвообразующие горные породы. Например, почвы, образовавшиеся на продуктах выветривания кислых пород (граниты, липариты, граниты-порфиры и др.), бедны никелем, кобальтом, медью, а почвы, образовавшиеся на продуктах выветривания основных пород (базальтах, габбро и др.), наоборот, обогащены этими элементами. Некоторые микроэлементы (I, B, F, Se, As) могут поступать в почву

3.1. Содержание микроэлементов в почве (А) и литосфере (Б), масс. %

Элемент	А	В	Элемент	А	В
Mn	$8,5 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-2}$	Cu	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
F	$2 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	Zn	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Wa	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	Co	$8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$
B	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	Mo	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
Ni	$4 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	I	$5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-5}$

с газами из атмосферы, от вулканических извержений и с метеоритными осадками. Причём для таких микроэлементов, как йод и фтор, эти источники являются основными.

Разные по гранулометрическому составу фракции минеральной части почвы резко различаются по содержанию различных минералов. В песке и крупной пыли преобладают кварц и полевые шпаты. А мелкодисперсные ($< 0,001$ мм) илистая и коллоидная фракции состоят главным образом из вторичных алюмосиликатных минералов. В связи с этим различные механические фракции почвы существенно различаются по химическому составу.

В песчаных и пылеватых почвах кремния больше. С уменьшением размера частиц его содержание снижается, а количество алюминия, железа, калия, магния и фосфора возрастает (табл. 3.2). Высокодисперсная часть почвы содержит и гумус – показатель ее потенциального плодородия. Поэтому илистая и коллоидная фракции представляют наибольшую ценность для питания растений. Эти фракции обуславливают и поглотительную способность почвы. В них наиболее активно протекают процессы физической и физико-химической адсорбции.

3.2. Примерный химический состав разных гранулометрических фракций почвы, масс. %

Фракции, мм	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	P
1,0 - 0,2	43,4	0,8	0,8	0,3	0,3	0,7	0,02
0,2 - 0,04	43,8	1,1	0,8	0,4	0,1	1,2	0,04
0,04 - 0,01	41,6	2,7	1,0	0,6	0,2	1,9	0,09
0,01 - 0,002	34,6	7,0	3,6	1,1	0,2	3,5	–
$< 0,002$	24,8	11,6	9,2	1,1	0,6	4,1	0,18

Почвы разного гранулометрического состава существенно различаются по физическим, физико-химическим и химическим свойствам. Неодинаков у них и минералогический состав.

Песчаные и супесчаные почвы состоят из кварца и полевых шпатов, суглинистые – из смеси первичных и вторичных минералов, а глинистые – преимущественно из вторичных глинистых минералов с примесью кварца.

Содержание основных зольных питательных веществ – кальция, калия, магния, железа и др. – также определяется степенью дисперсности почв, так как они содержатся в минеральной части почвы, фосфор и сера находятся как в минеральной, так и в органической части, а количество азота определяется уровнем гумусированности почв. Следовательно, почвы разного гранулометрического состава существенно различаются и по содержанию в них питательных элементов. Более тяжелые глинистые и суглинистые почвы богаче элементами питания, чем песчаные и супесчаные.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВЫ

Органическое вещество почвы – это совокупность всех органических веществ, находящихся в форме гумуса и остатков животных и растений, т.е. важная составная часть почвы, представляющая сложный химический комплекс органических веществ биогенного происхождения, разделяемых на две группы:

1. *Гумусовые* или *перегнойные вещества* специфической природы.
2. *Негумифицированные вещества* растительного и животного происхождения (остатки растений, червей, насекомых, тела микроорганизмов). Эта часть органического вещества составляет 10-15% от общего запаса его в почве; она легко разлагается и является источником питательных веществ для растения.

ГУМУСОВЫЕ ВЕЩЕСТВА

Гумус – часть органического вещества почвы, представленная совокупностью специфических и неспецифических органических веществ почвы за исключением соединений, входящих в состав живых организмов и их остатков. Гумус представляет собой высокомолекулярные азотсодержащие соединения специфической природы. Гумус (перегной) возникает в результате биохимических процессов разложения растительных остатков и в силу этого имеет весьма сложное строение. Гумусовые вещества представляют собой особую систему азотсодержащих органических соединений циклического строения и кислотной природы.

Количество гумуса в почве бывает различным и зависит от многих факторов, особенно от типа почвы, природно-климатических условий, специализации севооборота, характера и интенсивности земледелия (табл. 3.3). Больше всего гумуса в верхних слоях почвы, вниз по профилю содержание органических веществ, в том числе и гумуса, снижается.

При рациональном применении органических и минеральных удобрений в севооборотах с многолетними бобово-злаковыми травами, как правило, развиваются полезные микробиологические процессы и содержание гумуса в почве возрастает, качество его улучшается. Если удобрения не применяются, содержание его снижается, что подтверждают исследования во всех зонах нашей страны.

При оптимальных биологических процессах количество гумуса в почве со временем увеличивается. Если систематически вносят органические удобрения и соблюдают научные принципы ведения земледелия, скорость накопления гумуса возрастает еще больше. Если же нет – растительные остатки, ежегодно поступающие в почву, постепенно разлагаются, большей частью минерализуются и поэтому не накапливаются.

Содержание гумуса в почве – важный показатель ее потенциального плодородия, активности в ней всех биологических процессов. На

3.3. Содержание гумуса в основных типах почв (по И.В. Тюрину)

Почва	Содержание гумуса в пахотном слое, %	Запасы гумуса, т/га	
		слой 0 - 20 см (в среднем)	слой 0 - 120 см
Дерново-подзолистая	2 - 4	53	80 - 120
Серая лесная оподзоленная	4 - 6	109	150 - 300
Чернозёмы			
выщелоченный	7 - 8	192	500 - 600
мощный	10 - 12	224	650 - 800
обыкновенный	6 - 8	137	400 - 500
южный	4 - 5	–	300 - 350
Темно-каштановая	3 - 4	99	200 - 250
Каштановая и светло-каштановая	1,5 - 3	–	100 - 200
Серозём	1 - 2	37	50
Краснозём	5 - 7	153	150 - 300

долю гумуса приходится 85 - 90% от общего количества органического вещества почвы. Он состоит из двух основных групп: 1) гуминовые кислоты; 2) фульвокислоты. Выделены также гумины.

Гуминовые кислоты – группа темноокрашенных гумусовых кислот, растворимых в щелочах и нерастворимых в кислотах. Это – высокомолекулярные азотсодержащие органические кислоты циклического строения, хорошо растворяющиеся в слабых растворах едких щелочей, пиродифосфата натрия, щавелевокислого натрия, фтористого натрия и аммиака с образованием растворимых солей – гуматов. В зависимости от концентрации и типа почвы растворы гуматов имеют вишнево-коричневую или черную окраску. Гуминовые кислоты состоят из углерода, водорода, кислорода и азота. Их состав колеблется в относительно узких пределах: С – 52 - 62%, Н – 2,8 - 5,8, О – 31 - 39, N – 1,7 - 5%. Содержание этих элементов в гуминовых кислотах зависит от типа почвы, химического состава разлагающихся остатков, условий гумификации. Больше всего углерода в гуминовых кислотах черноземов. Сельскохозяйственное производство мало изменяет элементарный состав этих кислот.

Выделенные из почвы препараты гуминовых кислот содержат помимо названных элементов и некоторое количество зольных (P, S, Al, Fe, Si); в зависимости от степени очистки препарата их количество колеблется от 1 до 10%.

Наличие в гуминовых кислотах функциональных групп (3 - 6 фенольных гидроксильных (-ОН), 3 - 4 карбоксильных (-СООН), метоксильных (-О-СН₃) и карбонильных (-С=О) групп) определяет свойства гуминовых кислот и характер взаимодействия их с почвой. Например, карбоксильные группы в гуминовой кислоте определяют ее кислотные свойства и обуславливают участие в процессах обменного поглощения катионов. Водород карбоксильных групп может замещаться различными катионами, в результате образуются соли – гуматы (Са, К, Mg, NH₄ и т.д.).

Фульвокислоты – это группа гумусовых кислот, легко растворимых в воде, щелочах и кислотах; являются высокомолекулярными азотсодержащими органическими кислотами, состоящими из углерода, водорода, кислорода и азота. Но они, в отличие от гуминовых кислот, содержат меньше углерода и больше кислорода. Элементарный состав их примерно таков: С – от 40 до 52%, Н – от 4 до 6, О – от 42 до 52, N – от 2 до 6%. Фульвокислоты окрашены в желтый или бурый цвет. Они более подвижны и сравнительно легко передвигаются по профилю почвы.

Фульвокислоты, обладая сильной кислой реакцией и хорошей растворимостью в воде, довольно хорошо разрушают минеральную часть почвы. Вместе с тем следует отметить, что разрушающее действие фульвокислоты на почву, ее минеральную часть, во многом зависит от количества гуминовых кислот в данной почве: чем меньше в ней гуминовых кислот, тем сильнее действие фульвокислот.

Как и гуминовые кислоты, они имеют функциональные группы, способные к обменному поглощению катионов, образуют растворимые соли кальция, магния и др. (фульваты).

Фульвокислоты более подвижны, азотные соединения в них связаны менее прочно, поэтому легче подвергаются кислотному гидролизу, чем азотные соединения гуминовых кислот. В гуминовых кислотах содержится 15 - 30%, а в фульвокислотах – 20 - 40% азота почвы.

Гумины – комплекс гуминовых и фульвокислот (по природе ближе к гуминовым кислотам), отличающийся от последних тем, что более прочно связан с минеральной частью почвы, более устойчив к разложению микроорганизмами; нерастворим в кислотах, щелочах и органических растворителях. Азот гуминов составляет 20-30% общего азота почвы.

Различные типы почв отличаются не только по общему содержанию гумуса, но и по количеству и соотношению гуминовых кислот и фульвокислот. Например, в дерново-подзолистых почвах это соотношение 0,4-0,6, а в черноземах – 1,0-1,5 и более. Эти различия в значительной степени обуславливают более высокую подвижность органического вещества, а следовательно, и азота в дерново-подзолистых почвах по сравнению с черноземами.

Гумусовые вещества могут находиться в почве в виде гуматов кальция, магния, натрия; в виде гуматов и смешанных солей с гидроокисью алюминия и железа или комплексных органо-минеральных соединений с алюминием, железом, фосфором и кремнием. Они способны поглощаться глинистыми минералами. Особенно прочна связь гумусовых веществ с минералами типа монтмориллонита; с каолинитом или полевыми шпатами связь менее прочная. Образование различных органо-минеральных соединений в почве (комплекс гумусовых веществ с минеральной частью) ведет к закреплению гумуса в почве. Гумус играет важнейшую роль в создании почвенного плодородия и в питании растений.

1. Органическое вещество является источником элементов питания для растений. В нем содержатся 98 - 99% азота, 30 - 40 – фосфора, 90% серы от общего содержания их в почве.

2. Гуминовые кислоты, фульвокислоты и другие, а также углекислота, образующаяся при разложении органических веществ, постепенно разрушают силикаты и алюмосиликаты, растворяют карбонаты кальция и магния, фосфаты и другие соли, переводя эти элементы питания в доступную для растений форму.

3. Органические вещества являются источником пищи для микроорганизмов. При их разложении азот, фосфор, сера переходят в легкоусвояемые минеральные соединения.

4. Многие органические вещества – гуминовые кислоты в высокодисперсном состоянии, органические кислоты (уксусная, пропионовая, янтарная и др.), а также ферменты, антибиотики, витамины, поступающие в растения в микро-количествах, – стимулируют иногда их рост в условиях водной и песчаной культур.

5. Органическое вещество почвы участвует в адсорбционных процессах в почве, повышает ее поглотительную способность и буферность, улучшает физические свойства почвы (влагоемкость, водо- и воздухопроницаемость, тепловой режим и т.д.).

В почве постоянно происходят процессы образования и разрушения гумуса. Гумус, хотя и устойчив к микробиологическому разложению, постепенно минерализуется. В зависимости от того, какой процесс преобладает, содержание гумуса в почве увеличивается или уменьшается. В пахотном слое дерново-подзолистых почв органического вещества ежегодно минерализуется 6-7, а в чернозёмных почвах – около 10 ц/га, что составляет соответственно около 1 и 0,4-0,5%. Органические и минеральные удобрения, заплата растительных остатков повышают содержание гумуса и азота в почве.

Органическое вещество почвы образуется под влиянием жизнедеятельности растений, микроорганизмов и почвенной фауны. На процесс разложения органического вещества оказывают влияние воздух, влага, химический состав растительных остатков. При обильном притоке воздуха и оптимальной влажности совершается быстрый аэробный процесс разложения. При недостатке воздуха и избытке влаги в почве создаются условия для анаэробного микробиологического процесса разложения. Лучшие условия для экономного разложения органических веществ создаются в структурных, рыхлых, окультуренных почвах, в которых соотношение между аэробным и анаэробным микробиологическими процессами разложения органических веществ (в том числе и гумуса) бывают оптимальными.

На поверхности структурных агрегатов (комочков) развивается аэробный (быстрый) процесс разложения, а внутри структурных

комочков, куда воздух из-за насыщения капилляров водой проникает с большим трудом, – анаэробный (медленный) процесс разложения. При таком одновременном разложении органических веществ растения лучше всего обеспечены пищей, водой и воздухом, наиболее экономно расходуется плодородие почвы, потеря водорастворимых питательных веществ в грунтовые и речные воды не происходит. Кроме условий аэрации на полноту и характер разложения органического вещества влияют и другие факторы (температура, реакция почвы, наличие органического вещества и необходимых для микроорганизмов элементов пищи – фосфора, азота и др.).

Простые органические вещества (сахар, крахмал и др.) разлагаются быстрее, чем углеводы сложного происхождения (целлюлоза, гемицеллюлоза). Белки растительного происхождения также разлагаются быстро.

Устойчивы к разложению микроорганизмами смолы, воски. Наиболее устойчив лигнин. При его соединении с микробным белком и другими азотистыми органическими веществами образуется темноокрашенное сложное комплексное вещество, являющееся основным ядром гумуса.

В результате жизнедеятельности микроорганизмов образуются вещества вторичного происхождения, из которых состоят тела самих микроорганизмов и продукты их обмена. В состав тел микроорганизмов в значительном количестве входят белковые вещества. Поэтому относительное содержание белковых веществ, включая и белковые вещества микробных тел, при разложении растительных остатков не убывает, а возрастает.

В зависимости от условий разложения в почве накапливаются качественно различные перегнойные вещества. При аэробном разложении лесной подстилки грибной флорой образуются растворимые бесцветные фульвокислоты. При бактериальном разложении органических остатков травянистых растений образуются малорастворимые, темноокрашенные гуминовые кислоты.

Изменение состава растительных остатков вследствие неодинаковых скорости и полноты разложения составных частей в почве и деятельности микроорганизмов приводит к постепенному новообразованию специфических перегнойных веществ. Следовательно, главная роль в круговороте химических веществ в почве и, прежде всего, поступающих органических соединений от растений и различных удобрений принадлежит микроорганизмам, т.е. живой части почвы.

Любая почва населена различными микроорганизмами: грибами, бактериями и актиномицетами, а также водорослями и простейшими. Их численность в разных почвах неодинакова. Состав и число микроорганизмов определяются не только типом почв, но и степенью их окультуренности. Чем выше окультуренность почвы, тем больше в ней содержится полезных микробов. Микробная масса на 1 га составляет 5 - 7 т. Если учесть, что за вегетационный период в почве сменяется несколько поколений микроорганизмов, то общая живая масса их на 1 га может достигать довольно внушительных размеров – 15 - 20 т и более.

Микроорганизмы – наиболее энергичная и подвижная часть почвы. Их важная роль в почвенных процессах и питании растений определяется не только тем, что эти живые существа обладают колоссальным ферментативным действием на окружающий мертвый субстрат, но и огромной активной поверхностью, на которой с большой скоростью совершаются сложнейшие превращения различных соединений почвы и вносимых удобрений.

Общая поверхность микробного населения 1 га почвы составляет примерно 500 - 600 га, т.е. микроорганизмы – главная живая плазма почвы. В конечном итоге они определяют течение большинства процессов в почве и во многом влияют на характер питания растений. Превращения поступающих удобрений также в определенной степени связаны с жизнедеятельностью почвенной биоты.

ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ И СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Учение о поглотительной способности почв создал К.К.Гедройц. Видную роль в разработке этого учения сыграли работы Г. Вигнера и С. Маттсона.

Поглотительную способность почв обеспечивает почвенный поглощающий комплекс, под которым понимают совокупность минеральных, органических и органоминеральных частиц твердой фазы почвы, обладающих поглотительной способностью. Под поглотительной способностью почвы К.К.Гедройц понимал способность ее задерживать вещества, соприкасающиеся с ее твердой фазой через циркулирующие в ней воды. Задерживаться могут вещества, находящиеся в растворенном состоянии, минеральные или органические коллоидально-распыленные частицы, живые микроорганизмы и грубые суспензии. В зависимости от способа поглощения, характера совершаемого при этом процесса различают следующие *виды поглотитель-*

ной способности: механическую, физическую, физико-химическую (обменную), химическую и биологическую.

Механическая поглощательная способность почвы – это ее способность механически задерживать в своих порах частицы, взмученные в фильтрующейся через почву воде. При этом задерживаются грубые суспензии алюмосиликатных и органических частиц, коллоидально-распыленных веществ, что способствует сохранению ценной коллоидной фракции, некоторых удобрений, например фосфоритной муки и др. Интенсивность механического поглощения зависит от степени пористости почвы, размера пор, дисперсности вещества и т.д. Отсюда глинистые и суглинистые почвы обладают большей механической поглощательной способностью, чем песчаные и супесчаные. Этот вид поглощательной способности играет существенную роль и в распределении микроорганизмов в почвенном профиле.

Физическая поглощательная способность – способность почвы удерживать на поверхности твердой фазы минеральные и органические вещества за счет адсорбционных сил, т.е. происходит поглощение (адсорбция) частицами почвы целых молекул растворенных в почве электролитов, а также основных продуктов гидролитического расщепления солей слабых кислот и оснований. Физическое поглощение обусловлено наличием в системе высокодисперсной фазы почвы «почва + почвенный раствор» часто значительной свободной поверхностной энергии. Благодаря этой энергии и происходит концентрирование растворенных в почве веществ у поверхности твердых частичек почвы с почвенной влагой.

В крупнозернистых, например песчаных, почвах поверхностная энергия небольшая и не играет особой роли в почвенных процессах. С увеличением дисперсности почв, с увеличением количества ила, с ростом коллоидальной его фракции (частицы диаметром $< 0,25$ мкм) поверхностная энергия возрастает.

Дисперсная система почвы в соответствии с основным законом коллоидной химии стремится уменьшить свою свободную поверхностную энергию за счет понижения степени дисперсности (уменьшения величины общей поверхности дисперсной фазы) или снижения величины поверхностного натяжения дисперсионной среды, т.е. почвенного раствора. Вещества, уменьшающие поверхностное натяжение, адсорбируются на поверхности почвенных частичек.

Повышение концентрации растворенного вещества в слое дисперсионной среды, непосредственно примыкающей к частицам фазы, называется *положительной адсорбцией*. Вещества, вызывающие по-

верхностное натяжение дисперсионной среды, вызывают обратное явление – *отрицательную адсорбцию*. При положительной адсорбции дисперсная фаза как бы притягивает из дисперсионной среды к своей поверхности растворенные вещества, а при отрицательной адсорбции – как бы отталкивает их от своей поверхности. Этот вид поглощения называется физическим, потому что поглощенное из раствора вещество продолжает находиться в растворе, но в слое жидкости, непосредственно соприкасающемся с твердыми частичками почвы. Положительно адсорбируются гидраты окисей металлов из солей сильных оснований и слабых кислот или из чистых растворов этих гидратов окисей. Анионы адсорбируются отрицательно.

Учитывая сложность качественного состава почвы, а также постоянно изменяющуюся концентрацию веществ в почвенном растворе в зависимости от метеорологических и других условий, физическое поглощение почвы можно считать динамическим процессом, в результате которого создается различная концентрация солей в почве.

Положительная адсорбция играет важную роль в почвенных процессах и в питании растений, так как растворенные в почвенной влаге вещества находятся в почве в связанном состоянии, оставаясь в растворе. Кроме этого, растворенные вещества удерживаются от вымывания из почвенных слоев вниз, тем самым сохраняется плодородие почвы. Благодаря физическому поглощению в почве создаются различные концентрации питательных элементов, и растения выбирают тот раствор, в котором концентрация солей наиболее соответствует их биологическим требованиям.

Физическое поглощение в почве может возникать и в результате коагуляции коллоидных частиц. Этот процесс предотвращает вымывание илистой фракции почвы, а также питательных веществ из корнеобитаемого слоя. Выделить в почве физическое поглощение очень трудно, так как оно постоянно находится во взаимосвязи с химическим поглощением и обменной адсорбцией.

Биологическое поглощение – поглощение растениями и почвенной микрофлорой питательных веществ из почвы, удобрений и воздуха. В результате деятельности растений и почвенных микроорганизмов накапливается органическое вещество, содержащее зольные элементы и азот. Этот вид поглотительной способности имеет большое значение в жизни почвы, в процессах почвообразования и играет существенную роль при внесении в почву удобрений.

Одной из особенностей процесса поглощения организмами элементов минерального питания является избирательность этого

процесса: корни растений и микроорганизмы усваивают из почвы главным образом те элементы, в которых они нуждаются. Большинство микроорганизмов потребляют те же элементы для питания и построения своих тел, что и растения. Количество же микробов может достигать нескольких тонн на 1 га.

К биологическому виду поглотительной способности относится и усвоение свободного азота азотфиксирующими микроорганизмами. Некоторая часть питательных веществ, вносимых в почву в виде удобрений (N, P, S и др.), потребляется микроорганизмами; если этот процесс сильно выражен, то он может отрицательно отразиться на питании культурных растений. В окультуренных дерново-подзолистых почвах в микробной плазме содержится около 125 кг N, примерно 40 кг P₂O₅ и около 25 кг K₂O на 1 га. В то же время в определенных условиях биологическое поглощение бывает полезным, так как поглощенные в этом случае питательные вещества предохраняются от вымывания и от передвижения к поверхности почвы.

Исследования со стабильным изотопом ¹⁵N показали, что в органической форме в почве закрепляется 10-20% азота нитратных и 20-40% азота аммиачных удобрений. Это особенно важно для нитратного азота, который благодаря усвоению его микроорганизмами закрепляется в почве и предохраняется от вымывания. Хотя этот процесс и положительный, но при активной микробиологической деятельности, высоком содержании в почве безазотистого органического материала и низком содержании азота в почве возможны отрицательные явления вследствие конкуренции за питательные вещества между растениями и микробами.

На интенсивность биологического поглощения, зависящего от деятельности микроорганизмов, существенное влияние оказывают условия аэрации почвы, наличие в почве энергетического материала (органического вещества почвы, растительных остатков, органических удобрений). Легкодоступным источником энергетического материала для микроорганизмов в почве служат корневые выделения растений. Поэтому в зоне ризосферы (пространства, непосредственно прилегающего к корням растений) особенно интенсивно протекают микробиологические процессы. В питании растений большая роль принадлежит поселяющимся на корнях растений грибам, образующим микоризу. Грибы как аэробные организмы снабжаются через корни растения кислородом; они обладают способностью разлагать органическое вещество почвы и снабжать растение-хозяина элементами минеральной пищи, освобождаемой при этом разложении. Это приводит

к тому, что питание растения в естественных условиях в сильной степени зависит от микробиологической деятельности в почве. Микробиологические процессы в почве можно регулировать внесением органических и минеральных удобрений, известкованием почвы, применением бактериального удобрения.

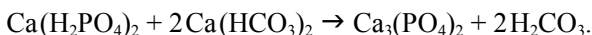
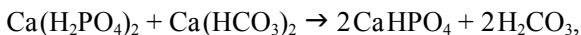
Химическая поглощательная способность – это способность почвы удерживать некоторые ионы путем образования в результате химических реакций нерастворимых или труднорастворимых в воде соединений или способность почвы переводить анионы и катионы почвенного раствора в труднорастворимые соединения.

Анионы азотной и соляной кислот (NO_3^- и Cl^-) ни с одним из катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , NH_4^+) не образуют в воде трудно-растворимых соединений, а следовательно, химически почвой не поглощаются.

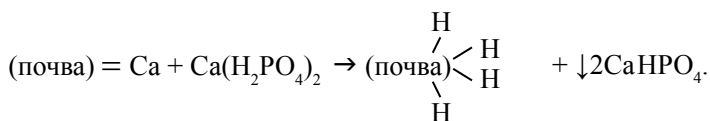
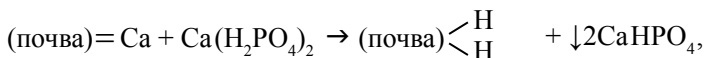
Анионы угольной и серной кислот (CO_3^{2-} , SO_4^{2-}) в почвах с большим количеством Ca^{2+} , Mg^{2+} химически поглощаются, так как образуют с ними труднорастворимые в воде соединения. Химическое поглощение фосфорной кислоты в почве происходит при образовании труднорастворимых или нерастворимых солей с двухвалентными и трехвалентными катионами (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}).

В почвах с нейтральной или слабощелочной реакцией, содержащих обменно-поглощенный кальций, бикарбонаты кальция или магния в почвенном растворе, происходит химическое закрепление фосфорной кислоты в результате образования слаборастворимых фосфатов кальция и магния. Например, при внесении в почву с высоким содержанием кальция водорастворимого фосфорного удобрения (суперфосфата) идут следующие реакции.

С бикарбонатом:



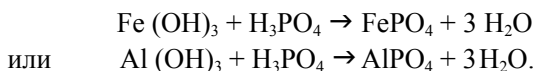
С обменно-поглощенным кальцием в почве:



Образующиеся в результате подобных химических реакций мало-растворимые соли осаждаются и переходят из почвенного раствора

в твердую фазу почвы. Поэтому такого типа процессы называют химическим поглощением. Если почвенный раствор имеет кислую реакцию, то образование нерастворимого в воде фосфата кальция затрудняется. Наоборот, при взаимодействии кислого раствора с твердой фазой, содержащей CaHPO_4 или $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, возникают процессы, прямо противоположные химическому поглощению, а именно процессы растворения. Подкисление может происходить в результате выделения углекислоты корнями растений и микро-организмами или в результате образования азотной кислоты в процессе нитрификации.

Но в кислой среде могут образовываться и малорастворимые соли фосфорной кислоты при ее взаимодействии с гидратом окиси железа или гидратом окиси алюминия:



Образовавшиеся соли в отличие от фосфатов кальция малорастворимы в почвенном растворе с кислой реакцией среды. Поэтому в зависимости от реакции среды химическое поглощение фосфорной кислоты в почвах происходит по-разному. В почвах с кислой реакцией преимущественно образуются малорастворимые фосфаты полуторных окислов, а в почвах с нейтральной и щелочной реакцией химическое поглощение фосфорной кислоты может быть связано с образованием малорастворимых фосфатов кальция.

В результате химического поглощения фосфор фосфорных удобрений переходит в менее доступную для растений форму. По возрастающей интенсивности химического поглощения фосфорной кислоты почвы располагаются в такой последовательности: черноземы < серозёмы < дерново-подзолистые почвы < краснозёмы.

Обменное поглощение катионов – это способность почвы удерживать на поверхности своих частиц ионы, способные к эквивалентному обмену, или способность мелкодисперсных коллоидов частиц почвы, как минеральных, так и органических, несущих отрицательный заряд, поглощать различные катионы из раствора.

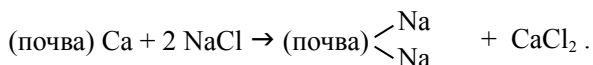
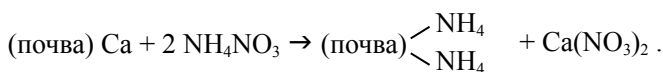
Обменное поглощение состоит в том, что из раствора в твердую фазу переходят одни катионы, а одновременно из твердой фазы в раствор вытесняется соответствующее количество других катионов, которые до этого находились в почве в поглощенном состоянии.

К.К. Гедройц сформулировал основной закон, управляющий обменной адсорбцией почв: *все почвы обладают способностью обменивать содержащиеся в их поглощающем комплексе поглощенные катионы (как металлические, так и водородные) на любые катионы электро-*

литов (как металлические, так и водородные), причем количество катионов, поглощенных почвой, эквивалентно количеству катионов, вытесненных из почвы в раствор.

В обменном поглощении катионов, как и при физической погложительной способности почв, существенную роль играет поверхностная энергия. Однако если при физическом поглощении процесс ограничивается положительной или отрицательной концентрацией растворенного в слое жидкости у поверхности почвенных частиц, то при обменном поглощении электролиты почвенного раствора вступают в химическую реакцию с молекулами, расположенными на поверхности почвенных частиц. Такая химическая реакция возможна, с одной стороны, при наличии поверхностной энергии, а с другой стороны, заряженные отрицательно почвенные коллоидальные частицы притягивают к своей поверхности катионы электролитов почвенного раствора, где эти катионы и вступают в реакцию обмена с катионами молекул, расположенных на поверхности частичек. Эти обменные реакции имеют двойственную природу – физическую и химическую. Поэтому и погложительная способность почв названа физико-химической.

Важно отметить, что в отличие от химического поглощения (когда вследствие образования нерастворимых соединений изменяется состав и общая концентрация раствора) при обменном поглощении концентрация раствора не изменяется, но изменяется вследствие обмена состав катионов в растворе, а концентрация анионов почти не изменяется. При поглощении какого-либо катиона из раствора почва одновременно отдает в раствор эквивалентное количество другого катиона, который раньше находился в твердой фазе:



В зависимости от концентрации раствора, его объема, природы обменивающихся катионов и свойств адсорбирующих частиц почвы между катионами раствора и поглощенными катионами твердой фазы почвы устанавливается некоторое подвижное равновесие. Изменение состава почвенного раствора при внесении удобрения, образование растворимых соединений в результате деятельности микроорганизмов в почве, выделение CO_2 и других веществ корнями высших растений – все эти факторы смещают подвижное равно-

весею между твердой фазой почвы и почвенным раствором и вызывают переход одних катионов из раствора в поглощенное состояние и других из поглощенного состояния в почвенный раствор.

Обменное поглощение в почвах впервые было глубоко и всесторонне исследовано К.К. Гедройцем. Всю совокупность мелкодисперсных почвенных частиц (минеральных и органических), являющихся носителем обменной поглотительной способности почвы, он предложил называть *почвенным поглощающим комплексом*. В состав его входят почвенные коллоиды, т.е. частицы от 0,00025 до 0,001 мм. Последние обладают значительно меньшей способностью к обменному поглощению. Почвенные коллоиды подразделяются на органические, минеральные и органо-минеральные (последние слабо изучены).

Органические коллоиды представлены в основном гумусовыми веществами (гуминовые кислоты, фульвокислоты и их соли).

В состав *минеральных коллоидов* входят кристаллические глинистые минералы каолинитовой и монтмориллонитовой групп, гидрослюды, а также аморфные соединения – гидраты полуторных окислов, кремниевая кислота и др. Все органические и минеральные коллоиды имеют отрицательный заряд, за исключением коллоидов гидроокисей алюминия и железа, заряженных положительно. Этим объясняется ярко выраженная способность большинства почв к поглощению катионов, а не анионов. Глинистые минералы каолинитовой группы при кислой реакции также могут приобретать положительные заряды.

Гидроксильные ионы, связанные с алюминием в октаэдрическом слое, расположенном на внешней поверхности микрокристаллических частиц каолинита, при кислой реакции, т.е. при избытке в растворе ионов водорода, могут отщепляться, в результате чего на отдельных участках коллоидной частицы возникают положительные заряды. Основные свойства таких коллоидов могут проявляться на сильнокислых дерново-подзолистых почвах и красноземах.

Следовательно, у минералов каолинитовой группы при кислой реакции могут быть на разных участках одновременно положительный и отрицательный заряды. В этом случае они способны к поглощению из почвенного раствора анионов в обмен на OH^- . Поэтому, чем больше в поглощающем комплексе почвы минералов этой группы, а также гидроокисей алюминия и железа, тем ниже способность к обменному поглощению катионов, а способность к обменному поглощению анионов возрастает.

Обменное поглощение катионов имеет свои закономерности.

1. Реакция обмена протекает в эквивалентных соотношениях и обратима. При этом устанавливается подвижное равновесие между почвой и раствором.

2. При постоянной концентрации раствора количество катионов, вытесняемых из почвы в раствор, возрастает с увеличением объема раствора, а при постоянном объеме раствора количество катионов, вытесняемых из почвы в раствор, повышается с увеличением концентрации раствора вытесняющей соли.

3. Реакция обмена катионов протекает с большой скоростью, равновесие устанавливается в течение нескольких минут.

4. Разные катионы с неодинаковой энергией поглощаются почвой и удерживаются в поглощенном состоянии.

В общем, чем выше относительная атомная масса и чем больше заряд катиона, тем сильнее он поглощается и труднее вытесняется из поглощенного состояния другим катионом. Например, в ряду одновалентных катионов поглощение возрастает в следующем порядке: $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{NH}_4^+ < \text{K}^+ < \text{Rb}^+$ с относительной атомной массой соответственно 6, 9, 23, 39, 85. Двухвалентные катионы располагаются в ряд $\text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Co}^{2+}$ (относительная атомная масса соответственно 24, 40, 59), а трехвалентные: $\text{Al}^{3+} < \text{Fe}^{3+}$ (относительная атомная масса 27 и 56).

Вместе с тем двухзарядные катионы магния поглощаются сильнее однозарядных катионов натрия, кальций поглощается сильнее калия и т.д. (при одинаковых примерно относительных атомных массах). Для характеристики неодинаковой сорбируемости различных катионов К.К. Гедройц ввел понятие «энергия поглощения катионов».

Из общего правила есть существенные исключения. Так, ионы водорода, несмотря на наименьшую относительную атомную массу, обладают высокой способностью вытеснять другие катионы из поглощенного состояния. Энергия поглощения его в 4 раза больше, чем у кальция, и в 17 раз больше, чем у натрия.

Возрастание энергии поглощения катионов с увеличением их атомной массы объясняется тем, что с ростом атомной массы и размера катиона уменьшается степень их гидратации. Слабо гидратированные катионы сильнее притягиваются поверхностью коллоида. Необходимо также отметить, что минералы группы каолинита поглощают катионы только наружной поверхностью кристалла, так как они имеют незначительное свободное пространство между пакетами кристаллической решетки (2,8 Å). У минералов же группы монтмориллонита свободное пространство между пакетами значи-

тельно больше (в сухом состоянии $9,4 \text{ \AA}$, при набухании возрастает до 21 \AA), что делает возможным проникновение в это пространство даже сравнительно крупных ионов.

В почве происходит и необменное поглощение катионов, в результате чего глинистыми минералами (мусковитом, вермикулитом, иллитом, монтмориллонитом), имеющими трехслойную кристаллическую решетку, которая может расширяться, закрепляются катионы (калия, аммония, цезия, рубидия). Предполагается, что катионы попадают в межpacketные пространства кристаллической решетки этих минералов.

Необменное поглощение аммония и калия изменяется в очень широких пределах, в зависимости от генетических особенностей почв, их механического и минералогического состава. У чернозёмов оно выражено значительно сильнее, чем у дерново-подзолистых почв. Возрастает оно также при попеременном увлажнении и высушивании почв. Поэтому неглубокая заделка аммиачных и калийных солей в слои почвы, подверженной попеременному увлажнению и высушиванию, усиливает необменное поглощение аммония и калия, внесенных с удобрениями. Необменно-поглощенные почвой аммоний и калий медленнее освобождаются в доступные растениям формы, чем обменно-поглощенные.

Ёмкость поглощения катионов почвой – максимальное количество обменных катионов, которые могут быть поглощены почвой. Ёмкость поглощения удобнее всего выражать в миллимолях на 100 г почвы. Если, например, 100 г почвы содержат 500 мг поглощенного кальция (и больше никаких других катионов), то емкость поглощения такой почвы равна $500 : 20 = 25$ ммоль/100 г почвы (эквивалентная масса кальция $40 : 2 = 20$, поэтому 1 ммоль кальция равен 20 мг Ca). Если весь кальций (500 мг) вытеснить NH_4Cl , то вместо кальция поглотится 450 мг NH_4 и почва будет содержать 450 мг поглощенного аммония (эквивалент $\text{NH}_4^+ = 18$). Поэтому при обмене Ca на NH_4 на место 20 мг Ca будет поглощено 18 мг аммония. Емкость же поглощения остается одинаковой; если выразить ее в миллимолях, то она опять будет равна 25 ммоль/100 г почвы, так как $450 : 18 = 25$, т.е. емкость поглощения для конкретной почвы – величина постоянная.

Величина емкости поглощения определяется рядом факторов: 1) содержанием высокодисперсных частиц в почве; 2) химическим и минералогическим составом почвенных коллоидов; 3) реакцией почвы (величиной pH). Почвы, содержащие в большом количестве высокодисперсные частицы, отличаются высокой ёмкостью по-

глощения; емкость поглощения катионов у глинистых почв выше, чем у песчаных.

Разные группы почвенных коллоидов резко отличаются по ёмкости поглощения. Из глинистых минералов наибольшей ёмкостью поглощения обладают минералы группы монтмориллонита. Эти минералы характеризуются высокой степенью дисперсности, соответственно этому ёмкость поглощения катионов у монтмориллонита сравнительно велика – 60 - 150 ммоль/100 г минерала. Каолинит отличается малой дисперсностью и небольшой активной поверхностью. Соответственно невысока и его ёмкость поглощения катионов – всего 3 - 15 ммоль/100 г минерала.

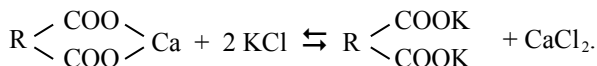
Органические почвенные коллоиды – гумусовые вещества – обладают значительно большей поглотительной способностью по сравнению с минеральными. Отличия в ёмкости обмена катионов гуминовыми кислотами различного происхождения определяются разным содержанием функциональных групп: гуминовые кислоты подзолистых почв имеют ёмкость обмена около 350 ммоль/100 г вещества (при pH = 7,0), а у гуминовых кислот чернозема и каштановых почв при тех же условиях – 400 - 500 ммоль/100 г. Поэтому чернозёмы имеют более высокую величину ёмкости поглощения (40 - 60 ммоль/100 г почвы) по сравнению с дерново-подзолистыми почвами (10 - 15 ммоль/100 г). Ёмкость поглощения третьей группы высоко-дисперсных почвенных частиц – аморфных минеральных коллоидов – зависит от соотношения в их составе SiO_2 : R_2O_3 . Чем шире это отношение, чем больше ацидоидная часть, тем выше и величина ёмкости поглощения ими катионов.

С повышением pH увеличивается и ёмкость поглощения, так как возрастает отрицательный заряд коллоидов и, следовательно, поглотительная способность по отношению к катионам.

Обменная поглотительная способность зависит от состава почвенных коллоидов. Чем больше в составе мелкодисперсной фракции почвы органического вещества и минералов глин монтмориллонитовой группы, тем выше бывает ёмкость поглощения. Способность органического вещества почвы к адсорбции катионов обусловлена кислотной (ацидоидной) природой перегнойных веществ, благодаря которой органические почвенные коллоиды имеют отрицательный заряд. Отрицательный заряд органическим коллоидам сообщают карбоксильные группы по такой схеме:

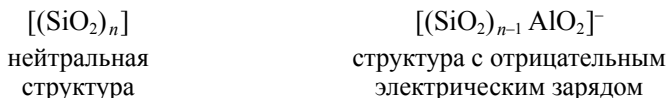


Реакцию обмена катионов, поглощенных органическими почвенными коллоидами, можно представить следующим образом:



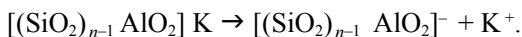
Способность к обмену катионов у минеральных частиц мелко-дисперсной фракции почв также связана с отрицательным зарядом.

Возникновение отрицательного заряда у почвенных минералов связано главным образом с наличием изоморфных замещений в силикатных и алюмосиликатных структурах (например, кремния на алюминий и др.), что можно объяснить следующим образом. Соединение состава $(\text{SiO}_2)_n$ нейтрально, но если в кремнекислородной структуре некоторая часть атомов кремния в тетраэдрической координации замещена на атомы алюминия, то такое замещение нарушает нейтральность и сообщает алюмосиликатному образованию отрицательный заряд. Схематически это можно представить так:



Отрицательный заряд в алюмосиликатах уравнивается соответственным количеством таких катионов, как K^+ , Na^+ , Ca^{2+} и др.

У минералов глин, входящих в состав мелкодисперсной фракции почвы, эти катионы оказываются способными к диссоциации и обмену на другие катионы по схеме

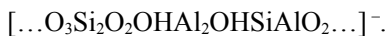


Приведенная схема показывает, почему именно алюмосиликаты, а не свободная SiO_2 , оказываются носителями обменной поглотительной способности минеральной части почвы. Алюминий, входящий в состав кремнекислородной (тетраэдрической) структуры, замещающий в ней частично кремний, сообщает этой структуре кислотные свойства, которыми чистая SiO_2 не обладает.

Среди почвенных минералов наиболее высокой обменной способностью, обусловленной указанными причинами, обладает монтмориллонит. Решетка монтмориллонита состоит из множества плоских пакетов, состав и строение которых схематически можно представить так:



Такая структура нейтральна, алюминий (в центральной части пакета) образует в ней слой с октаэдрической координацией, и в этом положении отрицательного заряда алюмосиликатной структуре он не сообщает. Однако заряд появляется, если алюминий частично заместит кремний в кремнекислородном слое, например:



Таким образом, влияние алюминия на заряд алюмосиликатной структуры связано с его положением в ней. Алюминий, образующий самостоятельный алюмоокислородный или алюмогидроксильный слой с октаэдрической координацией, ацидоидными свойствами не обладает. Кроме частичного замещения кремния на алюминий у монтмориллонита причиной появления отрицательного заряда бывают и другие изоморфные замещения, например частичная замена алюминия в октаэдрической координации на магний:

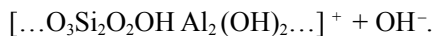


Высокообменная способность минералов данного типа обусловлена также тем, что обмен катионов у них не ограничивается внешней поверхностью микрокристаллических частиц, но распространяется внутрь их вследствие того, что при набухании раствор проникает в межпакетные промежутки кристаллической решетки микрокристаллов.

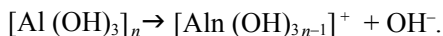
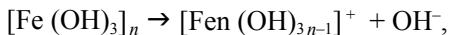
Другие минералы мелкодисперсной фракции почвы имеют более плотную упаковку, и поэтому обмен катионов происходит у них только на внешней поверхности микрокристаллов. К таким относятся, в частности, минералы группы каолинита, состав и строение пакетов которого можно представить так:



По сравнению с минералами монтмориллонитовой группы каолинит отличается более высоким содержанием алюминия и меньшим – кремнекислоты. Алюминий в такой структуре не только не сообщает ацидоидных свойств минералу, а, наоборот, может проявить свои основные свойства за счет связанных с алюминием гидроксильных ионов выходящих на внешнюю поверхность микрокристаллических частиц:



Еще в большей степени проявляются основные (базоидные) свойства у свободных, не связанных с кремнекислотой полуторных окислов (алюминия и железа), которые в кислой среде реагируют преимущественно как основания:



По мере общего увеличения в составе мелкодисперсной фракции почв содержания алюминия и железа и уменьшения количества кремнекислоты наблюдаются, как правило, снижение способности к обмену катионов, уменьшение ёмкости поглощения.

Таким образом, емкость поглощения почвы зависит от общего содержания мелкодисперсной коллоидной фракции, от ее химического состава и связанного с ним строения адсорбирующих частиц. Малая емкость поглощения у легких песчаных и бедных органическим веществом почв объясняется вообще малым содержанием в них мелкодисперсной коллоидной фракции. Невысокая ёмкость поглощения дерново-подзолистых почв может быть обусловлена повышенным содержанием в мелкодисперсной фракции свободных полуторных оксидов, а среди алюмосиликатных минералов – глин с преобладанием структур типа каолина. Высокая емкость поглощения у почв чернозёмного типа обусловлена как повышенным содержанием у них тонкодисперсной фракции с большой долей органических веществ в ее составе, так и преобладанием среди минералов-глин монтмориллонита с высоким соотношением $\text{SiO}_2 : (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$. На ёмкость поглощения влияет также реакция среды. Как органические, так и большинство минеральных почвенных коллоидов, обладающих ацидоидными свойствами, проявляют их в большей степени в условиях нейтральной и слабощелочной среды. При кислой реакции, наоборот, заряд почвенных коллоидов уменьшается, в результате чего емкость поглощения катионов несколько снижается.

Состав поглощённых катионов. Большая часть ёмкости поглощения чернозёмных почв, как правило, занята кальцием (30-40 ммоль) и магнием (5-10 ммоль). В поглощающем комплексе солонцовых и засоленных почв (солонцах, солончаках) кроме кальция и магния содержатся катионы натрия, а подзолистых и латеритных – ионы алюминия и водорода.

Состав поглощенных катионов оказывает на свойства почвы определенное влияние.

1. Вследствие обратимости реакции обмена катионов почва обладает способностью регулировать состав почвенного раствора (KCl на чернозёме вытесняет Ca^{2+} , а на кислых почвах – Al^{3+} и H^+). Состав поглощённых катионов может оказать существенное влияние на действие удобрений.

2. Состав поглощенных катионов влияет на состояние самого поглощающего комплекса (кальций и магний увеличивают ёмкость поглощения, улучшают физические свойства почвы, натрий ухудшает их).

Ионы водорода создают кислотность почвы и вызывают постепенное разрушение минералов, входящих в состав поглощающего комплекса почвы. Поэтому вытеснение поглощенного кальция водо-

родом приводит к уменьшению емкости поглощения, что также ухудшает структуру почвы. Внесением удобрений можно регулировать соотношение поглощенных катионов в почве. Известкование дерново-подзолистых почв и гипсование солонцовых увеличивают содержание кальция в поглощающем комплексе.

Реакция среды почвенного раствора – соотношение концентрации H^+ и OH^- -ионов в почвенном растворе, выраженное через pH водной или солевой вытяжки из почвы. Реакция почвы – существенный фактор, влияющий на высшие растения и микроорганизмы. Удобрения часто изменяют реакцию почвенного раствора (например, при известковании или внесении физиологически кислых солей).

Физиологически кислым удобрением называется такое удобрение, при внесении которого подкисляется почва из-за преимущественного использования растениями катионов.

Реакция почвенного раствора (как и всякого другого раствора) определяется концентрацией находящихся в нем ионов водорода (H^+) и гидроксила (OH^-). В чистой воде, имеющей нейтральную реакцию, концентрация ионов водорода равна концентрации ионов гидроксила. При электролитической диссоциации воды получается равное количество ионов H^+ и OH^- . Степень диссоциации воды очень мала. Концентрация ионов водорода в чистой воде равна $1/10^7$ г/л. Соляная и азотная кислоты в разведенном растворе диссоциируют полностью, поэтому если к 1 л воды добавить 1 ммоль HCl , то в растворе будет около 1 ммоль H^+ , т.е. $0,001г = 1/10^3 H^+$. Упрощенно концентрацию ионов водорода выражают через pH (отрицательный логарифм концентрации ионов водорода). Так как в нейтральном растворе концентрация ионов водорода равна $0,0000001 = 1 \cdot 10^{-7}$, то $pH = 7$.

Реакция почвенных растворов может колебаться в довольно значительных пределах, начиная от $pH = 3-3,5$ (это самая кислая реакция, которая характерна для сфагновых торфов и лесных подстилок сфагновых лесов) и кончая $pH = 10-11$ (такая щелочная реакция может быть у солонцов).

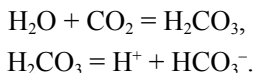
Кислотность почвы – это свойство почвы, обусловленное наличием водородных ионов в почвенном растворе и обменных ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе.

Раствор будет щелочным, если концентрация ионов OH^- больше концентрации H^+ , чем в чистой нейтральной воде. Следовательно, если показатель pH меньше 7 – это кислая реакция, pH равен 7 – нейтральная, pH больше 7 – щелочная.

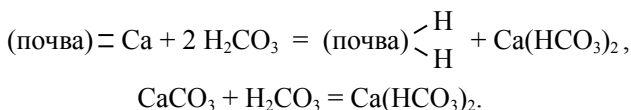
Концентрация Н ⁺ , г/л	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
рН	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Реакция	кислая			нейтральная			щелочная		

Концентрации ионов водорода и гидроксила находятся в такой зависимости: $C[H^+] + C[OH^-] = 10^{-14}$, т.е. чем больше концентрация ионов гидроксила, тем меньше концентрация ионов водорода, и наоборот.

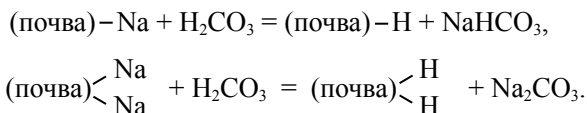
В почвенном растворе всегда содержится углекислота, которая образуется в результате биологической деятельности. Она оказывает подкисляющее действие на почвенный раствор:



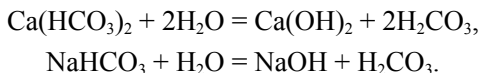
Однако эта кислотность подвергается нейтрализации поглощенными основаниями (кальция и магния) и карбонатами тех же металлов:



Если в поглощающем комплексе почвы содержится поглощённый натрий, то в растворе возможно образование бикарбоната или карбоната натрия:



Углекислые соли в растворе подвергаются гидролитической диссоциации:



Так как $Ca(OH)_2$ и $NaOH$ – сильные основания, а H_2CO_3 – очень слабая кислота, то при растворении углекислых солей в воде вследствие преобладания OH^- – реакция смещается в щелочную сторону. Особенно резко подщелачивает раствор карбонат натрия, слабее – бикарбонат натрия и еще слабее – бикарбонаты магния и кальция.

Таким образом, **щелочность почвы** – это способность ее проявлять свойства оснований.

Реакция почвенного раствора разных почв зависит от состава поглощенных катионов и наличия в почве карбонатов. Если в поглоща-

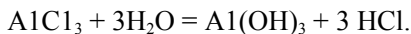
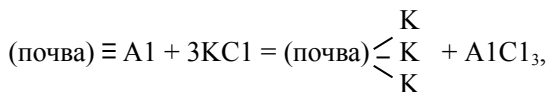
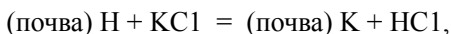
ющем комплексе много натрия (солонцы, солончаки), то реакция почвенного раствора определяется наличием углекислых солей. У этих почв она бывает равной 8-8,5. При преобладании в поглощающем комплексе катионов кальция или присутствии карбонатов кальция и магния (карбонатные почвы, многие черноземы) реакция регулируется главным образом присутствием в почвенном растворе бикарбоната кальция; рН таких почв колеблется в пределах 7-8. Если же в почве кроме кальция и магния присутствуют алюминий и водород (выщелоченные и деградированные черноземы, дерново-подзолистые почвы), реакция почвенного раствора определяется одновременно присутствием свободной углекислоты и бикарбоната кальция ($\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), а также растворимых органических кислот и их солей. Чем меньше кальция и больше водорода, тем меньше будет $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и больше свободной H_2CO_3 , рН колеблется от 5 до 7.

Кроме CO_2 и органических кислот почвенный раствор могут подкислять и соли алюминия:



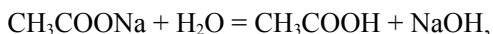
Реакция почвенного раствора сильнокислых почв может опуститься до 3,5-4.

Различают актуальную кислотность и потенциальную, которая подразделяется на обменную и гидролитическую. *Актуальная кислотность* почвенного раствора создается углекислотой (H_2CO_3) и частично растворимыми органическими кислотами и гидролитически кислыми солями. Обнаруживается она определением рН почвенного раствора или водной вытяжки из почвы. Обменная кислотность создается наличием ионов водорода и алюминия в обменном состоянии почвы, которые вытесняются при взаимодействии нейтральной соли с почвенным поглощающим комплексом:



Внесение удобрений на почвах с обменной кислотностью может вызвать ещё большее подкисление, поэтому при применении удобрений с этим нужно считаться.

Гидролитическая кислотность почвы образуется при действии гидролитически щелочной соли (CH_3COONa) на почвенный поглощающий комплекс. Уксуснокислый натрий сообщает раствору щелочную реакцию:



(почва) Н + NaOH + CH₃COOH = (почва) Na + H₂O + CH₃COOH.

Выщелоченные и оподзоленные черноземы имеют гидролитическую кислотность. Определение гидролитической кислотности важно при решении практических задач, связанных с применением удобрений, известкованием, фосфоритованием почв и другими агрохимическими приемами.

Степень насыщенности почв основаниями показывает, какая доля от общей емкости поглощения приходится на поглощенные основания:

$$V = \frac{S \cdot 100\%}{S + H}; \quad T = S + H,$$

где V – степень насыщенности основаниями (%); S – сумма поглощенных оснований (ммоль); H – гидролитическая кислотность (ммоль); T – емкость поглощения.

Существуют понятия буферность и кислотно-основная буферность почвы.

Буферность почвы – это способность почвы противостоять изменению ее свойств при воздействии различных факторов, а **кислотно-основная буферность почвы** – её способность противостоять изменению pH почвенного раствора при взаимодействии почвы с кислотами и основаниями.

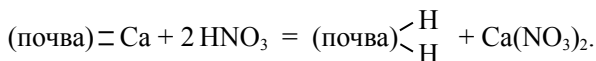
Например: $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$. Если к такому раствору прибавить щелочь, то равновесие сместится и часть молекул CH₃COOH перейдет в диссоциированное состояние. Поэтому pH раствора изменится мало; раствор будет оказывать буферное действие против подщелачивания.

Раствор смеси слабой кислоты и ее соли, например CH₃COOH и CH₃COONa, будет буферным также и по отношению к подкислению. Под влиянием электролитической диссоциации соли подавляется диссоциация и без того слабой кислоты:



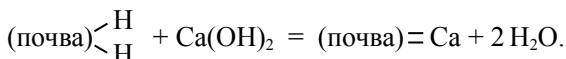
Если к такой смеси прибавить сильную кислоту, то ионы водорода будут соединяться с анионами CH₃COO⁻ и переходить в недиссоциированное состояние, поэтому pH будет изменяться мало – раствор будет буферить против подкисления. Подобного рода буферностью обладает почвенный раствор, так как в нем присутствуют слабые кислоты и их соли (например, углекислота, органические кислоты, фосфаты).

Буферность проявляется в том случае, если в почвенно-поглощающем комплексе присутствуют кальций, магний и другие элементы:



Чем больше емкость поглощения почвы и степень насыщенности почвы основаниями, тем более сильными буферными свойствами она обладает.

Буферное действие против смещения реакции в щелочную сторону также связано с поглощающим комплексом, с обменной и гидролитической кислотностью:



Чем больше гидролитическая кислотность почвы, тем активнее почва будет противодействовать изменению реакции в сторону подщелачивания.

Таким образом, буферное действие почвы в основном определяется степенью насыщенности почвы основаниями и величиной емкости поглощения. Чем больше степень насыщенности почвы основаниями и меньше гидролитическая кислотность, тем устойчивее почва против изменения реакции в кислую сторону. В случае низкой степени насыщенности, наоборот, особенно сильно проявляется сопротивляемость почвы против подщелачивания.

Применение возрастающих количеств агрохимических средств в интенсивном земледелии существенно влияет на плодородие и свойства почвы, что в свою очередь определяет величину урожая сельскохозяйственных культур и качество продукции. Необходимы глубокие знания комплекса факторов и процессов, протекающих в системе почва - удобрение - растение, важнейшие из которых следующие:

- 1) изменение свойств и плодородия почвы при систематическом применении удобрений в сочетании с другими приемами агротехники;
- 2) круговорот и баланс питательных веществ и гумуса в почве и их регулирование;
- 3) исследование и создание комплекса оптимальных параметров основных показателей плодородия почв.

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ И СВОЙСТВ ПОЧВЫ ПРИ СИСТЕМАТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

Сочетание приемов современного земледелия направлено на неуклонное повышение плодородия и улучшение свойств почвы. При этом главная роль принадлежит научно обоснованной системе применения удобрений. Для управления плодородием почв необходимо всестороннее изучение почвенных процессов, взаимодействия удобрений с почвой и растениями, а также факторов, определяющих доступность остаточных питательных веществ.

Наиболее детально изучить взаимодействие почв, растений и удобрений можно в длительных стационарных опытах с систематическим применением удобрений. В таких опытах создаются исключительные условия стандартизации, позволяющие лучше изучить действие климата и агрометеорологических условий на культуры, почвы и факторы, регулирующие почвенное плодородие.

Основные направления агрохимических исследований в длительных стационарных опытах следующие:

- 1) сравнительная оценка доз, видов и форм минеральных удобрений, внесенных по эквивалентному количеству питательных веществ;
- 2) оценка эффективности минеральной, органической и органоминеральной систем удобрений в севооборотах различной специализации;
- 3) установление оптимального распределения удобрений среди культур севооборота в целях получения наибольшей их окупаемости;
- 4) достижение максимальной эффективности при сочетании различных систем удобрения с химической мелиорацией почв и их влияние на свойства почвы и продуктивность севооборотов;
- 5) возможность периодического внесения фосфорных и калийных удобрений;
- 6) оптимизация плодородия и свойств почвы;
- 7) регулирование биологического круговорота и баланса биогенных элементов в агроценозе;
- 8) экологические функции агрохимических средств.

В агрохимии приняты следующие методы исследования свойств почвы в длительных стационарных опытах (табл. 3.4).

Физико-химические свойства почв помимо непосредственного действия на урожай культурных растений оказывают значительное влияние на пищевой режим почв, их биологическую активность, обуславливают характер превращения внесенных в почву удобрений в пахотном горизонте, а в условиях промывного водного режима определяют возможность передвижения некоторых соединений в более глубокие слои почвы.

3.4. Методы исследования плодородия почвы (по ОСТ 10152-88 и Методическим указаниям по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, 2003, с изменениями)

Показатель	Метод и его характеристика	ГОСТ метода исследования
Физико-химические методы		
рН солевой вытяжки	Потенциометрический (1 н КСl)	ГОСТ 26483-85
Обменная кислотность	Потенциометрический (1 н КСl)	ГОСТ 26484-85
Гидролитическая кислотность	Метод Каппена (1 н. CH_3COONa вытяжка)	ГОСТ 26212-84
Обменный (подвижный) алюминий	Метод ЦИНАО (1 н КСl вытяжка)	ГОСТ 26485-85
Сумма поглощенных оснований	Метод Каппена-Гильговица для некарбонатных почв (обработка 0,1 н НСl) Метод Шмука для карбонатных почв (1 н NaCl вытяжка)	ГОСТ 27821-88
Обменный калий	Метод Масловой (1 н. $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ вытяжка)	ГОСТ 26210-91
Необменный калий	Метод Гедройца (10% НСl вытяжка с кипячением)	
Физические и водно-физические методы		
Гранулометрический состав	Метод Качинского	
Равновесная плотность	Метод режущих колец или гамма-скопический метод	
Влажность устойчивого завядания	Метод определения потери влаги при высушивании почвы	ГОСТ 28268-89
Агрохимические методы		
Общее содержание органического углерода	Метод Тюрина в модификации ЦИНАО (окисление органического вещества раствором хромовой смеси)	ГОСТ 25213-84
Содержание водорастворимых гумусовых веществ	Метод горячей водной вытяжки	
Содержание подвижных гумусовых веществ	Метод Тюрина Вытяжка 0,1 н. NaOH	
Групповой состав гумусовых веществ	Метод Кононовой-Бельчиковой (вытяжка смесью $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ и NaOH)	
Формы минеральных фосфатов	Метод Чанга-Джексона (последовательные вытяжки 1 н NH_4Cl , 0,5 н NH_4F , 1 н NaOH, 0,5 н H_2SO_4)	

Показатель	Метод и его характеристика	ГОСТ метода исследования
Агрохимические методы		
Содержание общего азота	Метод Кьельдаля (окисление почвы кипящей концентрированной H_2SO_4)	ГОСТ 26107-84
Подвижные фосфаты и подвижный калий: Кислые почвы	Метод Кирсанова в модификации ЦИНАО (0,2 н HCl вытяжка) Метод Чирикова в модификации ЦИНАО (0,5 н. CH_3COOH вытяжка) Метод Мачигина в модификации ЦИНАО (1% $(NH_4)_2CO_3$ вытяжка)	ГОСТ Р 54650-2011
Черноземы		ГОСТ 26204-91
Карбонатные почвы		ГОСТ 26205-91
Степень подвижности фосфора и калия в почвах	Метод Скофилда 0,01М $CaCl_2$ вытяжка	ОСТ 10271-00
Азот фиксированного аммония	Метод Сильва и Бремнера в модификации Кудярова (колориметрическое определение в вытяжке из смеси HF и HCl)	
Вегетационные опыты		
Подвижность и доступность азота растениям	Метод вегетационного опыта с использованием ^{15}N	
Подвижность и доступность растениям «остаточных» фосфатов и соединений калия	Метод вегетационного опыта	

Систематическое применение органических и минеральных удобрений сопровождается изменениями физико-химических свойств почв. Многолетнее внесение навоза, как правило, увеличивает количество органического вещества и емкость поглощения почв, снижает обменную и гидrolитическую кислотность и увеличивает степень насыщенности почв основаниями, т.е. улучшает физико-химические свойства почв. О существенном влиянии удобрений на агрохимические и агрофизические свойства почвы даже на черноземе свидетельствуют данные табл. 3.5.

Совместное применение навоза и минеральных удобрений в течение 15 лет повысило содержание гумуса на 12,6 т/га, азота – на 0,7 т/га, плотность почвы понизило на 0,08 г/см³, общая и капилляр-

3.5. Влияние систематического применения удобрений на агрохимические и агрофизические свойства почвы (мощный малогумусный чернозем, слой почвы 0-30см)

Показатели свойств почвы	Перед закладкой опыта (среднее по фону, 1972)	В конце второй ротации (1987)			
		Варианты			
		Без основного удобрения	Навоз, 5 т + N ₄₉ P ₅₆ K ₅₃	Навоз, 10 т + N ₈₈ P ₉₈ K ₉₆	Навоз, 15 т + N ₁₂₈ P ₁₄₁ K ₁₃₉
pH	6,2	5,7	5,5	5,3	5,2
H, ммоль/100 г почвы	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
S, ммоль/100 г почвы	25,7	24,0	23,6	23,4	23,0
V, %	91,2	89,5	88,2	87,1	85,6
P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	127,4	121,2	141,6	157,2	164,0
K ₂ O, мг/кг почвы	70,3	66,4	80,6	87,8	93,6
Гумус, т/га	134,2	123,1	134,0	142,1	146,8
Азот, т/га	11,4	10,7	11,4	11,9	12,1
Объёмная масса, г/м ³	1,25	1,26	1,22	1,20	1,18
Общая влагоёмкость, %	49,2	48,9	50,4	51,1	52,2
Капиллярная влагоёмкость, %	36,7	36,9	38,7	39,6	40,3
Водопроницаемость в полевых условиях, мм/(ч·см ²)	6,1	6,8	8,7	10,1	11,4
Общая порозность, %	48,7	49,6	51,0	51,6	52,5

ная влагоёмкость возросла более чем на 3%, водопроницаемость – на 4,3 мм/(ч·см²), а общая порозность – на 3%.

От длительного применения минеральных удобрений свойства почв могут ухудшаться. Это объясняется подкислением реакции почвенного раствора в результате вытеснения из поглощающего комплекса водорода и алюминия, а также физиологической кислотностью азотных и калийных удобрений. При правильном применении удобрений (на фоне навоза или известкования, внесении добавок для нейтрализации физиологической кислотности удобрений) кислотность почв не только не увеличивается, но в ряде случаев происходит даже ее снижение. На нейтральных и близких к нейтральным черноземах некоторое подкисление в результате применения удобрений можно считать даже положительным, так как многие соединения при этом становятся более подвижными и доступными для растений.

Следовательно, характер и оценка действия удобрений на физико-химические свойства почв, как и все другие показатели плодородия, зависят от почвенно-климатических условий и форм применяемых удобрений.

При промывном водном режиме дерново-подзолистых и серых лесных почв изменения их свойств под влиянием удобрений происходят не только в пахотном, но и в более глубоких слоях. Это объясняется повышенным количеством осадков в этой зоне и подкислением почвы при высоких дозах минеральных удобрений, образованием исключительно подвижных органических соединений при внесении навоза, а также пептизацией почвенных коллоидов под влиянием одновалентных катионов, входящих в состав удобрений, и вымыванием их вместе с адсорбированными соединениями за пределы пахотного слоя. Особенно благоприятные условия для миграции питательных веществ в нижележащие слои вследствие пептизации коллоидов создаются при внесении удобрений в пару и под пропашные культуры, при частых обработках почвы. Чем легче гранулометрический состав почвы и выше доза удобрений, тем сильнее выражен процесс вымывания коллоидов.

Под влиянием систематического внесения удобрений рост урожая ведет к увеличению количества пожнивно-корневых остатков в почве, разложение которых обуславливает новообразование органических коллоидов в пахотном слое и наряду с пептизацией более крупных почвенных частиц приводит к увеличению содержания в нем илистой фракции. В малобуферных почвах легкого гранулометрического состава процесс вымывания коллоидов может преобладать над их новообразованием.

Изменения физико-химических свойств черноземов сосредоточены главным образом в пахотном и подпахотном слоях, что объясняется ограниченным количеством осадков в степной зоне и неглубоким промачиванием почвы. На этих почвах длительное применение удобрений также приводит к росту илистой фракции почвы и величины емкости поглощения. При этом кислотность почв на фоне навоза снижается, а при применении минеральных удобрений возрастает. Это объясняется физиологической кислотностью азотных и калийных удобрений и необменным поглощением одновалентных катионов в сочетании с отсутствием условий для вымывания водорода и кислотного остатка. Повышение кислотности черноземов часто способствует увеличению подвижности некоторых питательных веществ и повышает доступность их растениям.

Систематическое применение навоза и минеральных удобрений на сероземах не оказывает существенного влияния на реакцию почвенного раствора в связи с их карбонатностью и буферностью. Некоторое увеличение илистой фракции и повышение емкости поглощения этих почв в верхних слоях происходит за счет образования коллоидов из органических остатков растений. Пахотный слой сероземов не обедняется коллоидами, в связи с тем, что почвы содержат большое количество кальция, который, поглощаясь коллоидами, препятствует их диспергированию и вымыванию. Передвижение питательных веществ удобрений вниз по профилю в сероземах и потери их с грунтовыми и сбросными водами при орошении обусловлены промывным водным режимом и хорошей растворимостью некоторых соединений.

Длительное применение органических и минеральных удобрений увеличивает общее содержание углерода и азота (по сравнению с контролем) в бедных гумусом дерново-подзолистых и серозёмных почвах, слабо влияя на богатые гумусом черноземы (табл. 3.6).

В вариантах с внесением навоза наблюдается повышение содержания органического вещества главным образом в верхних горизонтах, а более слабое влияние минеральных удобрений проявляется иногда и в подпахотном слое почвы. Навоз и минеральные удобрения не изменяют групповой состав органического вещества различных почв. Состав гумуса длительно удобрявшихся почв сохраняет свойства, присущие органическому веществу, сформировавшемуся в региональных условиях почвообразования. Длительное применение удобрений сопровождается обогащением почвы подвижным органическим веществом, находящимся в ранних (гидрофильных) стадиях гумификации, химически «молодых», более биохимически активных органических соединений, обогащает почву подвижным, доступным растениям азотом. Наиболее сильное действие удобрений на этот показатель отмечено на дерново-подзолистых почвах, слабое на чернозёмах и очень слабое на сероземах.

Влияние минеральных азотных и калийных удобрений на плодородие почв тесно связано с понятием катионного обмена. При систематическом внесении этих удобрений происходит фиксация содержащихся в удобрениях одновалентных катионов калия и аммония почвенными коллоидами. Это связано с входжением катионов внутрь кристаллических решеток минералов. Существенное значение в переходе калия и аммония в необменное состояние имеют тип глинистого минерала, гранулометрический состав почвы, содержание в ней органического вещества, реакция почвенного раствора, concentra-

3.6. Действие длительного применения удобрений на содержание органического углерода и общего азота (Шевцова Л.К., 1993, 1998)

Варианты длительного опыта	C	N	C	N	C/N
	% к воздушно-сухой почве		% к контролю		
<i>Легкий суглинок, Белорусский НИИПА</i>					
Контроль	1,70	0,128	100	100	13,2
Навоз	2,01	0,153	118	120	13,1
НПК	1,78	0,143	104	112	12,4
Навоз + НПК	2,22	–	131	–	–
<i>Тяжелый суглинок, опыт с ДАОС с чистым паром</i>					
Контроль	0,71	0,107	100	100	6,6
Навоз	1,00	0,124	141	116	8,1
НПК	0,79	0,110	111	103	7,2
1/2Навоз + 1/2НПК	0,89	0,122	125	114	7,3
<i>Слабовыщелоченный чернозем, легкий суглинок, Мироновский НИИ селекции и семеноводства озимой пшеницы</i>					
Контроль	2,33	0,225	100	100	10,4
Навоз	2,43	0,232	104	103	10,4
НПК	2,32	0,224	97	100	10,4
1/2 Навоз + 1/2 НПК	2,34	0,226	101	100	10,4
<i>Среднемощный чернозем, средний суглинок, Алтайский НИИЗиС</i>					
Контроль	3,47	0,305	100	100	11,4
Навоз	3,65	0,308	105	101	11,9
НПК	3,64	0,300	105	98	12,1
Навоз + НПК	3,65	0,309	105	101	11,8

ция катионов калия и аммония в почвенном растворе, состав и концентрация сопутствующих катионов, степень насыщенности поглощающего комплекса данными катионами и гидротермические условия, в которых происходит фиксация.

Необменное поглощение катионов снижает доступность их растениям и коэффициент использования азотных и калийных удобрений.

Внесение аммонийных форм азотных удобрений в почву сопровождается фиксацией (необменным поглощением) азота в виде NH_4^+ глинистыми минералами, что значительно уменьшает доступность его растениям. Фиксация азота в пахотном и более глубоких слоях может достигать значительных размеров и должна учитываться в общем балансе азота в севообороте. Длительное применение азотных удобре-

ний сопровождается увеличением количества фиксированного аммония в почве. Почвы легкого гранулометрического состава фиксируют аммоний в меньшей степени, чем почвы более тяжелые, так как фиксация связана с илистой фракцией и составляющими ее глинистыми минералами. При систематическом внесении азотных удобрений увеличение содержания фиксированного аммония происходит не только в пахотном, но и в более глубоких слоях почвы, особенно на почвах легкого гранулометрического состава. По-видимому, необменно-поглощенный аммоний вымывается в нижние слои с коллоидами, содержание которых вниз по профилю почвы заметно возрастает (табл. 3.7).

Различные культуры, в зависимости от строения корневой системы и ее поглотительной способности, в значительной степени влияют на процессы миграции минеральных форм азота и необменного поглощения аммония.

При совместном внесении азотных и калийных удобрений фиксация аммония снижается вследствие конкурирующего действия калия.

Аммоний минеральных удобрений фиксируется интенсивнее, чем аммоний навоза, так как отличается большей подвижностью. При внесении навоза необменное поглощение аммония менее выражено, чем в вариантах с минеральными удобрениями. Это объясняется повышенной фиксацией калия, улучшением физико-химических свойств почвы, а, следовательно, и более усиленной нитрификационной способностью почв.

3.7. Изменение содержания необменного аммонийного азота в профиле почвы длительных стационарных опытов, мг N/kg почвы.

Серая лесная среднесуглинистая почва, Новосибирская область
(Якименко В.Н., 2009)

Вариант	Слой почвы, см			
	0-20	20-40	40-60	60-80
Целина	165	188	192	215
Пар	164	182	195	221
Контроль	<u>151</u>	182	187	211
	155	139	171	145
NP	<u>145</u>	195	191	232
	154	150	178	152
NPK*	<u>209</u>	190	197	225
	190	150	211	187

Над чертой – овощной севооборот, под чертой – зерновой севооборот.

*Калий в дозе 50% от выноса планируемым урожаем

Закрепление азота в почве в виде необменно-поглощенного аммония происходит в первые годы систематического применения удобрений, и при заполнении емкости фиксации дальнейшего увеличения количества фиксированного аммония при внесении удобрений не происходит.

Калий, как и аммоний, наиболее активно фиксируется в первые годы внесения удобрений, и при заполнении ёмкости фиксации необменного калия во времени снижается, а доступность его растениям, а следовательно, и коэффициент использования его растениями возрастают.

Характер превращения калия удобрений в сильной степени зависти от почвенно-климатических условий (табл. 3.8). В дерново-подзолистых и серых лесных почвах заметно повышается количество обменного калия, а содержание необменного калия меняется мало. Накопление обменного калия наблюдается не только в пахотном слое, но и в более глубоких слоях исследованных почв. В пахотном слое черноземов преобладает необменное поглощение калия, а количество обменного калия возрастает в меньшей степени. В серозёмах

3.8. Содержание различных форм калия в почвах при длительном применении удобрений, мг $K_2O/100$ г почвы

Почва, опытное учреждение	Вариант опыта	Обменный калий		Необменный калий	
		Общее содержание	Увеличение от удобрений	Общее содержание	Увеличение от удобрений
Дерново-подзолистая пылевато-песчанисто-суглинистая (ТСХА)	Контроль	8,6	—	63,6	—
	Навоз	15,2	6,6	67,7	4,1
	НПК	14,8	6,2	67,1	3,4
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая (ДАОС)	Контроль	8,6	—	140	—
	Навоз	14,9	6,3	147	7,0
	НПК	14,8	6,2	146	6,0
Серая лесная легко-суглинистая (ВНИИ лубяных культур)	Контроль	11,1	—	63,6	—
	Навоз	33,8	22,7	67,7	9,0
	НПК	30,0	18,9	67,1	3,0
Выщелоченный чернозём легкосуглинистый (Миرونковский НИИ селекции и семеноводства пшеницы)	Контроль	12,2	—	258	—
	Навоз	17,5	5,3	276	18,0
	НПК	16,4	4,2	272	14,0
Типичный чернозём (Ак-Кавакская опытная станция)	Контроль	33,8	—	527	—
	Навоз	55,4	21,6	557	29,0
	НПК	40,7	6,9	545	18,0

существенно увеличивается содержание как обменного, так и необменного, поглощенного калия. Особенности изменения форм калия при систематическом применении минеральных удобрений на светло-каштановых почвах в условиях орошения показано в табл. 3.9. Промывной режим, создаваемый орошением, в большей степени изменяет содержание необменных форм калия. Наибольшие изменения наблюдаются в пахотном горизонте, но влияние орошения распространяется на весь метровый слой почвы.

Фиксация катионов в значительной степени определяется типом почвы. Так, дерново-подзолистые почвы характеризуются невысокой способностью фиксировать калий, несмотря на высокую дисперсность минералов. Это объясняется кислой реакцией почвенного раствора, ненасыщенностью почв основаниями, невысоким содержанием органического вещества и повышенной влажностью почв. В таких случаях создаются неблагоприятные условия для необменного поглощения калия, который фиксируется лишь в небольшом количестве и только в верхнем пахотном слое почвы.

Известкование и длительное применение навоза повышают фиксирующую способность кислых почв в отношении калия по сравнению с минеральными удобрениями, что связано с увеличением количества органического вещества, а также коагулирующим действием

3.9. Влияние систематического применения удобрений на калийный режим каштановых почв (Жукова Л.М., Никитина Л.В., 1986)

Глубина взятия образ- цов, см	Обменный калий			Легкогидролизу- емый калий			Необменный калий		
	мг на 100 г почвы								
	кон- троль	НРК	2(НРК)	кон- троль	НРК	2(НРК)	кон- троль	НРК	2(НРК)
<i>Волжский НИИОЗ, светло-каштановая почва, опыт с орошением</i>									
0-25	27,5	30,1	33,9	119	128	131	403	424	447
25-40	26,3	28,0	29,1	129	130	129	413	422	431
40-60	18,1	20,6	22,4	103	109	110	319	326	363
60-80	16,2	18,8	20,5	97	83	92	293	298	305
80-100	16,7	19,2	19,5	85	85	100	289	300	296
<i>Иссык-Кульская СХОС, светло-каштановая почва, опыт с орошением</i>									
0-20	23,4	24,4	26,0	262	273	276	270	281	299
20-40	21,2	20,7	23,5	243	251	268	267	272	284
40-60	16,0	18,9	18,3	236	234	238	264	295	320
60-80	14,2	17,8	20,7	197	207	231	265	292	266

двухвалентных катионов, входящих в состав навоза и известковых удобрений. При совместном внесении азотных и калийных удобрений в связи с конкурирующим действием иона NH_4^+ , входящего в состав удобрений, фиксация калия снижается более чем в 2 - 3 раза.

Фиксация калия на дерново-подзолистых почвах небольшая и не представляет опасности, так как необменный калий почвенных коллоидов является главным источником пополнения запасов обменного калия, доступного для питания растений.

В серых лесных почвах фиксация калия и аммония выражена сильнее, чем в дерново-подзолистых. Реакция почвенного раствора, минералогический состав этих почв и повышенное содержание органического вещества способствуют усилению этого процесса.

В черноземах условия для фиксации катионов исключительно благоприятны: высокая насыщенность поглощающего комплекса основаниями, более высокая величина рН по сравнению с дерново-подзолистыми почвами, большое количество органического вещества, минералогический состав коллоидной фракции с преобладанием монтмориллонитовой группы, периодическое пересыхание верхнего слоя, при котором происходит необратимая коагуляция коллоидов – всё это способствует необменному поглощению катионов.

Совместное внесение калийных и азотных удобрений существенно не снижает фиксацию калия, так как в черноземах интенсивно протекают процессы нитрификации. Это же является и причиной небольшого увеличения количества фиксированного аммония в удобренных вариантах. Фиксация калия и аммония происходит только в верхних слоях черноземов.

В каштановых почвах (табл. 3.9) и сероземах многолетнее применение удобрений приводит к увеличению количества необменного калия и аммония. Переход этих катионов в необменно-поглощенное состояние связан с преобладанием гидрослюдистых минералов в составе илистой фракции почв. Эти минералы обладают исключительно высокой фиксирующей способностью в отношении одновалентных катионов. Большое значение имеют также щелочная реакция почвы, насыщенность двухвалентными основаниями и периодическое пересыхание почв в условиях жаркого климата сухостепной и пустынной зон.

Промывной режим в условиях орошения обуславливает увеличение фиксированных катионов в нижних слоях почвенного профиля. Совместное внесение азотных и калийных удобрений слабо влияет на фиксацию катионов, так как минералогический состав этих почв имеет высокую емкость фиксации одновалентных катионов.

По содержанию обменного калия и фиксированного аммония почвы располагаются в такой последовательности: дерново-подзолистые < серые лесные < черноземы < каштановые < сероземы.

В пределах одного типа количество необменных катионов возрастает от почв легкого к почвам тяжелого гранулометрического состава. Запасы необменных катионов значительны, и их необходимо учитывать при оценке плодородия почв и балансовых расчетах.

Природные запасы фосфора в почвах и их распределение по профилю определяется содержанием фосфора в материнских породах и характером почвообразовательного процесса. При систематическом внесении удобрений увеличивается валовое содержание фосфора, запас подвижных его соединений и повышается подвижность фосфатов. Степень проявления указанных изменений определяется дозами удобрений, длительностью опыта (их применения) и свойствами самой почвы. Основная масса фосфора, накопленного в результате внесения удобрений, остается в пахотном слое почвы. Однако при высоких дозах удобрений фосфором обогащаются подпахотный слой, а в некоторых случаях (на легких почвах без известкования, при орошении и т.д.) и более глубокие слои почвы.

Групповой состав минеральных фосфатов по всему профилю определяется генетическими особенностями почв. В дерново-подзолистых почвах преобладают фосфаты полуторных оксидов, а в чернозёмах – фосфаты кальция.

При внесении минеральных удобрений в почвах накапливается несколько больше фосфатов полуторных оксидов по сравнению с унавоженными почвами.

Важным показателем плодородия почвы является ее *биологическая активность* – совокупность биологических и биохимических процессов, протекающих в почве, определяющихся генетическими особенностями почвы, гидротермическими условиями, агротехническими мероприятиями. Биологической активностью почв в значительной мере определяется степень минерализации и гумификации растительных остатков, мобилизационная способность почв, а следовательно, и обеспеченность растений доступными элементами питания. Связь биологической активности почвы с ее плодородием изучена в меньшей степени. Установлено, что систематическое применение удобрений в севооборотах активизирует деятельность почвенной биоты.

На дерново-подзолистых кислых почвах существенное влияние на активность биологических процессов в почве оказывает известкование. Периодическое известкование снижает содержание подвиж-

ного алюминия и обменного водорода, улучшает условия жизни микроорганизмов в почве, что усиливает процессы минерализации органического вещества.

Положительное действие на биологическую активность оказывает навоз в чистом виде, в сочетании с минеральными удобрениями и известкованием (табл. 3.10).

Известкование усиливает влияние удобрений на ферментативную активность почвы.

Влияние удобрений на ферментативную активность дерново-подзолистых почв аналогично влиянию на биологическую активность. Максимальная активность ферментов отмечена на фоне навоза.

На черноземе, тёмно-серой лесной почве и серозёме навоз в чистом виде и совместно с минеральными удобрениями положительно действует на ферментативную активность. В большинстве случаев повышается активность уреазы, так как для ее продуцентов – уробактерий благоприятной является нейтральная или слабощелочная реакция почвы. Этим объясняется более высокая активность уреазы на фоне навоза по сравнению с минеральными удобрениями. Под влиянием удобрений возрастает и активность инвертазы. Причем активность процессов разложения и синтеза безазотистых форм органического вещества возрастает в одинаковой степени на фоне навоза и минеральных удобрений.

Следовательно, агрохимические средства оказывают комплексное воздействие на плодородие и свойства почвы:

3.10. Влияние систематического применения удобрений на биологическую активность каштановой почвы.

Озимая пшеница и люцерна. (Численность микроорганизмов, тыс. на 1 г сухой почвы в среднем за вегетационный сезон).
Длительный опыт Горского СХИ (Джанаев Г.Г. и др., 2005)

Варианты опыта	Аммонифицирующие микроорганизмы	Спорообразующие бактерии	Актиномицеты	Денитрифицирующие бактерии	Бактерии, усваивающие минеральные формы азота
Контроль	3876	1462	5111	45	8509
NPК	4892	1623	5251	71	10698
2 NPK	6576	1987	5814	89	15125
Навоз + NPK	7958	2210	6136	122	18575
3 NPK	6830	2007	6212	110	15021

1. Подкисляют или подщелачивают почвенный раствор.
2. Улучшают или ухудшают агрохимические свойства.
3. Усиливают или ослабляют биологическую и ферментативную активность почвы.
4. Способствуют усилению или ослаблению физико-химического и химического поглощения.
5. Способствуют мобилизации или иммобилизации токсических элементов и радионуклидов.
6. Усиливают процессы минерализации или синтеза гумуса в почве.
7. Ослабляют или активизируют биологическую фиксацию N_2 из атмосферы.
8. Усиливают или ослабляют действие других питательных элементов почвы и удобрений.
9. Способствуют мобилизации или иммобилизации биогенных макро- и микроэлементов почвы.
10. Вызывают антагонизм или синергизм ионов в почве при поглощении растениями, что влияет на обмен веществ.

Оптимизация плодородия почв – важнейшая проблема агрохимии независимо от направления земледелия. Благодаря разработкам научно-исследовательских учреждений и особенно данных длительных стационарных опытов с удобрениями в Географической сети стала возможной оптимизация плодородия почв по агрохимическим и агрофизическим показателям. *Показатели плодородия почвы являются оптимальными в том случае, если они обеспечивают формирование высокого урожая и качества продукции всех культур севооборота, повышают экономическую эффективность и улучшают экологическую ситуацию в конкретном агроценозе.* Оптимальные параметры плодородия почвы должны соответствовать биологическим требованиям всех культур севооборота и способствовать реализации их потенциальной продуктивности.

Поэтому плодородие почвы важно рассматривать и оценивать по комплексу показателей в соответствии со специализацией севооборота. О комплексе оптимальных показателей плодородия и свойств, например дерново-подзолистых средне- и легкосуглинистых почв можно судить по данным табл. 3.11.

Оптимальные параметры основных показателей плодородия создаются путем применения комплекса агротехнических приемов и агрохимических средств. Почвенным институтом имени В.В. Докучаева предложены параметры основных показателей плодородия почв, обес-

3.11. Показатели плодородия разных почв и урожая сельскохозяйственных культур

Показатели плодородия почв и урожайность	Типы суглинистых почв			
	чернозём обыкновенный	серая лесная	дерново-подзолистая	серозём типичный
<i>Агрофизические свойства почв</i>				
Пахотный слой, см	35	30	27	35
Плотность, г/см ³	1,10	1,20	1,25	1,30
Пористость общая, %	59	55	50	46
Влагоёмкость, % от массы	30	29	27	25
Водопрочные агрегаты 0,25 мм, %	60	50	40	25
<i>Агрохимические и физико-химические свойства почв</i>				
Гумус, %/ т/га	7,0/270	3,0/90	2,5/75	1,3/60
Азот, %/ т/га	0,30/12,0	0,20/7,2	0,15/5,0	0,14/6,3
Фосфор подвижный, мг/кг почвы	200	200	200	40
Калий обменный, мг/кг почвы	350	200	150	4000
<i>Урожайность культур, т/га</i>				
Пшеница озимая	6,0	5,0	4,5	5,0
Ячмень	–	4,5	3,2	4,0
Многолетние травы	12,0	7,5	5,5	12,0
Картофель	–	25,0	25,0	12,0
Хлопчатник	–	–	–	4,5

печивающие высокую урожайность сельскохозяйственных культур. Они дифференцированы в зависимости от свойств почвы, специализации земледелия и других условий (табл. 3.12).

Для почв дерново-подзолистого типа важным показателем является оптимальный уровень ее кислотности, который определяется с учетом специализации севооборота, биологических особенностей культур, гранулометрического состава, суммы и состава поглощенных катионов и т.д. Оптимальные уровни pH_{KCl} дерново-подзолистых почв установлены с учетом биологических особенностей культур, гранулометрического состава почвы и климатических условий зоны.

Одной из основных причин различной чувствительности растений к кислой реакции почвы является наличие и неодинаковая подвижность в ней алюминия, причем культуры реагируют не только на содержание в почве активных его форм, но и на соотношение обменного кальция и алюминия или суммы кальция и магния и алюминия. Чем выше это соотношение, тем слабее отрицательное действие алюминия.

3.12. Оптимальные параметры свойств пахотного горизонта лесостепных почв (по Карманову Н.И., 1993)

Наименование параметров	Серые лесные	Чернозёмы оподзоленные и выщелоченные
<i>1. Морфологические</i>		
1.1. Мощность, см	29 - 35	30 - 35
<i>2. Агрофизические</i>		
2.1. Плотность сложения, г/см ³	1,15 - 1,25	1,05 - 1,10
2.2. Общая порозность, %	52 - 56	
2.3. Кол-во водопрочных агрегатов (фракция с размером частиц 0,25 мм)	55 - 65	
<i>3. Биохимические и физико-химические</i>		
3.1. Содержание гумуса, %	5,0 - 6,0	
3.2. Запасы гумуса, т/га	160 - 230	160 - 230
3.3. Тип гумуса Сгк : Сфк	1,2 - 1,6	
3.4. Количество лабильных гумусовых кислот, мг С/кг	нет данных	нет данных
3.5. рН солевой	6,0 - 6,2	6,0 - 6,5
3.6. Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г почвы	1,5 - 2,5	2,5 - 3,5
3.7. Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г почвы	15 - 25	25 - 35
3.8. Степень насыщенности основаниями, %	88 - 92	90 - 95
<i>4. Агрохимические</i>		
4.1. Подвижные формы фосфора, мг/кг почвы	200 - 250	180 - 230
4.2. Подвижные формы калия, мг/кг почвы	200 - 250	150 - 200

Проблема оптимизации реакции почвенного раствора обострена еще и расширением применения физиологически кислых минеральных удобрений, приводящих к обеднению пахотного горизонта кальцием. Поддержание оптимальной реакции среды кислых почв неразрывно связано и с научно обоснованной технологией их известкования.

В наибольшей степени плодородие почвы определяет гумус. В нем содержится почти весь запас азота, значительная часть фосфора и серы, а также калия, кальция, магния и других питательных веществ. Способы создания бездефицитного баланса гумуса в почве – важная задача агрохимии. Определены оптимальные параметры содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах: в песчаных – 1,8-2,0, супесчаных – 2,0-2,5, суглинистых – 2,6-3,0. Для поддержания бездефицитного баланса гумуса в этих почвах необходимо вносить ежегодно соответственно 16 - 18, 13 - 15 и 10 - 12 т навоза на 1 га.

Для поддержания оптимального содержания гумуса в кислых дерново-подзолистых и серых лесных почвах рекомендуется сочетать известкование, применение органических и ежегодное внесение азотных удобрений в дозах, покрывающих не менее 90% выноса азота культурами севооборота, обязательное включение в структуру посевных площадей бобово-злаковых трав. Дозы органических удобрений зависят от содержания гумуса в почвах и их гранулометрического состава. Оценку азотного режима почв в большинстве зон страны проводят по содержанию в них минерального азота. Существуют различные модификации оценки оптимизации содержания азота в почве в зависимости от почвенно-климатических условий.

Одной из главных характеристик общей окультуренности почв служит содержание подвижного фосфора, при котором достигаются наибольший урожай возделываемой культуры и отсутствие эффекта от дополнительно вносимых фосфорных удобрений. При этом следует ориентироваться на ведущие и наиболее требовательные к уровню фосфорного питания культуры севооборота в конкретных почвенно-климатических условиях (табл. 3.13).

Нижняя граница содержания подвижного фосфора определяется с учетом оценки содержания фосфора при максимальном урожае возделываемой культуры, а также отсутствия эффекта при дополнительном внесении фосфорных удобрений. Ориентировочно на основе обобщения данных длительных опытов нижняя граница оптимального содержания P_2O_5 составляет 100-150 мг/кг для дерново-подзолистых суглинистых почв и 50-100 мг/кг для песчаных и супесчаных почв, 100-150 мг/кг для серых лесных почв. Дальнейшее увеличение содержания подвижных фосфатов не обеспечивает заметного прироста урожайности.

Важность оптимизации фосфатного режима диктуется еще и тем, что значительные площади пахотных земель характеризуются низкой обеспеченностью подвижным фосфором. Кроме того, дефицит фосфора из-за ограниченности ресурсов фосфатного агрохимического сырья возможен уже в ближайшей в перспективе.

За оптимальный уровень принято содержание подвижного фосфора (P_2O_5) в почве, при котором может быть достигнуто не менее 90-95% от максимального урожая, а недостающие 5-10% восполняются фосфорными удобрениями, компенсирующими вынос. Такой уровень фосфатного режима позволяет получать в условиях обеспечения другими факторами роста максимально возможные урожаи возделываемых в каждой зоне культур (т/га).

3.13. Продуктивность севооборота и содержание подвижных форм фосфора в длительных опытах Геосети (1993)

Учреждение, почва	Варианты опыта	Продуктивность севооборота, ц з.е./га	Средне-годовая доза P ₂ O ₅ , кг/га	Содержание подвижного P ₂ O ₅ , мг/кг
ЦОС ВИУА, дерново-подзолистая тяжело-суглинистая	Контроль	29,0	–	56
	NPК-пониженная доза	36,4	64	103
	NPК-основная доза	37,8	90	120
НИИСХ Северо-Востока, дерново-подзолистая средне-суглинистая	Контроль	29,0*	–	46
	NPК	35,0	21	54
	NPК	45,0	84	169
ВНИИ льна, дерново-подзолистая суглинистая	Контроль	15,2	–	106
	NPК	25,0	45	111
	Навоз+NPК	32,7	75	170
Судогодская ОС, дерново-подзолистая супесчаная	Контроль	26,6	–	16
	NPК	36,7	25	24
	2 NPК	38,4	50	50
	Навоз+NPК	40,2	75	63
Владимирская ОС, серая лесная	Контроль	–	28,6	132
	NPК	34	34,6	132
	NPК	37	35,8	154
	2 NPК	68	37,2	163

На орошаемых землях в условиях повышенной продуктивности требуются более высокие уровни обеспеченности подвижным фосфором. Увеличение содержания подвижного фосфора в почве от низкого (2-4 мг/100 г почвы) до среднего (8-10 мг/100 г почвы) сопровождается наиболее высокими прибавками урожая. Дальнейшее его повышение приводит к снижению величины прибавок, и, наконец, урожаи, достигнув максимального в зоне оптимальных значений содержания подвижного фосфора в почве, стабилизируются (табл. 3.15). Затраты фосфорных удобрений на увеличение содержания фосфора в почве представлены в табл. 3.14.

Величина степени обеспеченности почв подвижным фосфором определяется различными методами в зависимости от типа почвы.

Основным показателем обеспеченности растений калием принято считать содержание его в почве в обменной форме. В почве имеются

3.14. Нормы удобрений на увеличение содержания подвижного фосфора на 10 мг P₂O₅ /кг почвы (по Литваку Ш.И., 1990; Сычеву В.Г., Шафрану С.А, 2013)

Почва	Гранулометрический состав	Метод определения	Затраты удобрений, кг/га	
			варьирование данных	норматив*
Дерново-подзолистая	песчаная и супесчаная легкий суглинок средний суглинок тяжелый суглинок	по Кирсанову	47 - 90 60 - 108 60 - 110 90 - 120	50 - 70 70 - 80 80 - 90 100 - 110
Серая лесная	песчаная и супесчаная суглинистая тяжелый суглинок	по Кирсанову	70 - 80 80 - 110 120 - 140	70 - 80 90 - 110 120 - 140
Чернозём оподзоленный	легкий суглинок суглинок	по Чирикову	74 - 109 80 - 120	90 - 100 100 - 110
Чернозём выщелоченный	тяжелый суглинок	по Чирикову	90 - 135	110 - 120
Чернозём типичный	тяжелый суглинок	по Чирикову	103 - 141	120 - 130
Чернозём обыкновенный	суглинок тяжелый суглинок	по Чирикову	94 - 122 100 - 140	100 - 110 120 - 130
Чернозёмы карбонатные	В среднем	по Мачигину	–	110 - 120
Каштановые	В среднем	по Мачигину	–	90 - 110

* С учетом выноса фосфора урожаем и коэффициентов его возмещения

3.15. Градации обеспеченности почв подвижным фосфором, мг/кг почвы (Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, 2003)

Степень обеспеченности	Метод Кирсанова	Метод Чирикова	Метод Мачигина	Метод Масловой	Метод Эгнера-Рима
Очень низкая	< 25	< 20	< 10	< 50	
Низкая	26 - 50	21-50	11 - 15	51 - 100	< 70
Средняя	51 - 100	51 - 100	16 - 30	101 - 150	71 - 140
Повышенная	101 - 150	101 - 150	301 - 400	151 - 200	> 140
Высокая	151 - 250	151 - 250	401 - 600	201 - 300	
Очень высокая	> 250	> 250	> 600	> 300	

значительные запасы калия и существует динамическое равновесие между различными его формами: калий почвенного раствора, обменный и необменный (фиксированный и калий природных глинистых минералов). В процессе питания растений нарушается динамическое равновесие, и вовлекаются все формы почвенного калия. При этом имеют значение степень подвижности обменного калия, скорость восстановления его из необменных форм, что затрудняет выбор объективного показателя оптимизации содержания калия в почве.

Величина степени обеспеченности почв подвижным калием определяется разными методами в зависимости от типа почвы (табл. 3.16).

Оптимальные уровни обеспеченности почв обменным калием представлены в табл. 3.17. Эти параметры обеспеченности почвы калием могут быть уточнены при специализации севооборота, известковании кислых почв, уровне обеспеченности почвы азотом, фосфором, биологических особенностей культур и других условиях. Однако в практике земледелия этими показателями вполне можно пользоваться при определении оптимального обеспечения культур на заданную продуктивность.

Затраты калийных удобрений на увеличение содержания калия в почве представлены в табл. 3.18.

Детально изучив калийный режим почв России, М.Х. Шаймухаметов и Д.С. Травникова (1977) предложили оптимальные параметры содержания обменного калия в зависимости от доли этого элемента в емкости катионного обмена (ЕКО) почв различного гранулометрического состава (табл. 3.19)

3.16. Градации обеспеченности почв подвижным (обменным) калием, мг/кг почвы (Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, 2003)

Степень обеспеченности	Метод Кирсанова	Метод Чирикова	Метод Мачигина	Метод Масловой	Метод Эгнера-Рима
Очень низкая	< 40	< 20	< 100	< 50	–
Низкая	41 - 80	21 - 40	101 - 200	51 - 100	< 70
Средняя	81 - 120	41 - 80	201 - 300	101 - 150	71 - 140
Повышенная	121 - 170	81 - 120	301 - 400	151 - 200	> 140
Высокая	171 - 250	121 - 180	401 - 600	201 - 300	–
Очень высокая	> 250	> 180	> 600	> 300	–

3.17. Обеспеченность почв обменным калием и продуктивность севооборотов

Почва	K ₂ O, мг/кг	Продуктивность, ц/га зерновых единиц в год
Дерново-подзолистые супесчаные и суглинистые	150 - 200	35 - 45
Серые лесные	100 - 150	40 - 50
Чернозёмы выщелоченные и типичные (лесостепь)	150 - 200	45 - 60
Чернозёмы мощные, обыкновенные и карбонатные (степь)	150 - 200	35 - 45
Чернозёмы обыкновенные и карбонатные (степь, при орошении)	250 - 300	50 - 65
Каштановые, светло- и тёмно-каштановые (степь, при орошении)	250 - 300	65 - 90

3.18. Нормы удобрений на увеличение содержания подвижного K₂O на 10 мг /кг почвы (по Литваку Ш.И., 1990)

Почва	Гранулометрический состав	Метод определения	Затраты удобрений, кг/га д.в.
Дерново-подзолистая	супесчаная легкий и средний суглинок тяжелый суглинок	по Кирсанову	40 - 60 60 - 80 80 - 100
Серая лесная	супесчаная легкий и средний суглинок тяжелый суглинок	по Кирсанову	60 - 70 70 - 80 80 - 90
Чернозём оподзоленный и выщелоченный	в среднем	по Чирикову	80 - 90

* С учетом выноса калия урожаем и коэффициентов его возмещения.

Границы варьирования величин минимального содержания обменного калия для дерново-подзолистых почв представлены в табл. 3.20.

На основании обобщения многочисленных экспериментальных данных установлены градации различной степени обеспеченности почв основных почвенно-климатических зон России подвижными формами микроэлементов (табл. 3.21).

3.19. Оптимальные показатели содержания обменного калия в почвах
(М.Х. Шаймухаметов, Л.С. Травникова, 1997)

Почвы (гранулометрический состав)	Оптимальное содержание обменного калия	
	K ₂ O, мг/кг	% от ЕКО
Песчаные	140 - 160	5 - 10
Супесчаные	160 - 190	3 - 5
Суглинистые	190 - 220	1,8 - 3
Тяжелосуглинистые и глинистые	220 - 250	1,2 - 1,8

3.20. Уровни варьирования минимального содержания
обменного калия для дерново-подзолистых почв различного
гранулометрического состава (Никитина Л.В., 2011)

Гранулометрический состав	Содержание физической глины (частиц <0,01 мм), %	Уровни K ₂ O min, мг/кг почвы
Супесь	10,1 - 20,0	50 - 70
Суглинок легкий	20,1 - 30,0	55 - 85
Суглинок средний	30,1 - 40,0	55 - 105
Суглинок тяжелый	40,1 - 50,0	70 - 110

В среднем применение микроудобрений обеспечивает повышение урожайности сельскохозяйственных культур на 10-12% и выше на почвах с низким содержанием микроэлементов (табл. 3.22).

Научно-исследовательскими учреждениями Белоруссии проведены многочисленные исследования по определению оптимальных параметров показателей и разработана примерная модель плодородия дерново-подзолистых суглинистых почв (рис. 3.2).

3.21. Градации обеспеченности почв России подвижными формами микроэлементов (Ягодин, Жуков, Кобзаренко, 2002)

Микроэлемент	Биогеохимическая зона	Почвенная вытяжка	Обеспеченность почв, мг/кг почвы				
			очень бедная	бедная	средняя	богатая	очень богатая
B	Таёжно-лесная	H ₂ O	<0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,7	0,7 - 1,1	> 1,1
Cu		1,0 н. HCl	<0,9	0,9 - 2,1	2,1 - 4,0	4,0 - 6,6	> 6,6
Mo		оксалатная	<0,08	0,08-0,14	0,14-0,30	0,30-0,46	>0,46
Mn		1,0 н. H ₂ SO ₄	<1,0	1,0 - 25	25- 60	60 - 100	> 100
Co		1,0 н. HNO ₃	<0,4	0,4 - 1,0	1,0 - 2,3	2,3 - 5,0	> 5,0
Zn		1,0 н. KCl	<0,2	0,2 - 0,8	0,8 - 2,0	2,0 - 4,0	> 4,0
B	Лесостепная и степная	H ₂ O	<0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,8	0,8 - 1,2	> 1,2
Cu		1,0 н. HCl	<1,4	1,4 - 3,0	3,0 - 4,4	4,4 - 5,6	> 5,6
Mo		оксалатная	<0,10	0,10-0,23	0,23-0,38	0,38-0,55	>0,55
Mn		1,0 н. H ₂ SO ₄	<25	25 - 55	55 - 90	90 - 170	> 170
Co		1,0 н. HNO ₃	<1,0	1,0 - 1,8	1,8 - 2,9	2,9 - 3,6	> 3,6
Zn		1,0 н. KCl	<0,15	0,15-0,30	0,30-1,0	1,0-2,0	> 2,0
Zn		ацетатно-аммонийная	< 4,0	4,0 - 6,0	6,0 - 8,8	> 8,8	–
B	Сухо-степная и полупустынная	H ₂ O	<0,4	0,4 - 1,2	1,2 - 1,7	1,7 - 4,5	> 4,5
Cu		1,0 н. KNO ₃ + HNO ₃ (по Гюль-ахмедову)	<1,0	1,0 - 1,8	1,8 - 3,0	3,0-6,0	>6,0
Mo			<0,05	0,05-0,15	0,15-0,50	0,5-1,2	> 1,2
Mn			<6,6	6,6 - 12	12 - 30	30 - 90	> 90
Co			<0,6	0,6 - 1,3	1,3 - 2,4	> 2,4	–
Zn			<0,3	0,3 - 1,3	1,3 - 4,0	4,0 - 16,4	> 16,4

3.22. Эффективность применения микроудобрений под основные сельскохозяйственные культуры по обобщенным данным полевых опытов (1993)

Культуры	Средняя прибавка урожая от микроэлементов, ц/га					
	B	Mo	Zn	Cu	Co	Mn
Пшеница, ячмень (зерно)	1,4	2,1	2,5	3,7	2,7	1,9
Кукуруза, зеленая масса	51	49	44	50	40	39
Сахарная свёкла, корнеплоды	32	23	32	14	20	28
Картофель, клубни	20	20	24	13	18	28
Клевер, семена	0,5	0,5	–	0,4	–	–
Многолетние травы, зеленая масса	25	46	18	32	34	22

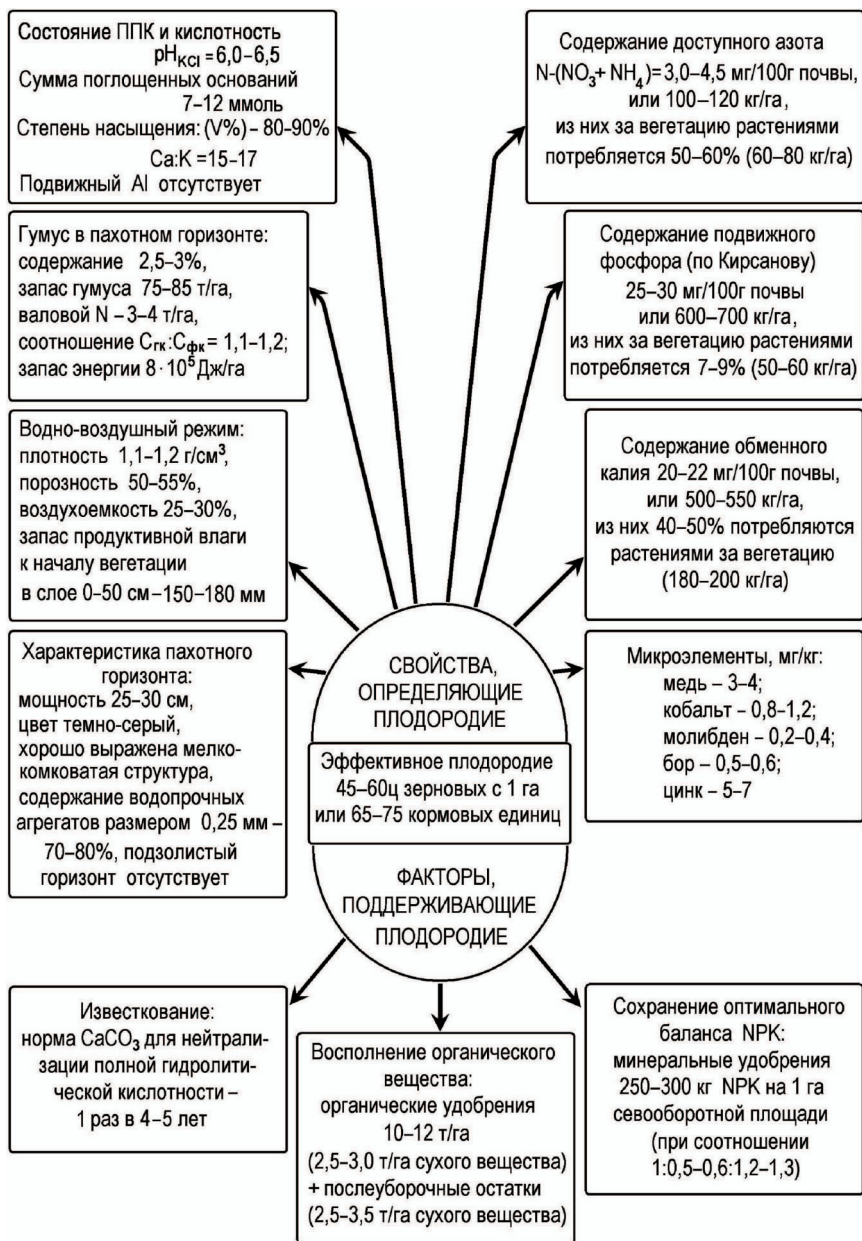


Рис. 3.2. Примерная модель плодородия дерново-подзолистых суглинистых почв

КРУГОВОРОТ И БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ И ГУМУСА ПОЧВЫ

В общем планетарном понимании *«Биологический круговорот веществ представляет собой совокупность процессов поступления химических элементов из почвы и атмосферы в живые организмы, биохимического синтеза новых сложных соединений и возвращения элементов в почву и атмосферу с ежегодным опадом части органического вещества»* (Орлов, Безуглова, 2000).

Интенсивность биологического круговорота рассматривается как количество химических элементов, содержащихся в приросте фитоценоза на единицу площади в единицу времени.

Задача агрохимии состоит в том, чтобы оценить направленность круговорота биогенных элементов и степень интенсивности антропогенного воздействия на систему почва-растение по балансу питательных веществ в агроценозе. Это позволяет оптимизировать питание сельскохозяйственных культур путем применения научно-обоснованной системы удобрений отдельных культур в севообороте.

Наличие в почве доступных для растений форм питательных элементов в должном соотношении является основным условием формирования высоких урожаев. Это обстоятельство и определяет эффективное плодородие почв. Вопросы круговорота и баланса питательных веществ в земледелии давно интересовали исследователей. Впервые в России в 1825 г. был издан научный труд «Земледельческая химия», в котором автор, профессор Московского университета М.Г.Павлов, писал, что задачей повышения плодородия почв является увеличение в почве питательных веществ или по крайней мере возвращение того, что взято из почвы растениями. По-настоящему развитие исследования баланса питательных веществ в агрохимии началось с появлением труда Ю. Либиха «Химия в приложении к земледелию и физиологии» (1840) и его учения о полном возврате в почву всех минеральных веществ, взятых из нее урожаем растений.

Проблеме круговорота веществ в земледелии, их балансу много внимания уделял основоположник отечественной агрохимии Д.Н. Прянишников. Он писал, что развитие химической промышленности становится одной из важнейших материальных предпосылок регулирования круговорота веществ в земледелии, их обмена между человеком и природой. Развивая это положение, Д.Н. Прянишников отмечал, что если истощение почв в результате нарушения обмена веществ между человеком и землей нарушает «естественное условие постоянного плодородия почвы», то массовое применение удобрений, основанное

на крупной химической промышленности, является одним из мощных факторов не только поддержания на постоянном уровне (как это представлял Ю. Либих), но и дальнейшего повышения эффективного плодородия почвы, как это можно видеть хотя бы на историческом примере поднятия урожая в западноевропейских странах с высоким уровнем химизации.

Создание необходимых условий для рационального круговорота питательных веществ в земледелии, их положительный баланс – важнейшая задача агрохимии.

Хозяйственная деятельность человека, включая интенсификацию сельскохозяйственного производства и прежде всего химизацию, вызывает определенные изменения в процессах превращения веществ и энергии в природе. Например, происходят существенные изменения в цикле азота в биосфере при переходе от естественного состояния почвы к ее состоянию при интенсивной обработке (рис. 3.3, и 3.4). В почвах естественных биоценозов потери азота за счет улетучивания и денитрификации уравниваются поступлением этого элемента с осадками и при биологической фиксации.

Когда земельный участок осваивается под интенсивное сельскохозяйственное производство, азотный цикл претерпевает существенные изменения. При этом потери азота из системы больше его поступления, что неизбежно обедняет почвы этим элементом.

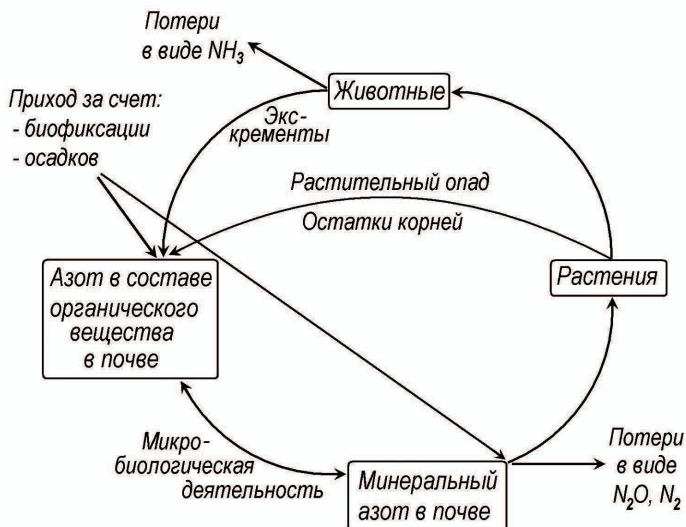


Рис. 3.3. Цикл азота в биосфере при естественном состоянии почвы

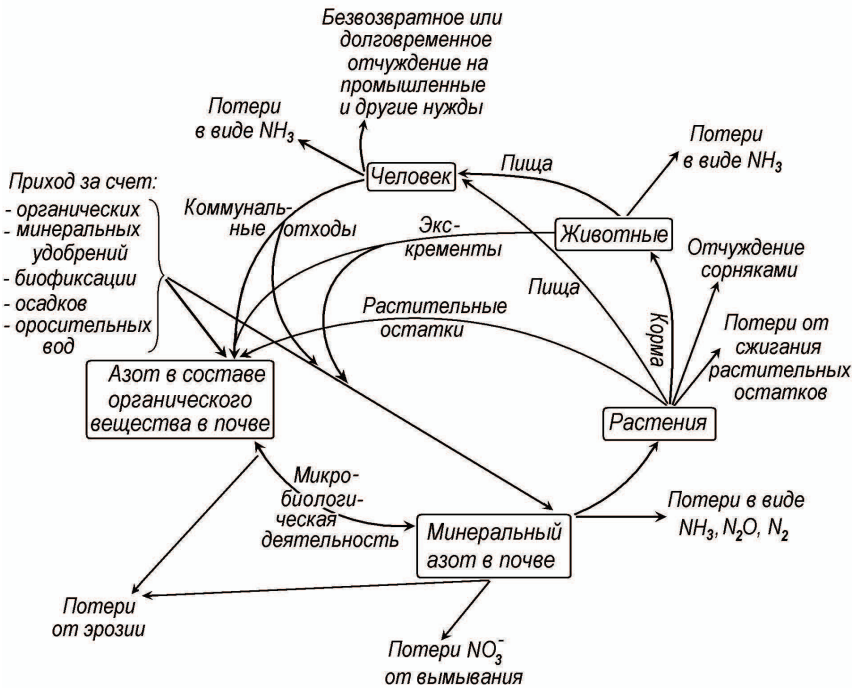


Рис. 3.4. Цикл азота в биосфере при интенсивной обработке почвы

При сельскохозяйственном освоении территории увеличивается и число причин потерь азота из системы. Наряду с возрастающей убылью азота из почвы в виде газообразных соединений значительно увеличивается вымывание азота нитратов. Азот безвозвратно выводится из системы и при сжигании растительных остатков. Значительное его количество отчуждается при потреблении сельскохозяйственной продукции на промышленные и другие нужды, а также поглощается сорняками.

Естественное поступление азота в цикл осуществляется в результате биологической фиксации его, с атмосферными осадками и оросительной водой. Лишь внесением азотных удобрений и навоза можно ликвидировать дефицит в азотном балансе и создать условия для сохранения и даже повышения плодородия почв. Потери азота и других питательных веществ из почвы и удобрений не только снижают продуктивность земледелия, но и вызывают эвтрофикацию водоемов, загрязняют грунтовые воды и обуславливают ряд других нежелательных явлений в окружающей природной среде.

Поэтому важно правильно управлять круговоротом питательных веществ в земледелии и создавать их активный баланс применением минеральных удобрений, предотвращая их потери в окружающую среду. Это одно из важнейших условий научного земледелия.

При условии возврата в почву питательных веществ, отчуждаемых с урожаем, растения захватывают из окружающей среды (атмосферы и верхних слоев земли) все большее количество биогенных элементов в свою сферу и тем самым способствуют возрастанию эффективного плодородия почвы. Нарушение баланса макро- и микроэлементов может существенно изменить химизм растений и тем самым нарушить нормальное питание животных и человека.

Минеральные удобрения как средство интенсификации земледелия по химическому составу не инородны живой природе и при разумном применении являются мощным фактором ее развития. Например, в каком бы виде ни вносили азот в почву – в составе органических или минеральных удобрений, в какой бы форме он ни поступал в растения – нитратной, аммиачной, амидной или молекулярной, фиксированной бобовыми растениями, в конечном счете в самих растениях в синтезе аминокислот и белков может принимать участие только восстановленная форма азота (NH_4^+). Все остальные формы восстанавливаются до аммония в результате химических и биологических превращений в почве или непосредственно в растениях. Органические и минеральные удобрения как источник питательных элементов равноценны. Однако земледельцу легче работать с органическими удобрениями, так как они менее концентрированы. Так, по азоту 1 ц мочевины равноценен 10 т навоза. Нарушения в технологии применения минеральных удобрений приводит к созданию высоких концентраций питательных элементов в почве, которые в избыточном количестве поступают в растения, ухудшая качество продукции (как, например, нитраты и нитриты) или вызывая аммиачное отравление растений. Минерализация органических удобрений происходит постепенно в процессе вегетации растений и не создает в почве повышенной концентрации минеральных солей.

В то же время без минеральных удобрений нельзя создать положительного баланса питательных веществ в земледелии. Следовательно, удобрения необходимо применять в сельском хозяйстве так, чтобы они улучшали круговорот питательных элементов в земледелии. Это будет способствовать сохранению и улучшению состояния окружающей среды. Все это, несомненно, положительно скажется на количестве и химическом составе получаемой продукции.

Нарушение баланса питательных веществ в земледелии может ухудшить химический состав почвы, природных вод, а следовательно, и растений. Это в свою очередь может изменить качество, питательную ценность сельскохозяйственной продукции и кормов для животных и привести к функциональным заболеваниям человека и животных.

В естественных биоценозах достигается замкнутый цикл биогенных элементов, а в искусственных агроценозах происходит разрыв этого цикла в связи с отчуждением на получение урожая и значительным потерям элементов питания при эрозии, инфильтрации и улетучивании. Применение же минеральных удобрений направляет весь круговорот биогенных элементов по расширенной спирали. В связи с этим исходным моментом для расширения производства растениеводческой продукции является увеличение в нужных масштабах применения минеральных удобрений.

При ускоряющемся развитии науки и техники в ближайшие столетия главным источником полноценной пищи для людей по-прежнему останутся сельскохозяйственные продукты, производство которых основано на использовании величайшего дара природы – плодородия почв. Расширенное воспроизводство плодородия почвы – вот исходное условие для обеспечения непрерывного роста урожайности. Более того, с ростом урожайности создаются более благоприятные условия для улучшения окружающей среды. А это возможно при активном балансе питательных веществ в земледелии.

Баланс питательных веществ – это количественное выражение содержания питательных веществ в почве на конкретной площади или объекте исследования (поле, севооборот, длительный стационарный опыт, хозяйство, зона, республика и т.д.) с учетом всех статей их поступления (внесение удобрений, природные источники и т.д.) в течение определенного промежутка времени.

Поступление питательных веществ обеспечивают следующие источники: 1) минеральные удобрения; 2) органические удобрения; 3) растительные остатки; 4) посевной материал; 5) биологическая фиксация азота клубеньковыми и свободноживущими микроорганизмами; 6) осадки.

В расходной части учитывают: 1) вынос с урожаем основной и побочной продукции; 2) вынос с растительными остатками; 3) вымывание в грунтовые воды и смыв с поверхности; 4) потери в результате возможных эрозионных процессов; 5) газообразные потери и т.д.

Существуют методики определения каждого источника поступления и расхода питательных веществ. В исследовательских целях количественные величины статей баланса принимаются на основании данных экспериментов, а для практических целей чаще всего пользуются справочными данными. Хотя статьи баланса хозяйства, зоны, республики носят относительный характер и часто претерпевают существенные изменения в зависимости от природных и хозяйственных факторов, определение баланса питательных веществ имеет важное значение для оценки уровня химизации земледелия.

Для проведения глубоких теоретических исследований с учетом всех статей прихода и расхода большой интерес представляет изучение баланса питательных веществ в лизиметрах. Это метод широко используется научно-исследовательскими учреждениями. Он позволяет более глубоко вскрыть закономерности изменения статей баланса и дать им научное объяснение. В этих опытах часто применяются удобрения с мечеными элементами. Например, результаты лизиметрических исследований, проведенных во ВНИИ удобрений и агропочвоведения на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны с применением стабильного изотопа азота ^{15}N , показали, что из внесенного удобрения 30 - 60% азота используют растения, 15 - 30% – аккумулируется в почве, 10 - 30% – теряется в результате улетучивания газообразных соединений и 1 - 5% – вымывается с лизиметрическими водами.

В практических целях используют данные по биологическому, хозяйственному и внешнехозяйственному балансам.

Биологический баланс достаточно полно охватывает все статьи поступления и расхода питательных веществ, вовлекаемых в круговорот. Его можно использовать при оценке системы удобрения отдельных культур и специализированных севооборотов.

Хозяйственный баланс базируется на учете только выноса питательных веществ с основной и побочной продукцией и компенсации их за счет внесения минеральных и органических удобрений. Обычно расчет такого баланса дает объективную агроэкономическую оценку системе удобрения в хозяйстве, зоне, регионе, республике и т.д.

Внешнехозяйственный баланс учитывает отчуждение элементов питания с товарной продукцией за пределы хозяйства и поступление их с минеральными удобрениями. Расчет этого вида баланса имеет важное значение для правильного распределения удобрений и в значительной мере определяется специализацией хозяйства. Если хозяйство специализируется на производстве товарной продукции (зерно, овощи и т.д.), то баланс будет более дефицитным, чем в хозяйствах, специа-

лизирующихся на производстве животноводческой продукции на собственной кормовой базе, где значительная часть питательных веществ возвращается в почву.

Баланс и круговорот отдельных питательных элементов (азота, фосфора и калия) в земледелии имеют свои особенности.

Особый интерес представляет *азот* – основной носитель жизни. Особенности его баланса в системе почва - удобрение - растение заключаются в весьма высокой его подвижности. Азот – биогенный элемент, имеющий природные источники пополнения его запасов в почве. Потребность растений в питании этим элементом, как правило, бывает наибольшей.

Существенный источник пополнения активной части баланса – его биологическая фиксация симбиотическими и свободноживущими микроорганизмами. Поэтому при определении баланса азота в земледелии важно учитывать оптимальное сочетание технического, поступающего с удобрениями, и биологического азота.

При любой системе удобрений нельзя рассчитывать на получение высокого урожая при дефицитном балансе азота.

Особый научный и практический интерес представляет *баланс фосфора* в земледелии и его круговорот в экосистемах. Хотя живой организм требует его в несколько раз меньше, чем азота, он является важным биогенным элементом. Фосфор не только источник пищи для растений, но и носитель энергии, он входит в состав различных нуклеиновых кислот. При дефиците фосфора резко снижается продуктивность растений. В то же время фосфор не имеет естественных источников пополнения запаса в почвах, как например азот. Потребление его запасов из почв агроэкосистем на создание урожая восполняется практически только за счет внесения фосфорных и органических удобрений. Поэтому нужно полагать, что в перспективе проблема фосфора как биогенного элемента в земледелии возникнет в первую очередь.

В атмосфере фосфор находится в виде пыли и в небольших количествах (0,5 - 1 кг/га в год). Поэтому круговорот его относительно более прост, чем круговорот азота, т.е. в круговорот фосфора в экосистемах вовлечены лишь почва, вода и растения. Однако на доступность его растениям оказывают влияние многие факторы среды. Поэтому проблему фосфора особенно необходимо учитывать при определении перспективных систем земледелия.

Потери фосфора происходят в основном при эрозии почвы в составе мелкозема и жидкого стока. Выщелачивание фосфора на почвах

среднего и тяжелого гранулометрического состава обычно не превышает 1 кг/га, и лишь на легких и торфяных почвах фосфора вымывается 3 - 5 кг/га.

Изучению *баланса калия* пока не уделяется должного внимания. Это объясняется тем, что, во-первых, высокое естественное содержание калия в почве ряда земледельческих зон часто не лимитировало урожай, во-вторых, наша химическая промышленность практически обеспечивала сельское хозяйство страны необходимым количеством калийных удобрений. Однако уже сейчас в ряде зон применение повышенных доз азота и фосфора приводит к значительному отрицательному балансу калия, а следовательно, к снижению урожая.

При анализе состояния круговорота питательных веществ в земледелии, а соответственно и баланса их в связи с применением удобрений важно учитывать уровень получаемых урожаев сельскохозяйственных культур. Поэтому рекомендации по применению удобрений для получения определенного уровня урожаев выращиваемых культур должны также предусматривать не только поддержание существующего уровня плодородия почвы, но и расширенного его воспроизводства.

Низкая культура земледелия и отрицательный баланс питательных веществ в севообороте – важнейшие причины, сдерживающие рост урожаев. Применение системы удобрения в агроценозе с учетом состояния баланса биогенных элементов позволяет не только получить планируемые урожаи сельскохозяйственных культур, но и способствует воспроизводству плодородия почвы. Методов балансовых расчетов много, они имеют специфику в зависимости от того, используется баланс для теоретического обоснования научного положения или для практических задач по оценке систем удобрений.

Особый интерес представляют исследования баланса питательных веществ в длительных стационарных опытах с удобрениями. В них точно учитываются многолетнее внесение по ротациям севооборота различных питательных элементов с удобрениями и вынос их с урожаями. Опыты проводятся в условиях, близких к производственным. Поэтому данными баланса, полученными в длительных стационарных опытах, вполне можно пользоваться как в научных, так и в практических целях. Баланс, установленный на основе таких опытов – важное звено исследований для правильной оценки всех статей прихода и расхода питательных веществ на уровне хозяйства, зоны, республики и т.д.

Важнейшим источником расхода питательных веществ является вынос их с урожаем сельскохозяйственных культур (табл. 3.23).

3.23. Вынос питательных веществ в кг/т основной продукции с учетом побочной (2010)

Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница	26,6	8,4	18,5
Озимая рожь	27,2	9,7	22,7
Ячмень	25,1	9,2	21,0
Овес	26,5	9,5	27,1
Рис	15,8	10,3	20,9
Кукуруза на зерно	27,1	9,0	21,3
Горох	48,8	11,0	33,9
Подсолнечник	43,8	16,6	101,8
Лён-долгунец (волокно)	59,3	20,2	69,6
Сахарная свекла	4,47	1,25	5,89
Картофель	5,9	1,6	8,0
Кукуруза на силос	2,89	0,9	3,59
Кормовые корнеплоды	2,73	0,67	5,90
Многолетние травы (сено)	19,1	3,4	19,2
Однолетние травы (сено)	17,6	6,3	23,4

Приведенные величины выноса питательных веществ уточняют применительно к конкретным культурам, сортовым особенностям и почвенно-климатическим условиям.

Для расчета баланса элементов питания в агроценозе разработаны соответствующие формулы.

Баланс фосфора (Бр) определяется по разности между поступлением его в почву с удобрениями, семенами и осадками и отчуждением с полей урожаем, а также потерями за счет вымывания и эрозии. Это можно выразить уравнением:

$$Бр = (P_y + P_c + P_{po} + P_o) - (P_{vy} + P_{po} + P_{п}),$$

где Бр – баланс фосфора, кг/га P₂O₅.

Приходные статьи баланса:

P_y – поступление с удобрениями $P_y = (P_m + P_{op})$, где

P_m – поступление с минеральными удобрениями;

P_{op} – поступление с органическими удобрениями;

P_c – поступление с семенами (с посевным материалом);

P_{po} – поступление с растительными остатками;

P_o – поступление с осадками.

Расходные статьи баланса:

Р_{ву} - вынос с урожаем основной и побочной продукции;

Р_{ро} – вынос растительными остатками;

Р_п – потери из почвы $R_p = (R_{пв} + R_{пэ})$, где

Р_{пв} – потери за счет вымывания;

Р_{пэ} – потери за счет эрозионных процессов.

Баланс калия (Б_к) определяется по аналогичной формуле :

$$B_k = (K_u + K_c + K_{ро} + K_o) - (K_{ву} + K_{ро} + K_p),$$

Б_к – баланс фосфора, кг/га K_2O .

Приходные статьи баланса:

К_у – поступление с удобрениями $K_u = (K_m + K_{ор})$, где

К_м – поступление с минеральными удобрениями;

К_{ор} – поступление с органическими удобрениями;

К_{ро} – поступление с растительными остатками;

К_с – поступление с семенами (с посевным материалом);

К_о – поступление с осадками.

Расходные статьи баланса:

К_{ву} – вынос с урожаем основной и побочной продукции;

К_{ро} – вынос растительными остатками;

К_п – потери из почвы $K_p = (K_{пв} + K_{пэ})$, где

К_{пв} – потери за счет вымывания;

К_{пэ} – потери за счет эрозионных процессов.

Поступление фосфора и калия с удобрениями и семенами устанавливаются по их химическому составу и нормам высева. Величина поступления из атмосферы с осадками на территории страны для фосфора не превышает 0,5 кг/га, для калия колеблется в пределах 2-6 кг/га. Вынос фосфора и калия с урожаем сельскохозяйственных культур (Р_в и К_в) устанавливается на основе содержания этих элементов в урожае основной и побочной продукции и величин урожая.

Потери фосфора и калия в результате эрозии почв (Р_{пэ} и К_{пэ}) по усредненным данным составляют: для фосфора – 1,5-2, для калия – 3-5 кг/га.

Потери этих элементов из почвы и удобрений за счет вымывания в значительной мере зависят от гранулометрического состава почвы, количества осадков, доз применяемых удобрений и возделываемых культур.

Наибольшие потери питательных веществ отмечены под чистыми парами, несколько меньше - под пропашными культурами, далее в порядке снижения уровня потерь следуют зерновые, многолетние травы, сенокосы и пастбища.

Потери фосфора (Р_{пв}) для суглинистых почв в среднем не превышают 0,1, а для песчаных и супесчаных почв – 1,2 кг/га. Потери калия за счет вымывания удобрений (К_{пв}) ориентировочно составляют: для легких почв – 5, для тяжелых – 2% от внесенного количества.

По азоту учитываются следующие статьи прихода и расхода:

$$B_N = (N_y + N_c + N_b + N_{po} + N_o) - (N_v + N_{po} + N_p)$$

B_N – баланс азота, кг/га N.

Приходные статьи баланса:

N_y – поступление с удобрениями $N_y = (N_m + N_{op})$, где

N_m – поступление с минеральными удобрениями;

N_{op} – поступление с органическими удобрениями;

N_c – поступление с семенами (с посевным материалом);

N_b – поступление за счет биологической фиксации;

$N_b = (N_{сим.} + N_{нсим.})$, где

$N_{сим.}$ – поступление за счет симбиотической фиксации;

$N_{нсим.}$ – поступление за счет фиксации свободноживущими микроорганизмами;

N_{po} – поступление с растительными остатками;

N_o – поступление с осадками;

Расходные статьи баланса:

N_v – вынос с урожаем основной и побочной продукции, кг/га N;

N_{po} – вынос растительными остатками;

N_p – потери азота из почвы $N_p = (N_{пг} + N_{пв} + N_{пэ})$, где

$N_{пг}$ – газообразные потери;

$N_{пв}$ – потери за счет вымывания;

$N_{пэ}$ – потери за счет эрозионных процессов.

Азот, внесенный с семенами, и вынос этого элемента из почвы с основной и побочной продукцией определяются аналитическим путем или по справочным данным. Поступление азота в почву с семенным материалом зависит от вида культуры, норм высева, содержания азота в семенах, структуры севооборота. Например, при посеве зерновых колосовых с семенами поступает 4-6 кг/га азота, зернобобовых – 8-15, при посадке картофеля – 9-12 и т.д. В зависимости от типа и насыщенности севооборота той или иной культурой за ротацию с посевным материалом вносится 20-50 кг/га азота и более.

Обогащение почвы биологическим азотом за счет бобовых культур Е.П. Трепачев рекомендует определять по формуле:

$$N_{об} = [(M_{пк} 2,5) \%N + (M_{пу} \%N)] K_f - N_y(1 - K_f)$$

$$\text{или } N_{об} = N_b - N_v,$$

где $N_{об}$ – обогащение почвы биологическим азотом, кг/га; $N_б$ – биологический азот растительных остатков (кг/га); 2,5 – коэффициент поправки на полноту учета органического вещества; $M_{пк}$ – масса сухих пожнивно-корневых остатков (ц/га); $M_{пу}$ – масса потерь урожая за все укосы (ц/га); $K_ф$ – коэффициент азотфиксации (отношение количества фиксированного азота к общему); N_y – общий азот в урожае сена (кг/га) за все годы выращивания бобовых; N_v – вынос азота урожаем бобовых растений (кг/га).

Биологический азот растительных остатков ($N_б$) определяется по формуле: $N_б = [(M_{пк} 2,5) \%N + (M_{пу}\%N)] K_ф$.

А вынос азота из почвы бобовыми растениями – $N_v = N_y(1 - K_ф)$.

Приведем *пример* расчета величины обогащения почвы азотом в опыте с клевером.

Урожайность сена клевера за 3 года жизни 129,7 ц/га при средневзвешенном содержании азота 2,7%. Следовательно, суммарное потребление азота клевером составляет $129,7 \times 2,7 = 350,2$ кг/га. Пожнивно-корневые остатки ($M_{пк}$) после третьего года жизни клевера составляют 71,8 ц/га сухого вещества с содержанием общего азота 2,3%, а масса потерь урожая за все укосы ($M_{пу}$) составляет 4,1 ц/га сухого вещества с содержанием общего азота 2,8%, усредненный коэффициент азотфиксации ($K_ф$) равен 0,74. Подставив все данные в формулу

$$N_{об} = [(71,8 \times 2,5) \times 2,3 + (4,1 \times 2,8)] \times 0,74 - 350,2 \times (1 - 0,74),$$

получим обогащение почвы азотом, т.е. $N_{об} = 222,9$ кг/га.

Коэффициент азотфиксации ($K_ф$) по результатам исследований научных учреждений для клевера, люпина, эспарцета принят равным 0,7, для люцерны – 0,8, для гороха и вики – 0,6. Коэффициент азотфиксации пожнивных остатков зернобобовых культур 0,3 - 0,4; а пожнивно-корневых остатков бобовых трав – 0,5 - 0,7. Если пожнивные и корневые остатки не определялись, то условно можно принять содержание азота в них равным половине его содержания в надземной массе.

Важным источником азота, поступающего в почву, является азотфиксация свободноживущими гетеротрофными и сапрофитными микроорганизмами. В различных почвенно-климатических условиях за счет несимбиотической азотфиксации связывается неодинаковое количество азота: в зоне северной тайги и тундры связывается несколько килограммов на 1 га, в дерново-подзолистых и серых лесных почвах – 15 - 20 кг/га, в черноземах – 30 - 40, а в тропиках и субтропиках – до 80 кг/га и более.

Весьма существенны потери азота в результате эрозии почв, внутрипочвенного стока и инфильтрации в глубокие слои почвы (до уровня грунтовых вод). Ежегодно потери азота от эрозии, которые можно принять при расчете баланса, приведены в табл. 3.24.

В качестве минимальных нормативов потерь азота на почвах разного гранулометрического состава вследствие инфильтрации можно принять следующие величины (% от внесенного):

- тяжелосуглинистая – 0 - 0,5;
- среднесуглинистая – 0,5 - 1,5;
- супесчаная – 2,0 - 4,0;
- песчаная – 5,0 - 8,0.

Баланс гумуса в почве. Если минеральные удобрения улучшают круговорот и баланс биогенных элементов, то органические удобрения являются не только важным источником питательных веществ для растений, но и пополняют запасы гумуса в почве – одного из основных показателей ее потенциального плодородия. Органические вещества являются регулятором расходования элементов питания и предотвращают непроизводительные потери питательных веществ от вымывания, образования газообразных продуктов и труднорастворимых минеральных соединений, повышают эффективность минеральных удобрений. Почвы с большим содержанием гумуса биологически активнее: в них выше численность микроорганизмов, разнообразнее

3.24. Ориентировочные размеры потерь азота почвы в зависимости от крутизны склона и культуры (Трепачев и др., 1976)

Крутизна склона в градусах	Культура	Потери азота, кг/га
менее 1°	Пропашные	5 - 10
	Зерновые яровые	3 - 5
	Зерновые озимые	2 - 3
	Многолетние травы	0
1 - 2°	Пропашные	10 - 15
	Зерновые яровые	5 - 8
	Зерновые озимые	3 - 5
	Многолетние травы	2 - 3
2 - 4°	Пропашные	15 - 30
	Зерновые яровые	8 - 15
	Зерновые озимые	5 - 10
	Многолетние травы	3 - 5

видовой состав, интенсивнее продуцируется CO_2 , повышена ферментативная активность. Гумусированные почвы отличаются лучшими физическими свойствами, водно-воздушным и тепловым режимами, устойчивы к эрозионным процессам. Особенно возрастает роль гумусированности почв при неблагоприятных погодных условиях. Поэтому проблема бездефицитного и положительного баланса гумуса в агрохимии и агропочвоведении – одна из важнейших.

Развитие земледелия, повышение его интенсификации, широкое использование минеральных удобрений и других средств химизации позволили по-новому раскрыть и оценить роль органического вещества почвы. Если ранее основная функция гумуса сводилась к обеспечению растений необходимыми элементами питания, то в эру интенсивного земледелия, когда растения получают необходимые питательные элементы с удобрениями, на первый план выходят такие функции органического вещества почвы, как способность регулировать водно-физические свойства почв, быстро трансформировать избыточное количество вносимых с удобрениями минеральных солей, служить инактиватором тяжелых металлов, пестицидов и их метаболитов, задерживая их в почвенной массе, уменьшая возможность поступления в растительную продукцию, поверхностные и внутрисочвенные воды, атмосферу, а также восполнение недостатка какого-либо элемента питания, недовнесенного с минеральными или органическими удобрениями.

В то же время приемы интенсификации сельскохозяйственного производства, такие, как увеличение объемов возделывания пропашных культур, снижение удельного веса многолетних трав, сильная выпаханность почв, уничтожение лесов, приводят к повсеместному снижению уровня гумусированности почв и потере органического вещества. Дефицит органического вещества пахотных почв является основной причиной снижения их плодородия, что, в свою очередь, влечет за собой снижение эффективности минеральных удобрений, ухудшение качества сельскохозяйственной продукции и загрязнение окружающей природной среды остаточным количеством минеральных солей, остатками и метаболитами химических средств защиты сельскохозяйственных культур.

Главные *причины потерь гумуса* пахотными почвами следующие:

- уменьшение массы растительных остатков, поступающих в почву при смене естественного биоценоза агроценозом;
- усиление минерализации органического вещества в результате интенсивной обработки и повышения степени аэрации почв;

– разложение и биодegradация гумуса под влиянием физиологически кислых удобрений и активизации микрофлоры за счет вносимых удобрений;

– усиление минерализации гумуса орошаемых почв в первые годы орошения (в последующие годы поддержание гумуса стабилизируется и даже повышается);

– усиление минерализации гумуса в результате осушительных мелиораций переувлажненных почв;

– водная и ветровая эрозия почв.

Современное земледелие должно предусматривать разработку агротехнических и агрохимических приемов, обеспечивающих бездефицитный или положительный баланс гумуса.

Основными путями компенсации минерализованного гумуса в почве являются:

- 1) использование всех видов органических удобрений, а также сочетания их с минеральными туками;
- 2) запашка сидератов , пожнивно-корневых остатков и др.;
- 3) посев в севооборотах бобовых трав и бобово-злаковых травосмесей с преобладанием бобового компонента;
- 4) использование соломы на удобрение по соответствующей технологии с добавлением азотных удобрений;
- 5) использование на удобрение различных отходов органического происхождения.

Систему рационального использования органических удобрений для расширенного воспроизводства гумуса в почве необходимо рассматривать как важное звено научной системы земледелия.

Баланс гумуса рассчитывается с целью прогнозирования и расчета потребности пахотных почв в органических удобрениях необходимых для получения планируемого урожая и воспроизводства плодородия.

Баланс гумуса определяется по разности между статьей прихода (за счет поступления и гумификации пожнивно-корневых остатков, органического вещества удобрений) и расхода (минерализация гумуса при возделывании сельскохозяйственных культур и паровании полей).

Расчет баланса можно проводить по севообороту, отделению, хозяйству, району, области и т.д.

Для расчета баланса необходимы следующие данные:

- размещение культур в севообороте;
- планируемый урожай;
- занимаемая культурами площадь;
- дозы минеральных удобрений;

- виды и дозы органических удобрений;
- тип, подтип и разновидность почвы.

Расход гумуса за счет минерализации зависит от целого ряда факторов:

- почвенно-климатических условий
- интенсивности обработки почв
- структуры посевных площадей
- урожая культур
- уровня химизации и т.д.

Наибольшая минерализация гумуса отмечается в чистых парах, далее в убывающем порядке следуют пропашные культуры, культуры сплошного сева (зерновые, зернобобовые, однолетние травы), многолетние травы, луга и пастбища.

Например, на легких дерново-подзолистых почвах ежегодно минерализуется под чистым паром – 4,5%, картофелем, корнеплодами и овощами – 3,4-3,9%, кукурузой на силос – 3,3-3,9%, силосными – 1,9-2,2%, зерновыми – 1,9-2,1%, однолетними травами – 1,7-1,8%, многолетними травами и люпином – 0,6-0,9% от валовых запасов гумуса в пахотном слое (Попов и др., 1986).

Уровень минерализации гумуса зависит и от гранулометрического состава почв. На легких почвах он возрастает.

Для расчета минерализации гумуса с учетом этих факторов и интенсивности обработки почвы А.М. Лыковым (1976) были введены поправочные коэффициенты.

1) Для тяжелого суглинка коэффициент составляет 0,8; среднего – 1,0; легкого – 1,2; супеси – 1,4; песка – 1,8.

2) Для многолетних трав он равен 1,0; для зерновых и других культур сплошного сева – 1,2; для пропашных – 1,6.

Недостаток данных прямых наблюдений за динамикой органического углерода почвы привел к широкому использованию расчетных методов определения потребности почв в органических удобрениях для обеспечения бездефицитного баланса гумуса.

Наибольшее распространение получил метод расчета баланса гумуса по выносу растениями азота. Метод основан на данных И.В. Тюрина (1957) о том, что гумус почв в среднем содержит 5-6% азота. Поэтому использование растениями 50 кг почвенного азота сопровождается минерализацией примерно 1 тонны гумуса. Исследования с изотопом азота ^{15}N показали, что даже при применении высоких доз минеральных удобрений в среднем 50-60% выноса азота растениями составляет азот почвы. Поэтому, зная величину общего выноса азота,

легко определить, какое количество гумуса может быть минерализовано при возделывании сельскохозяйственных культур с учетом различной интенсивности земледелия.

В практических условиях размер минерализации гумуса можно определить по формуле:

$$Гм = (У_0 K_N + У_0 K_p K_{Np}) \times 0,6 \times 20,$$

где Гм – количество минерализованного гумуса, т/га; $У_0$ – урожай основной продукции, т/га; K_N – вынос азота в пересчете на 1 т основной продукции (с учетом побочной), кг; K_p – коэффициент выхода растительных остатков по отношению к основной продукции; K_{Np} – вынос азота 1 т растительных остатков, кг; 0,6 – усредненный коэффициент выноса азота почвы по отношению ко всему выносу растениями; 20 – коэффициент пересчета азота в гумус.

Все необходимые исходные данные для использования в данной формуле можно найти в обычной справочной литературе для агрономов. Ежегодное восполнение гумуса за счет корневых и пожнивных остатков в среднем составляет (т/га): для зерновых культур – 0,4-0,6, пропашных – 0,2-0,3, многолетних трав – 0,5-1,0.

Предложенный метод удобрен для расчетов, но является весьма условным, так как основан на усредненных приблизительных показателях.

Другой подход к расчету баланса гумуса основан на использовании данных содержания гумуса и коэффициентов минерализации или гумификации органических остатков.

Так, потребность в органическом веществе может быть определена по формуле

$$A = K (H_0 + A),$$

где А – ежегодное внесение органических веществ; H_0 – уровень содержания гумуса в состоянии равновесия, т/га; К – средний коэффициент минерализации органических удобрений, который составляет 0,02 - 0,08 в зависимости от интенсивности земледелия.

Многие исследователи для расчета приходной статьи баланса гумуса учитывают органическую массу, поступающую в почву с удобрениями и корневыми и пожнивными остатками культур, и коэффициенты их гумификации. При этом широко применяются изогумусовые коэффициенты (количество гумуса, образующееся из различных органических материалов в % на сухое вещество).

Для расчета ожидаемых запасов гумуса в почве за звено или полную ротацию севооборота Н.Ф. Ганжара (1978) предлагает следующую формулу:

$$St = (So + Kr \times A \times t) \times (1 - Km),$$

где St – запас гумуса, т/га через t лет; So – исходные запасы гумуса, т/га; Kr – коэффициент гумификации свежих органических веществ в долях единицы (за единицу принимается A); A – количество поступивших в почву свежих органических веществ, т/га; t – время для которого рассчитывают баланс гумуса, лет; Km – коэффициент минерализации гумуса в долях единицы (за единицу принимается величина $So + KrAt$).

Для определения общего объема накопления органических удобрений в хозяйстве можно использовать следующие коэффициенты пересчета на стандартный навоз (Ресурсы органических удобрений в сельском хозяйстве России, 2006):

подстилочный навоз (влажность 75-77%)	– 1,0;
твердая фракция бесподстилочного навоза	– 1,0;
полужидкий навоз (влажность до 92%)	– 0,5;
жидкий навоз (влажность до 97%)	– 0,25;
компост на основе навоза (влажность до 84%)	– 1,0;
птичий помет полужидкий	– 1,4;
солома	– 2,0
сапропели	– 0,8;
дефекат	– 0,8;
сидерат бобовых культур	– 0,7;
сидерат крестоцветных культур	– 0,8.

В настоящее время ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова в сотрудничестве с ведущими сельскохозяйственными институтами разработаны нормативные данные по расчету баланса гумуса, основанные на обобщении имеющихся результатов полевых опытов по основным статьям прихода и статьями расхода для разных типов почв при возделывании различных сельскохозяйственных культур, которые позволяют рассчитать ориентировочный баланс гумуса для различных типов севооборотов.

ГЛАВА 4.

ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Питание растений – процесс поглощения из внешней среды и преобразования питательных веществ в соединения, необходимые для жизнедеятельности растения, передвижение первично поглощённых питательных веществ и их преобразование и локализация в местах последующего использования.

Питание растений – один из важнейших факторов их жизни. В процессе питания происходит обмен веществ между растениями и окружающей средой. Неорганические вещества почвы, атмосферы и воды поступают в растение, где используются в синтезе сложных органических соединений, а ряд веществ выводится из растительного организма в окружающую среду.

Зеленые растения из углекислого газа, воды и простых минеральных солей с помощью солнечной энергии и многочисленных ферментов образуют сложнейшие органические вещества, которые в свою очередь являются пищей для человека и животных. В процессе питания вся зеленая растительность в дневное время выделяет огромное количества кислорода, которым дышат все живые организмы. Поэтому вся жизнь на Земле обусловлена созидательной работой высших и низших растений. О масштабности этого процесса в природе можно судить из следующих данных. Зеленые растения земного шара ежегодно образуют в пересчете на глюкозу до 400 млрд т свежих органических веществ, в том числе 115 млрд т на суше. При этом связывается до 170 млрд т CO_2 и разлагается при фотоллизе в растениях 130 млрд т воды с выделением 115 млрд т свободного кислорода.

Для синтеза органических веществ на земле растения используют до 2 млрд т азота и 6 млрд т зольных элементов. Запасы азота в атмосфере достигают $4 \cdot 10^{15}$ т. Однако они не определяют обеспеченность сельскохозяйственных культур этим элементом, так как растения в основном используют азот почвы, а не атмосферы. В связи с этим продуктивность растений определяется наличием минеральных соединений азота в почве.

Все зольные элементы практически полностью потребляются растениями из почвы, поэтому оптимизация их содержания в почве в доступной для растений форме является одной из важнейших задач агрохимии.

Вода необходима растению в процессе питания не только для фотоллиза, но и в значительно большем количестве для испарения листьями. При образовании 1 ц сухой массы урожая за время вегетации сельскохозяйственные культуры испаряют 300 - 400 ц воды. Эту величину называют коэффициентом транспирации. При неблагоприятных условиях роста растений расход ими воды для образования единицы сухой массы (транспирационный коэффициент) возрастает в 1,5 - 2 раза. При оптимальных условиях питания растений азотом и зольными элементами расход воды при транспирации может снижаться на 15 - 20% и более.

ТИПЫ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Существует автотрофный и симбиотрофный (микотрофный и бактериотрофный) типы питания растений.

В большинстве случаев у растений преобладает *автотрофный* тип питания (греч. «троф» – «пища»), т.е. самостоятельное обеспечение неорганическими элементами и азотом почвы и углекислым газом, из которых синтезируются органические вещества. Кроме зеленых фотосинтезирующих растений к автотрофным организмам относятся некоторые бактерии, осуществляющие углеродное питание путем фотосинтеза или хемосинтеза.

Автотрофные организмы не нуждаются в поступлении извне готовых органических веществ, а в процессе углеродного питания (фотосинтеза) из углерода CO_2 воздуха осуществляют их первичный синтез, т.е. заново создают органические соединения.

При *симбиотрофном* типе питания высшее растение тесно сожительствует с другими организмами (симбионтами). Симбиоз выработался в процессе исторического развития организмов как полезная для них форма отношений. При симбиотрофном типе питания наблюдается взаимное использование продуктов обмена веществ для питания. Границы симбиоза не всегда определены, поэтому часто трудно определить пользу, приносимую одним организмом другому.

При симбиозе высшего растения с грибами устанавливается микотрофный тип питания. Микориза гриба обеспечивает высшее растение водой и растворенными в ней минеральными солями и другими

веществами, грибы же используют углеводы и другие органические соединения, синтезируемые высшим растением. Биологическое значение микоризы заключается также и в увеличении поглощающей поверхности корней высшего растения за счет развития мицелия гриба. В последние годы открыты микоризные грибы, улучшающие питание высших растений фосфором, особенно на почвах с низким содержанием доступного фосфора. С увеличением содержания этой формы фосфора эффективность инокуляции растений микоризой снижалась. Широкое изучение этого симбиоза и использование в практике земледелия позволяют сократить использование дефицитных промышленных фосфорных удобрений. Так, в полевом опыте в Уэльсе при известковании и подкормке фосфором урожай сухого вещества клевера, инокулированного микоризой, был втрое выше, вдвое увеличилось образование побегов, а образование клубеньков ризобиума возросло в 5 раз. Аналогичные данные получены на почвах, бедных доступным фосфором, в Тропической Африке, Бразилии, Австралии и Испании.

Наиболее наглядным примером *бактериотрофного* типа питания растений является симбиоз клубеньковых бактерий (ризобиум) с бобовыми растениями. При создании условий, обеспечивающих эффективный симбиоз, величина биологической фиксации азота достигает несколько сотен килограммов на 1 га в год.

В период интенсивной химизации земледелия возрастает использование уникальной способности бобовых растений и микроорганизмов к связыванию молекулярного азота атмосферы. Определение оптимального соотношения биологического и технического азота позволяет правильно сбалансировать круговорот этого элемента в земледелии и не вызвать нарушения равновесия в окружающей среде, т.е. более успешно решать экологические проблемы агрохимии азота. Поэтому биологическая фиксация атмосферного азота представляет большой как научный, так и практический интерес.

Трудно переоценить этот важнейший дар природы с неограниченными ресурсными возможностями. Над каждым гектаром суши и водной поверхности земного шара содержится 80 тыс. т азота, который становится доступным растениям благодаря их симбиозу с клубеньковыми бактериями, живущими на корневой системе бобовых. Ежегодно биологическим путем в почве в результате симбиоза бактерий с бобовыми растениями фиксируется $40 \cdot 10^6$ т азота.

Развитие растения зависит от окружающей среды. Наиболее благоприятные условия для максимальной продуктивности и наилучшего

качества урожая создаются при оптимальном сочетании питательных веществ, водообеспеченности, температуры, освещенности, воздуха. На кислых или солонцеватых почвах важным условием является нейтрализация кислотности или щелочности почвенного раствора. В практике, как правило, в большинстве случаев отсутствуют оптимальные условия питания и роста растений. Их необходимо создать в соответствии с биологическими требованиями растений.

Главная задача земледелия – создать растениям оптимальные условия питания, водоснабжения, необходимый воздушный режим почвы, а также наилучшую для данной культуры реакцию почвенного раствора. Только в этом случае можно получить наибольший агрономический эффект от применяемого комплекса мероприятий. Например, при обеспечении оптимальных условий питания применением удобрений растения более экономно расходуют влагу на создание единицы урожая. Коэффициент транспирации при этом снижается на 15 - 20% и более, что особенно важно в районах недостаточного увлажнения. С другой стороны, окупаемость удобрений дополнительным урожаем резко возрастает при хорошем водоснабжении растений, в том числе и при орошении. Известны многочисленные случаи отсутствия положительного действия удобрений на кислых и солонцеватых почвах. Устранение же щелочности или кислотности почвы, как правило, резко повышает эффективность удобрений.

При создании хороших условий питания растений недооценка того или иного фактора развития растений неминуемо приводит к неудаче. Для растения все факторы важны, поэтому в каждом конкретном случае необходимо знать, какого из них не хватает. Например, в северных районах, характеризующихся обильным естественным увлажнением, но малоплодородными почвами, растения нуждаются прежде всего в достаточном обеспечении питательными веществами. Здесь часто не хватает также тепла и воздуха, что приводит к необходимости применения мер борьбы с избыточным увлажнением. На кислых почвах резко снижается эффективность удобрений, такие почвы необходимо известковать.

В южных районах, особенно на обыкновенных южных чернозёмах и каштановых почвах, обладающих высоким потенциальным плодородием, урожай в меньшей мере лимитируется недостатком питательных веществ. Фактором, ограничивающим урожай, чаще всего здесь является недостаток влаги. На этих высокоплодородных почвах при благоприятном естественном увлажнении создается возможность для реализации потенциальной продуктивности сельскохозяйственных культур.

Полив и создание оптимальных условий питания растений применением удобрений способствуют получению в этих районах максимального урожая. Наличие же большой суммы положительных температур и солнечных дней позволяет на значительной площади южных районов России, Казахстана и Украины получать по два урожая в год. Там, где этому препятствует засоление почвы, необходимо применять гипсование и другие меры, снижающие щелочность солонцовых почв.

Растение питается через корни и листья. Через листья осуществляется углеродное питание растений (фотосинтез), т.е. происходит ассимиляция зелеными листьями углекислого газа из атмосферы с помощью солнечной энергии. Поэтому фотосинтез называют ещё воздушным питанием растений. Через корни растение поглощает и усваивает из почвы воду и различные ионы минеральных солей, а также незначительные количества некоторых органических веществ. В настоящее время благодаря применению метода меченых атомов наши знания о теории питания растений значительно углублены и расширены. Исследования показали, что деление на корневое и воздушное питание условно, так как одни и те же вещества способны поглощаться как корнями, так и листьями. Например, углекислота поступает в растение через корни в такой же мере, как и через листья, и может участвовать в синтезе органических соединений. Сера также поступает в растение через корни в виде солей серной кислоты. Позже благодаря использованию радиоизотопа серы было доказано, что растения способны усваивать и окислы серы (SO_2 , SO_3), поступившие через листья из воздуха.

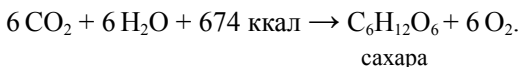
Долгие годы считалось, что только в листьях происходит образование сложных органических веществ. Однако благодаря методу меченых атомов ученые установили, что и в корнях протекают активные синтетические процессы с образованием сложных органических соединений. Придавая огромное значение в создании органических веществ листу растения, К.А.Тимирязев писал: «Можно сказать, что в жизни листа выражается самая сущность растительной жизни, что растение – это лист». Учитывая современные достижения науки о питании растений и синтезе органических веществ, следует сказать, что лист и корень – вот сущность растения, ибо в них сосредоточены две синтетические лаборатории, взаимно дополняющие и обуславливающие работу друг друга. Например, минеральные соли могут поглощаться и усваиваться растениями не только через корни, но и через листья. Поступление питательных элементов в растения через надземные органы называют некорневым питанием растений. Это

послужило развитию широкого применения некорневых подкормок, от которых часто не только повышается урожай, но и улучшается его качество.

Эти два вида питания растений тесно взаимосвязаны. Например, недостаток питательных веществ в почве задерживает образование органических соединений в листьях, что в свою очередь тормозит рост растений, снижает их продуктивность.

ВОЗДУШНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ (ФОТОСИНТЕЗ)

Фотосинтез – процесс образования преимущественно безазотистых органических веществ (углеводов) растениями из углекислоты атмосферы и воды почвы при участии солнечных лучей:



Кроме того, фотосинтез является первоисточником энергии, необходимой для поступления минеральных веществ через корни и передвижения их по растению. В среднем растения содержат 45% углерода, 42 – кислорода и 6,5% водорода.

Солнечная энергия, поглощаемая в процессе фотосинтеза, расходуется на разложение воды на кислород и водород. Освободившийся кислород частично используется на дыхание растений, а большая часть его выделяется в атмосферу. Что касается водорода, то он дает, по-видимому, начало еще не изученным веществам, которые активно присоединяют углекислый газ без предварительного разложения его на углерод и кислород.

Образовавшиеся в процессе фотосинтеза простые сахара представляют исходный материал для синтеза сложных углеводов: сахарозы $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, крахмала $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$, клетчатки $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$, а также белков, жиров, органических кислот и др. Прямыми продуктами фотосинтеза могут быть не только углеводы, но и некоторые органические вещества, в частности белки. Углеводы и белки образуются в листьях не сразу, а в результате превращения в хлоропластах первичного продукта, природа которого недостаточно ясна.

Направленность действия фотосинтетического аппарата зависит от видовых особенностей растения, возраста отдельных листьев и всего растения, интенсивности и качества света (красный свет – углеводы, синий – белки), уровня азотного питания и др. Существуют два пути синтеза белка: не зависящий от света (связано со сложными процессами вторичного превращения углеводов) и фотосинтетический (протекает только на свету в хлоропластах и не связан с превращением углеводов).

В процессе фотосинтеза растения, используя солнечную энергию, из углекислого газа, поступающего из атмосферы через листья, воды и минеральных солей, поглощаемых корнями, синтезируют сложнейшие органические вещества. Каждое растение синтезирует одно или несколько органических веществ, которые представляют наибольший интерес для питания человека, например белок и крахмал в зерновых и зернобобовых культурах, сахар в сахарной свекле, крахмал в картофеле, жиры в подсолнечнике, клетчатка в хлопчатнике и льне-долгунце и т.д. Задача состоит в том, чтобы создать оптимальные условия для максимального накопления питательных веществ, исходя из биологических особенностей каждой сельскохозяйственной культуры.

Образование органических веществ в процессе фотосинтеза происходит с поглощением большого количества солнечной энергии. Однако лишь небольшая ее часть (2-4%), попадающая на поверхность вегетирующих растений, используется ими на синтез органических веществ. Остальная часть солнечной энергии используется на транспирацию, а также, отражаясь, бесследно теряется в атмосфере. За период вегетации растение испаряет воды в 300-500 раз больше, чем вес его сухого урожая. Растение испаряет воду для охлаждения. Процесс испарения связан с большой затратой тепла. На испарение листьями расходуется не менее 25, а в южных районах до 70-95% энергии солнечных лучей, попадающих на растение. Это приблизительно в 10-45 раз больше, чем запасается в урожае растений.

Одна из важнейших задач биологов, физиологов и биохимиков – изыскать приемы резкого повышения коэффициента использования солнечной энергии, попадающей на землю. К.А. Тимирязев по этому поводу писал: «Если последствия хищнического хозяйства, произвольно удаляющего из почвы питательные вещества, и поправимы тем или иным способом, путем удобрения земли, то окончательно непоправимо только расточительное, неумелое пользование главным источником народного богатства – солнечным светом».

Регулирование процесса фотосинтеза и изыскание приемов, направленных на значительное повышение коэффициента использования солнечной энергии, – важный путь резкого повышения продуктивности земледелия, а следовательно, увеличения количества и качества сельскохозяйственных продуктов. Над решением этих задач работают многие ученые в нашей стране и за рубежом. С энергетической точки зрения фотосинтез можно рассматривать как грандиозный по масштабам процесс улавливания кинетической энергии солнца и превращения ее в потенциальную энергию урожая.

Благодаря солнечному теплу создаются оптимальные температурные условия для прорастания семян, роста растений и формирования высококачественной продукции. Основная часть органических веществ в растении образуется путем вторичного превращения продуктов фотосинтеза в нем. Первичные же продукты фотосинтеза, по-видимому, возникают не при простом присоединении водорода к углекислоте и последующем уплотнении, а через цепь различных превращений с участием многих ионов минеральных солей и различных биологических катализаторов. Но вместе с тем углеводы в растениях являются важнейшими первичными исходными веществами, из которых при различных сочетаниях с другими химическими элементами и при участии соответствующих ферментов возникают новые сложные органические соединения (белки, жиры, органические кислоты и т.д.). Эти органические вещества являются незаменимой пищей для животных и человека.

Таким образом, углерод, кислород и водород – основные элементы углеводов и других более сложных исходных органических продуктов для всех последующих биохимических синтетических процессов. С участием кислорода и водорода совершаются и важнейшие окислительно-восстановительные энергетические процессы.

Для образования вторичных сложных органических веществ из первичных продуктов фотосинтеза необходима энергия, возникающая в растении в результате дыхательных процессов. Сущность дыхания можно свести к окислению углеводов кислородом. Этот процесс противоположен фотосинтезу: если фотосинтез сопровождается поглощением и накоплением в растении тепла, то процесс дыхания – выделением тепла. Его можно представить следующим уравнением:



Выделяющаяся при дыхании энергия используется на различные жизненные процессы в растениях: 1) синтез других органических веществ, более богатых потенциальной энергией (например, жиров, белков и т.д.); 2) поглощение корнями различных солей и воды из почвы и передвижение их к листьям, а от последних – к растущим частям (ростовым точкам, цветкам, семенам, клубням и другим органам); 3) совершение корнями работы в почве при их росте. Энергия дыхания используется также и для того, чтобы ростки растений могли преодолеть сопротивление почвы и появиться на поверхности земли. Жизненные процессы растения весьма многообразны, но все они происходят благодаря дыханию.

В растительных организмах запасается 60 - 70% энергии, которая может быть использована в процессах, связанных с увеличением

свободной энергии, а 30-40% составляет тепловая энергия, выделяющаяся при окислении органических соединений. Большая часть ее освобождается при окислении содержащих водород соединений молекулярным кислородом с образованием воды. Эти процессы протекают в определенные фазы цикла ди- и трикарбоновых кислот.

Рассмотрим, в какой форме в организме накапливается, переносится и используется энергия, необходимая для образования в растениях сложных органических веществ вторичного происхождения. Энергия, выделяемая в процессе реакции окисления веществ, не превращается сразу в тепловую, а переходит в особый вид химической энергии. Такой специфической формой накопления энергии являются макроэргические фосфатные связи аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) и других макроэргических соединений. Образование АТФ с макроэргическими фосфатными связями является наиболее важной стадией превращения энергии в живых организмах – использование свободной энергии, выделяемой при расщеплении веществ.

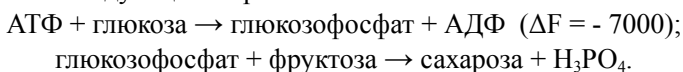
Макроэргические фосфатные связи и макроэргические соединения можно разделить на две основные группы:

1) глицерофосфат, 3-фосфоглицериновая кислота, глюкозо-6-фосфат, фруктозо-6-фосфат и некоторые другие соединения (у соединений этой группы величина свободной энергии гидролиза фосфатной связи колеблется от 0,8 до 3,0 ккал на 1 М);

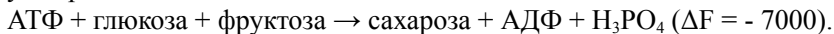
2) аденозинтрифосфорная кислота (АТФ), аденозиндифосфорная кислота (АДФ), 1,3-дифосфоглицериновая кислота, фосфоэнолпирииноградная кислота и некоторые другие вещества (у соединений этой группы величина свободной энергии гидролиза фосфатной связи колеблется в пределах от 6 до 16 ккал на 1 М).

В живых организмах основное значение среди макроэргических соединений принадлежит аденозинтрифосфорной кислоте. Другие же макроэргические соединения очень часто служат лишь промежуточными переносчиками энергии.

Во всех реакциях обмена веществ энергия может использоваться только при сопряжении процессов освобождения энергии с ее использованием, а передача энергии от одной системы реакции к другой может быть лишь в том случае, когда две реакции идут последовательно и имеют общие промежуточные продукты. Например, образование сахарозы требует большого количества энергии и может протекать сопряженно с гидролизом АТФ. Механизм этот можно представить следующим образом:



Суммарно:



Такой же механизм лежит в основе других синтетических процессов образования крахмала из глюкозы, белков из аминокислот и др. Передача энергии и перенос фосфатных групп в этих процессах обеспечиваются участием в реакциях АТФ.

Важно отметить, что все биологические реакции протекают при температуре живого организма и энергия, которая затрачивается при этих реакциях, в большинстве случаев доставляется или запасается в виде макроэргических фосфатных связей. Это одно из отличий биохимических реакций от обычных химических, когда основная часть энергии выделяется или поглощается в виде тепловой энергии, а реакции, как правило, протекают при высоких температурах. Следовательно, фотосинтез, при котором растение потребляет основную часть углерода, водорода и кислорода с помощью солнечной энергии, создавая органические соединения, тесно связан с корневым питанием растений, обеспечивающим его соединениями азота и зольными веществами. В процессе же дыхания образуется энергия, используемая в синтезе более сложных органических соединений вторичного происхождения. Процессы образования органических веществ в растениях тесно связаны с процессами обмена энергии в растительном организме, важным звеном которого является образование аденозинтрифосфорной кислоты как носителя энергии с макроэргическими фосфатными связями.

Нельзя не отметить большую роль воды в питании растений. Она часто составляет 80-90% массы живого растения. Все растительные органы и ткани сохраняют свою жизнедеятельность при достаточном содержании в них воды. Вода в растительном организме – не только среда, но и непосредственный участник биохимических реакций. Она может быть связующим звеном между частями белковых молекул. В клетках и тканях растений вода имеет определенную структуру и является связующим каркасом цитоплазмы клетки. Белки и молекулы других сложных органических веществ благодаря воде гидратируются в протоплазме в определенные структурные агрегаты, превращаются в студнеобразные комплексы, придавая им определенные коллоидные и физико-химические свойства. В них протекают важнейшие процессы обмена веществ. Только при оптимальном водном режиме растение способно к рациональному использованию питательных веществ и максимальной продуктивности.

Резкий недостаток влаги в растениях приводит к нарушению всех жизненно важных процессов, а потеря ее сверх определенного

предела неизбежно ведет к необратимым изменениям в организме и его гибели. Для поддержания нормального тургорного состояния растений необходим постоянный приток влаги, осуществляемый через корни из почвы. Если растение не обеспечивается оптимальным количеством воды, то происходит завядание молодых органов растений, при котором падает тургор и наступает плазмолиз клетки.

При дефиците влаги резко снижается интенсивность фотосинтеза и роста растений вплоть до полного прекращения, так как происходят процессы гидролиза и распада органических веществ, нарушается согласованная работа ферментативного аппарата. Для поддержания нормальной жизнедеятельности растений и оптимальной температуры поверхности листьев необходима постоянная транспирация воды растением.

Растения обычно приспособлены к временному дефициту влаги, но длительная засуха резко отрицательно влияет на их развитие. Действие засухи проявляется в первую очередь в водном дефиците, появляющемся при преобладании испарения над поступлением воды в растения. В этом случае происходит потеря не только свободной воды, но и коллоидно-связанной, что ведет к нарушению биохимических процессов: снижается адсорбционная способность коллоидов, степень их обводненности, вязкость протоплазмы; подавляется синтез белков и хлорофилла; нарушается фосфорный обмен; происходит распад нуклеиновых кислот, фосфатидов, нуклеопротеидов; резко снижается переход минерального фосфора в органические соединения; уменьшается отношение органического фосфора к минеральному. Температура выше критического уровня и дефицит влаги приводят к нарушению структурных элементов клетки, прекращается митоз, разрушается ядро клетки и параллельно происходит деградация ДНК.

В сухие жаркие годы с суховеями процесс фотосинтеза у растений возможен только в ранние утренние и вечерние часы. В остальное же время идет усиленная трата пластических веществ и энергии на сопротивление и защитные реакции. При этом происходят нарушение баланса между притоком и тратой макроэргических фосфорных соединений типа АТФ, снижение энергетического потенциала, обусловленного непроизводительной тратой аккумулированной энергии. Высокий окислительный потенциал в клетке приводит к бурному окислительному разрушению углеводов, белков, в связи с чем в тканях растений накапливается аммиак и наступает их отравление.

Представляет интерес взаимосвязь между питанием растений и водным режимом. Неоднократно отмечалось положительное влияние фосфора и калия на обводненность коллоидов протоплазмы и

снижение расхода влаги на транспирацию. Ткани растений, достаточно обеспеченные фосфором, характеризуются большой водоудерживающей способностью. У таких растений более устойчивый водообмен, что обусловлено увеличением общего содержания осмотически- и коллоидно-связанной воды, повышенной гидратацией компонентов протоплазмы. Особенно отчетливо действие фосфора на эти процессы проявляется в условиях недостаточного водоснабжения в ранние периоды развития растений. Этим в некоторой степени объясняется высокая эффективность рядкового внесения суперфосфата. Кроме этого, в ранние фазы роста в растениях более активно идут процессы синтеза органических соединений, и особенно нуклеиновых кислот.

Поступление фосфора в растение зависит от температуры. Многими исследователями неоднократно отмечалось увеличение поступления фосфора при повышении температуры среды в сухие годы. Однако при особо засушливых условиях наблюдается и обратный отток фосфора из надземных органов в корни и почву. Исследования показали, что при кратковременном же (4 ч.) воздействии высоких температур в пределах 37-41°C и влажности воздуха 16-19%, т.е. в условиях суховея, растения пшеницы, выращенные на фоне фосфорно-калийного удобрения, обладали более высоким осмотическим давлением, большим содержанием воды в тканях. Такие растения более устойчивы к обезвоживающему действию суховея, что обусловлено положительным влиянием фосфора и калия на гидрофильные свойства протоплазмы.

Засуха ухудшает и почвенные условия: происходит повышение осмотического давления почвенного раствора, что ведет к проявлению токсического действия удобрений, особенно азотных. Это подтверждается многочисленными данными об отрицательном действии азотных удобрений на урожай растений в засушливые годы.

Повышение концентрации фосфора в почвенном растворе не оказывает вредного влияния на растения. Фосфор, а иногда и калий положительно влияют на растение во временно засушливых условиях, но они не могут снять отрицательного влияния длительной сильной засухи. Такое влияние можно предотвратить лишь комплексом мероприятий, в котором решающую роль должны играть усиление водоснабжения растений, улучшение водоиспользования. Наиболее радикальным путем создания оптимального водного режима растений в засушливых условиях является орошение. В неорошаемых условиях определенное значение имеют агротехнические приемы, направленные на улучшение режима влажности почвы: задержание снега

и талых вод, создание мощного пахотного слоя с хорошо развитой агрономически ценной структурой, использование чистых паров, применение кулис, борьба с сорной растительностью. В этих условиях возрастает положительная роль фосфорно-калийных удобрений.

Несмотря на то что человек пока не располагает достаточно активными средствами влияния на усиление продуктивности фотосинтеза в такой мере, как, например, на улучшение почвенного плодородия почвы и минерального питания растений, необходимо постоянно изыскивать пути и приемы, позволяющие получать планируемые высокие урожаи.

Уже сейчас применяют многие агротехнические мероприятия, позволяющие косвенным путем существенно повышать продуктивность фотосинтеза, а следовательно, и накопление органических веществ. Например, при недостаточном обеспечении растений минеральным питанием, а также при плохом водоснабжении ассимиляционная поверхность листьев растений в посевах в большинстве случаев не достигает оптимальных величин, и значительная часть солнечной энергии падает не на листья, а на почву, т.е. расходуется непроизводительно. При регулировании условий выращивания растений ассимиляционная поверхность листьев может колебаться от 5-6 до 40-50 тыс. м² на 1 га. Изреженные посевы могут поглотить только 20-25% падающей на них фотосинтетически активной радиации, а используют на фотосинтез только 1-2% от поглощенной. Хорошие же посевы за вегетационный период могут поглощать 50-60% падающей на посевы фотосинтетически активной радиации и накапливают в органических веществах урожая всего 2-3% от поглощенной энергии. А между тем теоретически возможно использование 20-25% фотосинтетически активной радиации, поглощаемой листьями. Что это значит? Если даже коэффициент использования поглощенной энергии на фотосинтез повысить до 6-8%, то расход воды на создание 1 т сухого вещества снизится с 400-500 до 75-100 т.

Главная задача генетиков и селекционеров – создание более продуктивных сортов, обладающих высокой фотосинтетической способностью. Условия процесса фотосинтеза и использования солнечной радиации в значительной мере определяют биологический и хозяйственный урожай. Например, при неблагоприятных условиях развития надземной массы и формирования ассимиляционной поверхности урожай зерна составляет около 10 ц/га, при нормальных условиях – 25-40, а в очень хороших условиях – 50-70 ц/га и более.

МИНЕРАЛЬНОЕ (КОРНЕВОЕ) ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Поглощение воды и питательных веществ через корни, т.е. корневое питание, тесно связано с углеродным питанием растений через листья. Хотя с энергетической точки зрения фотосинтез представляет собой процесс улавливания громадного количества солнечной энергии и превращения ее в потенциальную энергию урожая, успешно протекать он может только при оптимальных условиях корневого питания. Фотосинтез и корневое питание, в сущности, единый, хотя и многоступенчатый процесс поглощения растениями необходимых питательных веществ из внешней среды, превращения воды, углекислоты и минеральных солей в многочисленные органические соединения с утилизацией солнечной энергии и при участии ферментов.

В состав растения входят почти все элементы периодической системы Д.И. Менделеева, присутствующие в почве и в воздухе. В них обнаружено более 75 химических элементов.

В зависимости от содержания элементов в растениях их подразделяют на макроэлементы, микро- и ультрамикроэлементы.

К **макроэлементам** относятся необходимые элементы, содержание которых в растениях варьирует от десятков до сотых долей процента ($n\% - 10^{-2}\%$): С, Н, О, N, P, К, Са, Mg, Na, S.

К **микроэлементам** относятся: В, Cu, Zn, Mn, Mo, Co, Se и Fe. Их содержание в растениях колеблется в пределах $10^{-2} - 10^{-5}\%$. Они входят в основном в состав многочисленных ферментов.

Ультрамикроэлементы содержатся в растениях в количестве менее $10^{-5}\%$. Их физиолого-биохимическая роль до настоящего времени четко не установлена. В малых количествах они присутствуют в воде, воздухе, солях используемых в качестве удобрений, в материале сосудов, используемых для проведения вегетационных опытов и других средах. К ультрамикроэлементам относятся Ag, Au, Cr, Ni, W, Br, U, Rb, Cs и др. Значение этих элементов в жизни растений очень мало изучено. Кроме перечисленных элементов растения поглощают и другие вещества, находящиеся в почве, которые, хотя и не являются необходимыми, но могут в одних случаях действовать на растения положительно, а в других – отрицательно.

Об ультрамикроэлементах можно сказать, что никто экспериментально не доказал и никто не опроверг их физиологическую значимость для растений, поэтому к ним на таком же основании можно отнести все химические элементы не вошедшие в группу макро- или микроэлементов.

При сжигании органического вещества все элементы, кроме азота, остаются в золе, поэтому их часто называют зольными элементами. С водой в растение поступают кислород и водород.

Незаменимыми являются такие элементы питания, без которых растения не в состоянии завершить свой жизненный цикл «от семени до семени». Эти элементы называются биогенные или биофильные. Каждый из них выполняет в растении определенную биохимическую и физиологическую роль. Отсутствие или острый недостаток необходимого элемента вызывает глубокие нарушения биохимических процессов обмена веществ, приводящих к морфологическим изменениям органов и гибели растений.

При выращивании растений в различных почвенно-климатических условиях потребность их в каждом питательном элементе неодинакова. Почти повсеместно для формирования высокого урожая сельскохозяйственных культур, прежде всего, требуются азот, фосфор и калий. Потребность в кальции возникает на кислых почвах со слабой буферностью и низкой степенью насыщенности основаниями. Высокое действие магния часто наблюдается на легких почвах дерново-подзолистой зоны.

В настоящее время некоторые исследователи считают необходимым внесение в почву серы как элемента питания растений. Однако этот вопрос требует обстоятельного изучения, особенно в связи со значительным количеством серы, выпадающей на почву в промышленно-индустриальных центрах.

Эффективность отдельных микроэлементов зависит от природных условий зоны. Положительное действие цинка, марганца и железа отмечается на нейтральных почвах степной зоны, особенно на карбонатных чернозёмах, а на почвах дерново-подзолистой зоны растения часто страдают от избытка этих элементов. В лесостепной и степной зонах редко можно наблюдать доказуемую прибавку урожая от применения меди как микроудобрения, за исключением некоторых опытов с кукурузой. На осушенных же болотных торфяных почвах нельзя получить хороший урожай зерновых культур без применения медных удобрений.

Нельзя не отметить почти повсеместного положительного действия молибдена на урожай бобовых культур, что связано с участием этого элемента в физиолого-биохимических процессах фиксации молекулярного азота атмосферы клубеньковыми бактериями этих растений. Но эффективность этого элемента в различных почвенно-климатических условиях совершенно различна, что объясняется неодинаковым содержанием подвижных форм молибдена в почвах.

Необходим дифференцированный научный подход к разработке оптимальных условий питания растений и, конечно, специальное изучение роли каждого питательного элемента.

В настоящее время состав и количество, а также формы соединений, в виде которых минеральные вещества должны даваться растениям, хорошо изучены (табл. 4.1). Об этом свидетельствует богатый опыт выращивания различных растений в водных и песчаных культурах и на гидропонике, где на питательных смесях из минеральных солей можно получить рекордно высокие урожаи.

Растения могут для питания использовать и органические соединения: аминокислоты, органические кислоты, сахара, сахарофосфаты и др. При использовании азота аминокислот внутри растения происходит их дезаминирование, и освободившийся аммиак далее подвергается тем же превращениям, что и поглощенный корнями ион аммония. Значительно сложнее вопрос: как питаются растения?

Несмотря на то, что изучению механизма поглощения ионов, их передвижению и превращению в растениях посвящено много исследований, в этом отношении еще много неясного (рис. 4.1).

Большинство исследований по изучению роли питательных веществ и их превращения в растениях проводилось в условиях, когда складывался дефицит того или иного элемента путем исключения его из питательной среды.

К концу XX столетия изучение процесса минерального питания: поглощения, передвижения веществ в растении – стали исследовать не только при дефиците того или иного элемента, но и при повышен-

4.1. Основные формы потребления элементов питания растениями (Кидин, 2008)

Элемент	Основные ионы	Элемент	Основные ионы
Азот	NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-	Марганец	Mn^{2+} , MnO_4^- , Mn^{4+}
Алюминий	Al^{3+} , $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$	Медь	Cu^{2+} , Cu^+
Бор	H_2BO_3^- , $\text{H}_4\text{BO}_7^{2-}$	Молибден	MoO_4^{2-}
Железо	Fe^{2+} , Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$	Натрий	Na^+
Калий	K^+	Селен	SeO_4^{2-}
Кальций	Ca^{2+}	Сера	SO_4^{2-} , SO_2
Кобальт	Co^{2+} , Co^{3+}	Фосфор	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}
Кремний	H_3SiO_4^- , HSiO_3^-	Цинк	Zn^{2+}
Магний	Mg^{2+}		



Рис. 4.1. Основные вопросы и разделы физиологии минерального питания растений (по А.Н. Павлову)

ном обеспечении растений элементами минерального питания. Это связано с необходимостью выяснения условий минерального питания, при которых реализуются потенциальные возможности продуктивности растения.

Основные органы, с помощью которых растение питается, – это лист и корень. Последний выполняет несколько функций, прежде всего, поглощения минеральных веществ и воды из почвы. Другой важной функцией корня является переработка поступивших ионов: их восстановление и включение в различные органические соединения, в том числе и биосинтез физиологически активных соединений.

У корней сильно развиты поверхность и длина периферийных, наиболее глубоко проникающих частей, но масса их незначительна. Благодаря им рассеянные в субстрате элементы минерального питания откладываются в верхних горизонтах почвы, где находится основная масса корней. Растение является, таким образом, не только потребителем почвенного плодородия, но и важнейшим его создателем.

От функции различных участков корня зависит целый ряд агротехнических приемов: глубина и характер заделки удобрений, глубина и ширина культивации при уходе за растениями, глубина основной обработки почвы и т.д.

При прорастании зерновки трогается в рост главный зародышевый корень, затем появляются несколько новых зародышевых корешков. После начала кущения от стебля у основания листьев образуются узловые или придаточные корни, которые формируют вторичную корневую систему, выполняющую ту же функцию, что и зародышевые корни. Каждый корень имеет три основные зоны:

1) зону роста и растяжения длиной 1,5 мм – именно за счет деления клеток этой верхушечной меристемы происходит рост корня;

2) зону корневых волосков, или всасывания, характеризующуюся наличием особых выростов – корневых волосков длиной до 1 мм, а длина самой этой зоны 1 - 2 см;

3) зону боковых корней.

В полевых условиях выращивания основное значение в питании растений принадлежит зоне корневых волосков, так называемой поглощающей зоне.

Скорость поступления и передвижения питательных элементов в растении в сотни раз больше скорости таких физических явлений, как диффузия и осмос. Например, с помощью меченого углерода ¹⁴C установлено, что углекислота из корней в листья передвигается за 10 - 15 мин. Скорость передвижения продуктов фотосинтеза из

листьев в корни 40 - 100 см/ч. Еще быстрее поступают через корневую систему растений элементы питания, в том числе и внесенные в почву удобрения. Например, при погружении ячменя корнями в раствор, содержащий меченый фосфор ^{32}P , его находили в листьях через 5 мин. Из корешков четырнадцатидневной кукурузы он поступал в листья через 2 мин. Такая же скорость передвижения питательных элементов из почвы в корни и листья растений наблюдалась в опытах с пшеницей и другими культурами. Но вместе с тем скорость поглощения питательных веществ существенно изменяется с возрастом корня. Так, по мере старения растений кукурузы (с 20 до 80 дней) скорость поглощения N, P, K, Ca и Mg уменьшается в десятки раз и более.

Хотя молодые растения в абсолютных количествах поглощают во много раз меньше элементов минерального питания, чем взрослые, почва должна иметь высокое содержание этих элементов, чтобы достаточно удовлетворять высокую потребность корня в питательных веществах на ранних этапах его роста. При повышении концентрации питательных веществ в почве корни усиливают их поглощение. Например, при снабжении небольшой пряди корней легкодоступной фосфорной кислотой в повышенной концентрации интенсивность поглощения фосфора этой небольшой частью корней резко увеличивается. Это объясняет эффективность локального внесения удобрений, несмотря на то что в контакт с удобрениями входит небольшая часть корней.

Изучение функции зародышевых и узловых корней показало важную роль узла кушения в распределении воды и минеральных веществ. Узел кушения состоит из рыхлой пористой паренхимной ткани, поэтому вещества, передвигающиеся по проводящим путям корней, легко переходят из одного проводящего сосуда в другой и, следовательно, могут быть использованы любой надземной частью растений. Корни узла кушения обладают высокой поглотительной способностью и играют более значительную роль в питании растений, чем первичные (зародышевые) корни. Особенно возрастает их роль в период кушения злаков, когда происходит усиленное ветвление узловых корней. Зародышевые корни частично участвуют в питании растений и на более поздних этапах развития. Таким образом, различные зоны корня различаются по способности к поглощению ионов.

Корни являются не только органами поглощения минеральных элементов и воды. Они обладают синтетической способностью. В них

образуются многие органические соединения: белки, аминокислоты, амиды, алкалоиды, фитогормоны, в частности цитокинин, и др. (рис. 4.2).

Поглощение элементов минерального питания растениями в зависимости от характера затрачиваемой энергии может быть активным и пассивным. Активное поглощение требует затрат метаболитов

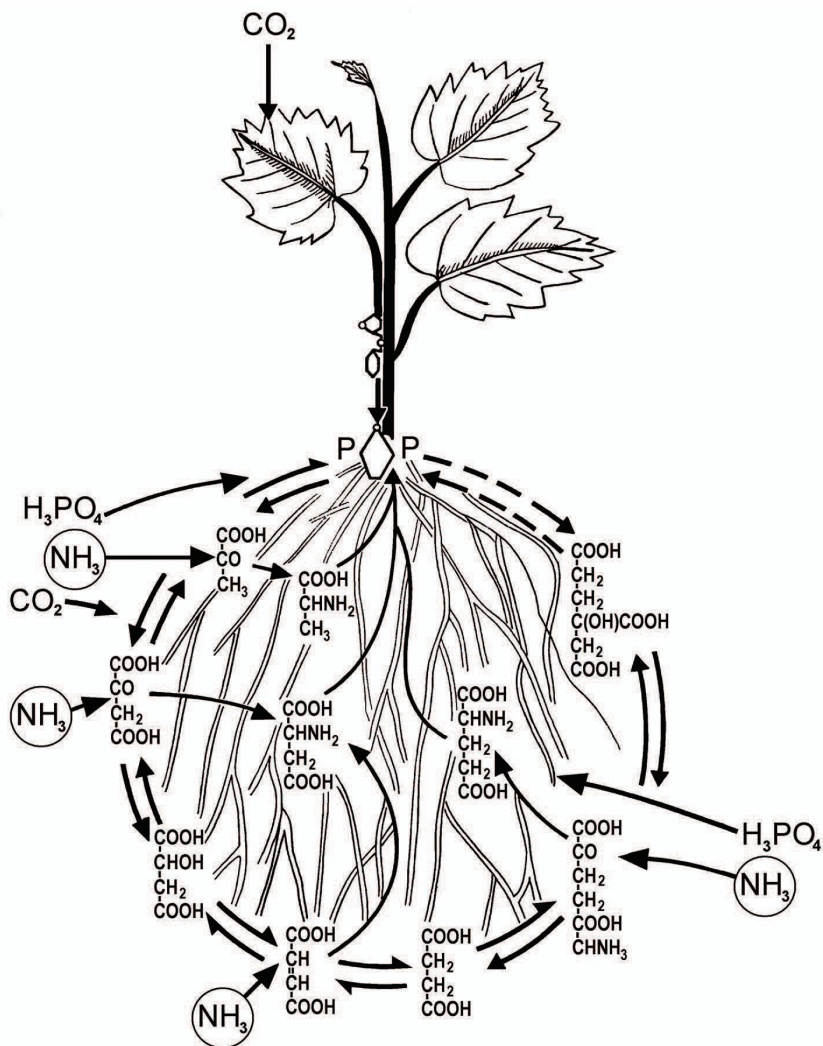


Рис. 4.2. Круговорот веществ и метаболическая роль корней

ческой энергии, пассивное же поглощение происходит без затрат метаболической энергии, оно совершается за счет энергии тепловой диффузии или за счет солнечной энергии.

Активное поглощение и передвижение ионов осуществляются по системе, состоящей из протопластов клеток, связанных между собой тяжами протоплазмы – плазмодесмами. При пассивном передвижении ионы, достигнув поверхности корня, либо посредством массового тока, либо посредством диффузии попадают в свободное пространство корня и далее с транспирационным током передвигаются по растению. Клетки растений (в отличие от животных клеток) имеют рыхлые целлюлозные оболочки, которые, соединяясь между собой, образуют непрерывную систему, так называемый апопласт. По этой системе вследствие транспирации воды листьями и происходит ее движение и растворенных в ней веществ.

Ионы в свободном пространстве передвигаются и посредством диффузии. Диффузия всегда происходит от большей концентрации к меньшей. Процесс этот медленный, например краска флуоресцеин диффундирует за 1 ч на 5 мм, за 24 ч – на 25 мм, а за год – на 50 см. Поэтому диффузия не играет роли в передвижении растворимых веществ в растении на большие расстояния, например из корня в лист.

Ионы, вошедшие в контакт с корнем, адсорбируются клеточными стенками. Процесс адсорбции ионов корнями носит обменный характер. Высокую интенсивность обмена веществ, значительную скорость поступления и передвижения веществ в растениях можно объяснить адсорбционным обменом между корневой системой растений, с одной стороны, и почвенными коллоидами (твердая фаза), а также почвенным раствором (жидкая фаза) – с другой. Между корневой системой растений и почвенными коллоидами, а также почвенным раствором существует тесный контакт. Корни растений в почве сильно разветвлены. Они проникают на глубину 1,5 - 2 м, а у отдельных растений – до 5 - 10 м и более. Например, в засушливые годы корни люцерны иногда проникают на глубину до 18 м. В ширину корни культурных растений распространяются на 30 - 65 см.

Корни и мельчайшие корешки, корневые волоски густой сетью опутывают почву и ее коллоидные частицы. И если учесть, что корневые волоски живут в течение одних или нескольких суток и что их число огромно (например, на 1 мм² поверхности корня кукурузы имеется 425 корневых волосков и больше, а в среднем у большинства сельскохозяйственных культур – 200 - 500), то станет ясным совершенный контакт, который существует между почвой и

корневой системой растения, ее корневыми волосками, через которые поступает пища. Благодаря этому контакту и происходит процесс обменной адсорбции, сущность которого состоит в следующем. Питательные ионы (например, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-}) поступают в растения через корневую систему в обмен на ионы H^+ , HCO_3^- , расположенные на поверхности корневых волосков и возникающие при дыхании корней. Корневая система растений выделяет большое количество углекислоты, например горчица за 85 дней жизни выделяет 2,25 т CO_2 с 1 га, то же самое можно сказать и о других сельскохозяйственных культурах.

Появляющийся углекислый газ, реагируя с водой, образует углекислоту:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3.$$

Как слабая кислота, она частично диссоциирует на ионы H^+ и HCO_3^- . Так что в результате дыхательного процесса на поверхности корневых волосков постоянно появляются все новые и новые порции ионов H^+ и HCO_3^- . Катионы почвы K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ и другие немедленно вступают в обменную реакцию и вытесняют с поверхности корневого волоска катион H^+ . Анионы же NO_3^- , $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-} и другие обмениваются и вытесняются в раствор анионом HCO_3^- .

Появившиеся на поверхности корневого волоска питательные катионы и анионы неизбежно входят в соприкосновение с базоидной (основной) и ацидоидной (кислотной) частями плазмы клетки, и здесь они дают начало различным органическим соединениям или передвигаются до листьев, где также синтезируются органические вещества. Передача ионов от клетки к клетке происходит по принципу адсорбции-десорбции от одной молекулы белка к другой вплоть до проводящей сосудистой системы корня. Этот физико-химический процесс протекает с большой скоростью.

Важно учесть, что поглощение питательных элементов корневой системой растений может происходить не только в обмен на ионы H^+ и HCO_3^- , образующиеся в процессе дыхания, но и на ионы органических и минеральных соединений, выделяемые корнями. Установлено, например, что корни растений выделяют лимонную, яблочную, щавелевую и другие органические кислоты, которые слабо диссоциируют, но все же распадаются на H^+ и органические анионы. Эти ионы находятся на поверхности корневых волосков и могут принимать участие в обменных реакциях на соответствующие катионы и анионы почвенного раствора.

При более тесном контакте корневой системы с почвенным поглощающим комплексом поглощение питательных веществ растением

протекает более интенсивно. Наилучшие условия питания растений создаются при достаточном количестве ионов как в почвенном растворе, так и в адсорбционно-связанном состоянии.

Подтверждением существования адсорбционного поглощения питательных элементов является наличие определенной емкости поглощения катионов и анионов у корневых волосков, так же как и у почвенных коллоидов. Величина емкости поглощения корней зависит от вида растений, условий их питания и других факторов. Например, емкость поглощения катионов на 100 г сухого вещества корней составляла у бобовых культур 40 - 60 ммоль, у картофеля и томатов – 35 - 38, у злаков – 9 - 29 ммоль.

При питании растений азотом повышается емкость катионного поглощения у корней, что можно объяснить, по-видимому, большим синтезом белковых веществ. Значительную часть емкости катионного поглощения составляют ионы водорода (H^+), которые обмениваются на катионы почвенного раствора, необходимые для питания растений.

Анионное поглощение менее изучено, но в принципе оно аналогично катионному обмену. Важную роль здесь должен играть анион HCO_3^- . У многих культур анионный обмен количественно превышает катионный, что свидетельствует о наличии большего количества коллоидов активной части корней растений с положительным зарядом.

Таким образом, клетки адсорбируют на своей поверхности положительно или отрицательно заряженные ионы минеральных солей, которые могут обменно вытесняться в свободное пространство другими ионами того же заряда.

Основным барьером для поглощения ионов и веществ является поверхностная мембрана, или плазмалемма. Способность растений поглощать или обмениваться ионами со средой в значительной мере зависит от свойств мембран. Отсюда понятны попытки исследователей воздействовать на мембраны в целях регуляции поступления ионов в корни. В этом отношении представляют интерес мембранно-активные соединения, с помощью которых можно воздействовать на ионный транспорт в растениях. К ним относятся антибиотики (валиномицин, грамицидин и др.), 2,4-динитрофенол, диметилсульфоксид и др. Наиболее перспективный из них – диметилсульфоксид, обладающий мягким действием. Он увеличивает проводимость сульфолипидного слоя мембран.

Усиление поглощения и передвижения ионов нитратов и фосфатов в растениях сахарной свеклы, обработанных в условиях поле-

вого опыта 2,5-5%-м водным раствором диметилсульфоксида, а также активация оттока ассимилятов из листьев в корни способствовали повышению эффективности использования питательных веществ почвы и удобрений, активировали рост и повышали урожай корнеплодов на 30 - 60 ц/га, увеличивали сбор сахара на 5 - 10 ц/га.

Поглощение питательных веществ – это сложный физико-химический и метаболический процесс, включающий диффузию, адсорбцию и метаболический перенос веществ против электрохимического градиента. Диффузия важна при перемещении растворимых питательных веществ в почве к корням растений, а обменная адсорбция – при поступлении питательных элементов в растение через корневую систему. В дальнейшем поступившие питательные элементы взаимодействуют с протоплазмой клетки метаболическим или неметаболическим путем.

Метаболическое поглощение и перемещение питательных веществ происходят очень быстро и зависят от аэробного дыхания, температуры и аэрации почвенного раствора. При этом поглощении важную роль играют макроэргические соединения, в частности АТФ, снабжающие энергией этот процесс.

Неметаболическое, или пассивное, поглощение непосредственно может быть не связано с жизнедеятельностью растений и поэтому мало зависит от температуры и других условий жизни растительного организма. Примером неметаболического поглощения является пиноцитоз – захват части питательного раствора, при котором клетками молодых корешков могут поглощаться ионы, молекулы, их агрегаты и капельки раствора.

Существуют три механизма подачи питательных веществ к поверхности корня: 1) корневой перехват, 2) массовый поток, 3) диффузия. Вклад каждого из этих механизмов зависит от интенсивности поглощения веществ корнем и от обеспеченности почвы питательными веществами.

Корневой перехват. Корни в процессе роста движутся в почве, соприкасаясь с питательными веществами, поглощают их. Доля корневого перехвата в питании небольшая, так как объем корневой системы в почве на глубине 15 см не превышает 0,5 - 2% от общего объема почвы.

Корневой перехват играет существенную роль при содержании в почве питательных веществ в больших количествах по сравнению с потребностями растения. Если же их меньше, чем это нужно для обеспечения максимальной потребности растений, большая часть питательных веществ, усваиваемых корнями, обеспечивается массовым потоком и диффузией.

Массовый поток. Корни растений поглощают из почвы воду, что вызывает движение почвенного раствора через толщу почвы к корням. Так как в почвенном растворе содержатся питательные вещества, то они и переносятся массовым потоком к поверхности корня, становясь доступными для поглощения.

В зависимости от вида растения и погодных условий интенсивность потока воды может сильно изменяться, но обычно она находится в пределах от 1 до $6 \cdot 10^{-7}$ см³ воды на 1 см² корневой поверхности в секунду.

Диффузия. Поглощение корнем питательного вещества сопровождается уменьшением его концентрации у поверхности корня и возникновением градиента концентрации. А это делает возможной диффузию питательного вещества к корню. Скорость диффузии ионов через почву изменяется в зависимости от типа почвы и природы поглощения ионов почвой. Для ионов, не адсорбируемых почвой, например нитратов, градиент концентрации (соотношение между ионами в растворе и ионами, адсорбируемыми на поверхности почвенных частиц) может достигать 1. Для сильно поглощаемых почвой ионов, таких, как фосфат, это соотношение может быть 10^{-4} . Чтобы корень мог поглотить ион нитрата, последний может находиться от него на расстоянии до 1 см и даже более, а для поглощения иона фосфата – не более 0,1 см. Между тем корни однолетних растений часто размещены в почве друг от друга в среднем на расстоянии 0,5 см. Для различных питательных элементов участие указанных механизмов неодинаково. Так, фосфор и калий доставляются к корням в основном путем диффузии, а кальций и магний – посредством массового потока.

Массовый поток приобретает важную роль при более высокой концентрации нитратов в почвенном растворе (около 10 моль NO₃⁻/л). При низких концентрациях нитрата большое значение имеет диффузия. Концентрация нитратов в прикорневом слое почвы в 3-4 раза выше, чем в почве внекорневого слоя, что особенно заметно при внесении высоких доз азота (120 кг/га). Такое повышение концентрации нитратов в почве, прилегающей к корню, связано с тем, что нитраты передвигались к корню путем массового потока, но при этом скорость поглощения воды корнями (и транспирация) была выше скорости поглощения нитратов. Поскольку и массовый поток, и диффузия в основном зависят от концентрации соответствующего вещества в почвенном растворе, уровень питательных веществ почвенного раствора является фактором, в первую очередь определяющим доступность питательных веществ растению.

Все, что сказано о механизмах подачи питательных веществ к поверхности корня, относится к той их части, которая находится в почвенном растворе и наиболее доступна для непосредственного использования растениями.

Растение не является только потребителем уже готовых для него питательных веществ в почве. Корни растений активно воздействуют на почву, находящуюся у их поверхности. Хорошо известна способность корней выделять во внешнюю среду органические и минеральные вещества (сахара, органические кислоты, азотсодержащие органические соединения, витамины, ферменты и др.). Выделенные корнями органические вещества служат пищей для микроорганизмов, которые в процессе жизнедеятельности способствуют мобилизации питательных веществ почвы, повышая их доступность для растений в участках, непосредственно примыкающих к корням. Но значение микроорганизмов состоит не в том, что они снабжают растение органическими формами азота и фосфора, которые по эффективности уступают минеральным. Микроорганизмы снабжают растения физиологически активными веществами (ауксинами, витаминами, антибиотиками), которые в определенных условиях могут даже в ничтожных количествах оказывать положительное влияние на рост растений.

Такое действие корневых выделений растений на доступность питательных веществ почвы с помощью ризосферных микроорганизмов является косвенным. Растения оказывают и прямое воздействие на труднодоступные для них соединения почвы (особенно фосфора), переводя их в усвояемые формы. Еще Д.Н. Прянишников доказал способность люпина, гречихи, горчицы использовать фосфор трехзамещенных фосфатов или естественных фосфоритов. Способность этих растений усваивать фосфор труднодоступных фосфатов связывается прежде всего с кислотностью корневых выделений. Так, в растворе, окружающем корневые волоски люпина, рН составляет 4-5, а клевера – 7-8. Роль корневой системы исключительно важна и в синтетических процессах. Корни являются не только органами накопления и передачи из почвы питательных веществ, но и органами синтеза органических веществ. Многочисленные исследования, проведенные в 30-60 годы прошлого столетия показали, что корневой системе растений присущи многие синтетические процессы. При изучении пасоки корней различных растений в ней обнаружен широкий спектр растворимых органических соединений: аминокислоты, олигопептиды, сахара и ростовые вещества. Значительный вклад в изучение физиологии корневой системы, ее проницаемости

и способности поглощать, выделять и перерабатывать минеральные вещества и некоторые органические соединения внес Д.А. Сабинин. Он одним из первых предположил, что корневая система является не только органом поглощения, но и синтеза и превращения веществ. По существу, эти работы стали началом нового направления в изучении минерального питания растений, утвердившего представление о синтетической способности корневой системы. В дальнейшем это направление получило развитие в работах многих исследователей.

С помощью стабильного изотопа азота ^{15}N Ф.В. Турчиным (1965) было установлено, что практически весь поглощенный корневой системой аммонийный азот ($^{15}\text{NH}_4^+$) и значительная часть нитратного ($^{15}\text{NO}_3^-$) находится в пасоке корня в виде различных азотсодержащих органических соединений. В корнях различных сельскохозяйственных культур синтезируется около 18 аминокислот из 20 входящих в белки растений.

Исследования, проведенные с меченым фосфором (^{32}P), серой и рядом микроэлементов показали, что еще в корнях растений анион фосфорной кислоты (H_2PO_4^-) включается с помощью эфирных связей в состав различных органических соединений, а сульфат-ион (SO_4^{2-}), восстанавливаясь образует серосодержащие аминокислоты: цистин, цистеин и метионин.

Убедительные доказательства синтетической деятельности корневой системы были получены учеником Д.Н. Прянишникова академиком А.А. Шмуком (1941) совместно с сотрудниками. Они установили, что никотин синтезируется корневой системой табака, а не листьями. Если привить табак на томат, то в листьях табака никотина практически не обнаруживается, и, наоборот, в листьях томата привитого на табак, накапливается 3 - 4% никотина.

Неоспоримым доказательством синтетической деятельности корневой системы является также быстрое появление новых побегов (поросли) после удаления надземной части у корневищных и корнеотпрысковых, в т.ч. плодовых и ягодных растений.

Синтетическая деятельность листа и корня растений тесно связана. Например, с увеличением поступления питательных веществ через корни усиливаются дыхание и приток к ним углеводов из листьев, а из корневой системы в надземную часть до листьев и генеративных органов движутся аминокислоты и другие органические соединения.

Открытие разнообразной синтетической деятельности корневой системы – одно из самых крупных достижений науки в XX столетии в области физиологии корневого питания растений. Корень – такая

же лаборатория синтеза, как и лист, т.е. биосинтез сложных органических веществ происходит при взаимосвязанной синтетической деятельности листа и корня.

Энергия для всех жизненно необходимых превращений и передвижений веществ освобождается при дыхательных процессах, непрерывно совершающихся во всех живых клетках и тканях растений. Во всех этих передвижениях и превращениях видную роль играет белковая плазма клетки, которая имеет двойную природу – базоидную и ацидоидную. В белковой плазме, ее молекулах ацидоидная и базоидная части расположены мозаично, так что при передвижении питательных веществ от клетки к клетке происходят постепенный обмен и взаимодействие катионов и анионов с положительно заряженными (базоидными) и отрицательно заряженными (ацидоидными) частями белковых молекул плазмы клеток. Это свойство живой клетки нужно всегда учитывать, чтобы понять процессы поступления, перемещения и превращения питательных веществ в растительных организмах.

Растению присуща избирательная способность: оно поглощает больше тех элементов, в которых нуждается, и меньше тех, которые ему не нужны. Это объясняется физиологическими законами живого организма. Например, при внесении в почву селитры NaNO_3 растение больше поглощает анион NO_3^- и меньше катион Na^+ . При внесении сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ растение больше поглощает катион NH_4^+ и меньше – анион SO_4^{2-} и т.д. Вещества, физиологически необходимые растению, по мере поступления через корни тут же подвергаются процессам синтеза и ассимилируются (усваиваются), переходят в другие соединения, в частности органические, т.е. уходят с адсорбционной поверхности корневого волоска. А те вещества, в которых растения не нуждаются, не подвергаются изменению, остаются в нем в минеральной, легкорастворимой ионной форме в том же виде, в каком были до поступления в растение.

После выравнивания их концентрации в клеточном и почвенном растворах на поверхности корневого волоска и на поверхности почвенных коллоидных частиц они перестают поступать в растение, так как поступление ионов из почвы происходит по принципу адсорбции-десорбции (адсорбируется столько, сколько и десорбируется, согласно закону действующих масс). Нужные же растению питательные элементы (их анионы и катионы) будут усваиваться благодаря синтезу из них органических соединений, т.е. исчезать с поверхности волосков. И следовательно, равновесие нужных ионов будет постоянно нарушаться до тех пор, пока будут усваиваться эти питательные элементы растением.

Об избирательности поглощения питательных веществ растениями и активном их поступлении из почвенного раствора в корни свидетельствует тот факт, что концентрация солей ряда элементов питания в клеточном соке растений гораздо выше, чем в питательном растворе, в который погружена корневая система. Например, концентрация калия в пасоке кукурузы была в 20 раз, фосфора – в 14, а кальция – в 4 раза выше, чем во внешнем питательном растворе.

С завершением жизненного цикла приостанавливается поступление питательных веществ в растения, прекращается использование катионов и анионов и наступает равновесие концентрации их на поверхности корневого волоска и в почвенном растворе, а также на поверхности коллоидных частиц.

Так как растения избирательно поглощают ионы (одних больше, других меньше, в зависимости от физиологической потребности в них), то минеральные удобрения (соли) могут быть или физиологически кислыми, или физиологически щелочными. Если растение больше поглощает катионы соли, а анионы ее больше накапливаются в почвенном растворе, то такая соль будет физиологически кислая. Например, физиологически кислыми являются такие минеральные удобрения, как сульфат аммония, хлористый аммоний, аммиачная селитра, хлористый калий и др. Если же растение больше поглощает анион соли, а катион ее накапливается в почвенном растворе, то такая соль будет физиологически щелочной. К ним относятся натриевая селитра, кальциевая селитра и др.

При наличии в почвенном растворе токсичных веществ (тяжелых металлов, пестицидов и т.п.) значительная их часть задерживается уже в корнях, та часть из них, которая все же проникает в стебли и листья задерживается в свою очередь в этих надземных органах и лишь незначительная часть токсикантов поступает в семена. Таким образом, механизмы ограничивающие поступление и накопление токсичных веществ в репродуктивные органы присутствуют не только в корнях, но и в вегетативных органах, что очень важно с точки зрения использования растительной продукции.

Поступление питательных веществ в растение происходит избирательно и зависит от интенсивности дыхательных процессов и прежде всего от энергии дыхания корней и выделения ими ионов H^+ и HCO_3^- . Важную роль играет степень развития корневой системы, увеличение ее поглощающей поверхности и усваивающей способности.

В жизни растения можно различить два периода питания, с которыми следует считаться при использовании удобрений.

Первый, получивший название критического, совпадает с начальными фазами роста и развития большинства растений. В этот период растения особо чувствительны как к недостатку, так и к избытку питательных веществ. Химический состав растений в начальные фазы роста характеризуется высоким содержанием азота и многих зольных элементов. В этот период растения предъявляют повышенные требования к условиям минерального питания.

Второй период получил название периода максимального потребления питательных веществ. Он характерен для более поздних фаз развития и определяется биологическими особенностями растений. Поступление питательных веществ в злаковые растения, за исключением кукурузы, к концу колошения почти заканчивается, хотя к этому времени они образуют не более 50-60% растительной массы от полного урожая (табл. 4.2).

Так, озимая пшеница при хорошем развитии уже в осенний период усваивает азота и калия 43-47%, в то время как сухая масса растений составляет не больше 10% полного урожая. Это полностью относится и к озимой ржи, которая за осенний период усваивает до 50-60% азота, фосфора и калия. Ячмень и овес уже в фазу цветения поглощают 100% калия, а после происходит даже потеря этого питательного элемента (экзоосмос, или выделение). Накопление питательных веществ кукурузой происходит медленнее. Даже к началу цветения поступает только 30-40% азота и калия и 15% фосфора от содержания этих элементов в кукурузе при ее созревании.

Сахарная свекла, картофель, капуста и другие овощные культуры отличаются более продолжительным или растянутым периодом питания. Азот, фосфор и калий они усваивают почти в течение всего вегетационного периода (табл. 4.3).

4.2. Динамика накопления питательных элементов в растениях, % от максимума

Срок и фаза роста	Озимая пшеница			Ячмень			Овес		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Осень и ранняя весна	47	30	43	—	—	—	—	—	—
Начало колошения	69	65	68	71	56	73	51	36	54
Цветение	90	93	95	96	74	100	82	71	100
Полная спелость	100	100	82	100	100	64	100	100	83

4.3. Динамика поступления питательных элементов в растениях сахарной свёклы (данные Научно-исследовательского института сахарной свёклы), % от максимума

Дата наблюдения	Сухое вещество		Азот	Фосфор	Калий
	корень	ботва			
5/VI	0,3	2,3	2,7	2,4	2,6
15/VI	1,1	8,2	9,6	8,5	9,2
1/VII	6,8	35,7	36,0	39,0	35,0
15/VII	16,7	48,0	51,0	46,0	46,0
1/VIII	33,0	64,0	68,0	68,0	69,0
15/VIII	46,0	63,0	77,0	77,0	73,0
1/IX	60,2	73,0	85,0	87,0	85,0
15/IX	85,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1/X	93,0	77,0	89,0	90,0	91,0
15/X	100,0	58,0	–	–	–

Таким образом, период питания не равен периоду вегетации растений. У многих растений он значительно короче периода вегетации (конопля и большинство злаковых культур). У других же культур он растянут и почти совпадает с периодом вегетации растений (сахарная свекла, картофель, капуста и другие овощные культуры).

Итак, питание растений с учетом их биологических особенностей можно регулировать по периодам роста, что позволяет формировать величину и качество урожая. Периодичность питания растений является теоретическим обоснованием дробного внесения удобрений (в разные сроки и в разные слои почвы).

Внесением удобрений в один прием и в один слой почвы не всегда можно добиться полного использования их потенциальных возможностей. Дозы легкорастворимых минеральных удобрений, достаточные для критического периода питания, будут малы для периода максимального потребления питательных веществ. И наоборот, большая доза вредна для первого (критического) периода, когда молодые корешки растения чувствительны к высокой концентрации питательных веществ. Вот почему правильная система питания растений предусматривает сочетание основного (на глубину 18-25 см), припосевного удобрения (на глубину 5-8 см) и подкормок в период роста растений (на глубину 10-15 см).

СВЯЗЬ МЕЖДУ УГЛЕРОДНЫМ (ВОЗДУШНЫМ) И МИНЕРАЛЬНЫМ (КОРНЕВЫМ) ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ

В зависимости от ряда внешних и внутренних факторов поглощенные вещества могут накапливаться в растениях, не оказывая значительного влияния на урожай. Так, с повышением доз минеральных удобрений их эффективность постепенно затухает, и при дальнейшем увеличении доз может даже начаться снижение урожая. Причины такого явления следующие:

1. Повышение концентрации почвенного раствора до уровней, которые могут быть токсичными.

2. Нарушение нормального соотношения химических элементов и ионов в почвенной среде, возникающее при внесении высоких доз удобрений.

3. Недостаток влаги в почве и углекислого газа в воздухе посева.

4. Чрезмерное разрастание вегетативной части, и прежде всего листьев, что приводит к ухудшению освещенности внутри посевов и в результате к снижению интенсивности фотосинтеза.

Регулирование процесса фотосинтеза и изыскание приемов, направленных на значительное повышение коэффициента использования солнечной энергии, – важный путь резкого повышения продуктивности земледелия. Условия минерального питания оказывают на фотосинтез прямое и косвенное действие. Азот, например, принимает непосредственное участие в синтезе аминокислот – продуктов фотосинтеза, а косвенно он участвует в образовании зелёных пигментов в растении (хлорофилла) и в синтезе белков – элементов структуры хлоропластов, а также ферментов, ответственных за различные реакции фотосинтеза. Прямое действие фосфора заключается в том, что остатки фосфорной кислоты входят в состав акцептора – соединения, связывающего CO_2 , и промежуточных продуктов фотосинтеза. Кроме того, с помощью световой энергии из неорганического фосфора и аденозиндифосфорной кислоты (АДФ) синтезируется аденозинтрифосфорная кислота (АТФ), участвующая в реакциях восстановления CO_2 . Косвенное действие фосфора состоит в том, что фосфаты входят в состав фосфатидов и фосфопротеидов, а также нуклеиновых кислот. Калий оказывает на фотосинтез, по видимому, лишь косвенное действие, влияя на структуру фотосинтетического аппарата и активизируя ряд ферментов. Для нормального процесса фотосинтеза необходим и ряд других элементов (Mg, Mn, Fe, B, Mo и т.д.).

Очень наглядно координация между поглощением азота и фотосинтетической деятельностью листьев выявилась в опытах с растениями тыквы с применением меченого углерода ^{14}C . Если растения помещали корнями в дистиллированную воду, то поток ассимилятов к корням ослабевал, а образование в них органических кислот, являющихся акцепторами аммиака, заметно уменьшалось. При помещении же таких растений корнями в раствор сернокислого аммония приток ассимилятов из листьев к корням уже через час заметно усиливался. При этом в корнях ускорялось превращение сахаров в кетокислоты, а это приводило к тому, что корни приобретали большую способность к усвоению азота питательного раствора и синтезу большего количества азотсодержащих соединений. В свою очередь, ухудшение освещенности листьев приводит к снижению интенсивности усвоения элементов минерального питания и наиболее важного из них – азота.

Другим примером может служить взаимосвязь между корневым и некорневым питанием. Нанесение раствора мочевины на листья кукурузы (в период листообразования) тормозит в течение одной-двух недель поглощение азота корнями. Это связано с тем, что листья сами начинают использовать продукты фотосинтеза для связывания аммиака, что уменьшало приток ассимилятов к корням и снижало их способность к поглощению и усвоению азота почвы (рис. 4.3).

Условия азотного питания оказывают влияние не только на интенсивность фотосинтеза, но и на интенсивность потока ассимилятов в аттрагирующие центры (точки роста, развивающиеся репродуктивные органы). Недостаток азота, фосфора или калия уменьшает их отток из листьев. Наибольшая интенсивность поступления продуктов фотосинтеза, например, к колосьям пшеницы в фазе колошения была на полной питательной смеси, меньшая – при недостатке фосфора, еще меньшая – при недостатке азота. У хлопчатника усиление оттока продуктов фотосинтеза из листьев в плодово-элементы также наблюдалось при внесении азотных удобрений.

Усиление азотного питания положительно влияет на интенсивность оттока ассимилятов в том случае, когда растения испытывают острый недостаток в азоте. При более или менее достаточной обеспеченности растений азотом дополнительное его внесение не только не ускоряет отток, но и тормозит его. Например, при одностороннем усилении азотного питания снижается интенсивность оттока ассимилятов из листьев в колосья. Одновременное внесение вместе с азотом фосфора и калия в какой-то степени снимает тормозящее действие азотных удобрений.

При обильном снабжении растений азотом отток ассимилятов из листьев ослабляется вследствие того, что в листьях возникают условия для более продолжительного их роста, и они работают «на себя». Кроме того, при избытке азота усиливается рост побегов и корней, и они также становятся потребителями продуктов фотосинтеза. В результате снабжение репродуктивных и запасующих органов продуктами фотосинтеза ухудшается. Так, при усиленном азотном питании (особенно при азотных подкормках) снижается сахаристость

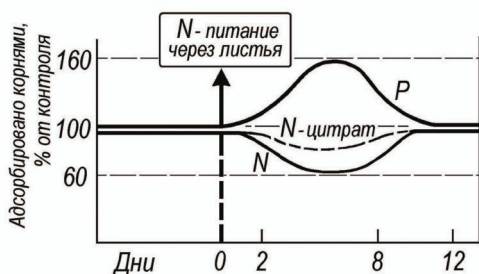
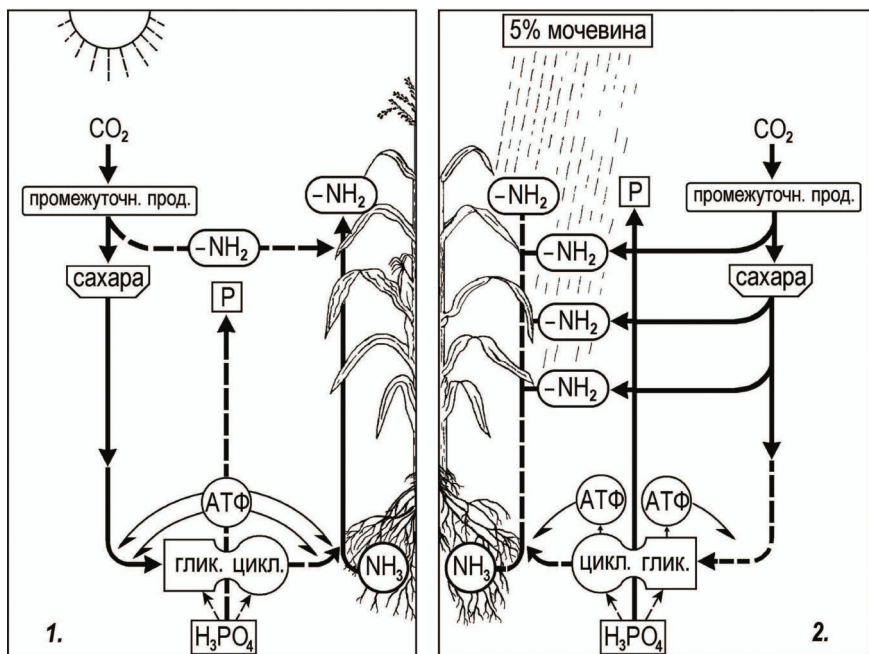


Рис. 4.3. Использование продуктов фотосинтеза для связывания азота при корневом (1) и некорневом (2) питании растений

корнеплодов сахарной свеклы. Избыток азота понижает крахмалистость клубней картофеля и может даже привести к снижению общего урожая.

Повышение продуктивности фотосинтеза растения при усилении азотного питания происходит в основном в результате увеличения площади ассимиляционной поверхности и продолжительности жизнедеятельности листьев и других фотосинтезирующих органов. Однако увеличение площади листовой поверхности благоприятно отражается на урожае лишь до определенного предела (обычно 4-5 м² площади листьев на 1 м² посева). Затем происходят сильное самозатенение листьев, ухудшение освещенности внутри посевов, отмирание нижних листьев, усиленный дополнительный рост растений в длину в погоне за светом, снижение средней интенсивности фотосинтеза, увеличение потерь на дыхание. Часто следствием этого являются полегание растений, снижение урожая и его качества.

Разумеется, что такое действие азотных удобрений на ростовые процессы происходит в условиях достаточной обеспеченности растений водой. При ограниченном водоснабжении нет опасности чрезмерного роста растений, но и эффективность азотных удобрений будет низкой.

Таким образом, повышение продуктивности растений под действием минеральных удобрений, в частности азотных, неразрывно связано с повышением продуктивности фотосинтеза и использования солнечной энергии.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА УСЛОВИЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ

В процессе эволюции различные виды растений наряду с общими отношениями и требованиями к внешней среде выработали и специфические, присущие данному виду растений. Поэтому нормальное развитие растений возможно при сочетании как общих условий внешней среды, так и частных, свойственных конкретному виду.

Растения проявляют неодинаковую чувствительность к кислой и щелочной среде – реакции почвенного раствора. Ориентировочные величины рН, приведенные в табл. 4.4, могут иметь значительный разброс для каждой культуры в зависимости от многих факторов. Например, повышенное содержание Ca²⁺ в почвенном растворе ослабляет вредное действие кислой реакции вследствие существующего антагонизма между Ca²⁺ и H⁺. Кроме того, чувствительность к кислой

4.4. Оптимальная или допустимая реакция почвенного раствора для основных сельскохозяйственных культур

Культура	pH _{Опт}	pH _{Доп}	Культура	pH _{Опт}	pH _{Доп}
Люпин	4 - 5	4 - 6	Клевер	6 - 6,5	5 - 8
Картофель	5	4 - 7	Горох	6 - 7	5 - 8
Овес	5 - 6	4 - 8	Кукуруза	6 - 7	5 - 8
Рожь	5 - 6	4 - 7	Пшеница	6 - 7	5 - 8
Лен	5 - 6	5 - 7	Сахарная свекла	7	6 - 8
Гречиха	5 - 6	5 - 7	Люцерна	7 - 8	6 - 8,5

реакции одного и того же растения с возрастом меняется. Наиболее чувствительны к кислой среде они в начальный период развития.

Реакция почвенного раствора оказывает на растение прямое и косвенное действие. При прямом действии реакция почвенного раствора изменяет количество ионов H^+ , HCO_3^- , OH^- на поверхности корневых волосков, что не может не влиять на концентрацию этих ионов в клеточном соке. В результате этого изменяется характер поступления питательных веществ из почвы. Повышенная кислотность или щелочность почвенного раствора нарушает физиологическую уравновешенность ионов, что ухудшает питание растений, в частности нарушается углеводный, белковый и фосфорный обмен. Косвенное действие заключается в том, что увеличение концентрации водородных ионов сопровождается повышением содержания подвижных форм алюминия, марганца, а иногда и железа, которые оказывают на растение токсическое действие.

При подкислении реакции среды растворимость фосфатов кальция и магния повышается, а при подщелачивании снижается. Подкисление почвы снижает доступность растениям молибдена и повышает доступность бора. Кислая реакция усиливает поступление анионов, а щелочная – катионов. При кислой реакции ухудшается питание растений фосфором и кальцием. Процентное содержание и вынос этих элементов с урожаем резко снижаются, к тому же нарушаются обмен веществ в растениях, синтез белков, задерживаются процессы превращения моносахаридов в дисахариды и другие, более сложные органические соединения. Повышенная кислотность нарушает и деятельность ферментов в корневой системе: повышается активность каталазы, пероксидазы, возрастает гидролитическая активность протеолитических ферментов. Например, в опытах с разными культурами Н.С. Авдонин отмечал понижение активности в растениях каталазы

и повышение активности пероксидазы на кислой почве, а на нейтральной хорошо окультуренной почве повышалась активность каталазы и понижалась активность пероксидазы.

Действие реакции среды на растение зависит не только от его биологических особенностей, но и от ряда внешних факторов. Так, с повышением концентрации почвенного раствора ослабляется вредное влияние кислой реакции на растения. Действие реакции среды зависит от форм азотных удобрений: на фоне аммиачных форм кислая реакция оказывает больший вред, чем на фоне нитратных. Хлор, входящий в состав калийных удобрений, усиливает отрицательное действие водородных ионов. Фосфорные удобрения ослабляют отрицательное действие кислой реакции на растения.

При ослабленном освещении отрицательное действие кислой реакции среды на растение сказывается сильнее, чем при нормальном освещении. Под влиянием избыточной кислотности при ослабленном освещении нарушались закладывание генеративных органов и процесс оплодотворения, понижался продуктивный коэффициент кушения, уменьшалось количество колосков и зерен в колосе, слабее протекал налив зерна.

Действие реакции среды на растения зависит от увлажнения. Более вредное влияние ее на образование генеративных органов, процесс оплодотворения и налив зерна проявляется при избыточном увлажнении. В некоторых опытах урожай зерна при кислой реакции понизился при оптимальной влажности на 47,5%, а при избыточной – на 70,9%.

Излишняя кислотность подавляет деятельность полезной микрофлоры в почве (аммонификаторов, нитрификаторов, азотобактера и др.). В то же время хорошо развиваются многие бактерии и грибы, которые выделяют ядовитые для растений вещества.

Важнейшее условие нормального питания растений – создание в почве оптимального количественного соотношения между катионами и анионами. Почвенный раствор должен иметь различный набор ионов, т.е. должен быть физиологически уравновешенным. Опытами установлено, что при поступлении одноименно заряженных ионов происходит их взаимное торможение, что получило название *антагонизма ионов*. Например, высокие концентрации ионов NO_3^- затормаживают поступление в растения ионов PO_4^{3-} и PO_3^- , а ионы PO_4^{3-} и PO_3^- препятствуют усвоению растениями анионов NO_3^- . Эта закономерность наблюдается и при поглощении растением катионов. Кальций в высоких концентрациях препятствует поступлению калия, а высокие концентрации калия подавляют поступление кальция. Ана-

логичные антагонистические отношения существуют между ионами K^+ и Na^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+} , K^+ и Mg^{2+} . Причем антагонизм в большей степени проявляется между более близкими по своим свойствам ионами, например между анионами NO_3^- и PO_3^- он выражен сильнее, чем между NO_3^- и PO_4^{3-} , между катионами K^+ и Na^+ более резко, чем между K^+ и Ca^{2+} , и т. д.

В почвенном растворе одновременно присутствуют различные катионы и анионы между которыми постоянно происходит конкуренция за места адсорбции на поверхности корня и в межклеточном свободном пространстве. Например, увеличение содержания Ca^{2+} в почвенном растворе приводит к повышению его доли на поверхности корня за счет вытеснения в раствор других ранее адсорбированных катионов (K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ и др.), а повышение содержания Cl^- , в почвенном растворе приведет к уменьшению поступления в растения NO_3^- , $H_2PO_4^-$ и других анионов.

Ионы, имеющие одинаковый заряд, взаимно тормозят друг друга, и чем ближе зарядность, тем сильнее их взаимное торможение. И наоборот, ионы с противоположными зарядами взаимно ускоряют поступление их в растение. Это явление получило название *синергизма*. Вредный избыток какого-либо катиона или аниона всегда можно ослабить соответствующим ионом. При необходимости прибавлением противоположного по заряду иона ускоряют поступление полезного иона. Например, поступление иона NO_3^- можно ускорить прибавлением катиона Ca^{2+} , вредный избыток Ca^{2+} в известной степени ослабляет Mg^{2+} , а вредное действие ионов H^+ и Al^{3+} , которые вызывают кислотность почвы, устраняют прибавлением в раствор Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Таким образом, физиологически уравновешенным следует считать такой почвенный раствор, в котором катионы и анионы находятся в оптимальном соотношении, что обеспечивает наиболее эффективное использование растением питательных веществ. При физиологически уравновешенном растворе в растения беспрепятственно поступают все необходимые питательные элементы и в нужном количестве.

На питание растений оказывает влияние и общая концентрация почвенного раствора. При избыточной концентрации растения завядают и погибают. Корни растений обладают высокой поглотительной способностью, они могут использовать питательные элементы при весьма слабой концентрации почвенного раствора. Например, предельная минимальная концентрация фосфорной кислоты, обеспечивающая нормальное питание, составляет всего 0,03 - 0,1 мг P_2O_5 на 1 л почвенного раствора. Но и здесь существует предел, ниже которого

растения начинают страдать. Верхний предел обычно находится в интервале 2 - 3 г всех питательных солей на 1 л раствора. Особенно вредна повышенная концентрация микроэлементов.

Чувствительность к концентрации у разных растений неодинакова. Наибольшей чувствительностью к повышенной концентрации отличаются лен, люпин, огурцы, морковь. Чувствительность одного и того же растения меняется с возрастом. Более чувствительны к повышенной концентрации молодые растения.

Существенное значение в питании растений имеют *воздушный, водный и тепловой режимы почвы*. Воздух необходим для дыхания корней, при отсутствии его нарушается питание растений.

Оптимизация обеспечения корневой системы кислородом – важнейшее условие выполнения ею всех жизненно важных функций. В практике земледелия обеспеченность кислородом корневой системы растений достигается правильной обработкой почвы, содержанием ее в рыхлом состоянии, при этом улучшается и аэрация почвы. При чрезмерном же уплотнении вода застаивается на поверхности, что приводит к нарушению газообмена между почвой и атмосферой, а следовательно, и к недостатку кислорода для дыхания корневой системы.

Реализация потенциальной продуктивности культурных растений возможна при оптимальном водном режиме. Вода необходима для фотосинтеза. Она расходуется растением на испарение и охлаждение надземных органов, а также на передвижение питательных элементов по сосудам. Поэтому особенно эффективно удобрение при орошении. В этом случае лучше используются и пища и вода.

Кроме воды и воздуха для питания растений необходим и определенный тепловой режим. Например, корни растения не могут развиваться и усваивать пищу при низкой температуре. Не случайно поэтому на холодных почвах весной растения медленно развиваются не из-за недостатка пищи и воды, а потому, что корневая система не способна поглотить воду и питательные ионы в холодной среде. Температурный режим определяет накопление подвижных питательных веществ в почве благодаря мобилизации ее потенциального плодородия и поглощения их растениями из почвы и внесенных удобрений. Например, при увеличении температур с 10 до 25° С возрастает мобилизация питательных веществ почвы, а ниже 10°С эти процессы в значительной мере подавлены. Этим можно объяснить повышенную отзывчивость озимых на азотные удобрения ранней весной. А в районах Сибири, часто даже на черноземах, многие сельскохозяйственные культуры весной используют азот, сохранившийся в почве с осени предшествующего года. На всех почвах Забайкалья

наибольший эффект в повышении урожая наблюдается при внесении фосфорных удобрений, что объясняется замедленным поступлением фосфора в растения в условиях низкой температуры и недостатка влаги. Возможно, что при низких температурах подавляется метаболическое поглощение, идущее в активной зоне, но поглощение путем диффузии не испытывает температурного влияния. С повышением концентрации раствора поглощение питательных элементов растениями в меньшей мере зависит от температуры. Так что поглощение элементов питания при низкой температуре можно усилить внесением повышенных доз удобрений.

Низкие температуры в начале роста растения существенно влияют на азотное и фосфорное питание. Это объясняется слабой мобилизацией и недостаточным использованием азота и фосфора запасных веществ семени, менее интенсивным поглощением этих элементов извне и замедленным развитием проростков. Происходит нарушение азотного и фосфорного обмена, снижение интенсивности окислительного фосфорилирования в клетках проростков.

Отрицательное влияние на поступление питательных веществ в растения оказывает и чрезмерно высокая температура. Для поступления азота и фосфора в растения оптимальная температура в большинстве случаев 23 - 25°C.

Важным фактором, влияющим на питание растений, является свет. Поглощение питательных веществ корневой системой растения и использование их в синтетических процессах на свету происходят активнее, чем в темноте. Это объясняется тем, что фотосинтез интенсивнее протекает при хорошем освещении; образовавшиеся углеводы и другие ассимиляты поступают в корневую систему и вместе с азотом и зольными элементами принимают участие в синтетических процессах образования сложных органических соединений.

При плохом же освещении процесс фотосинтеза протекает слабее, затормаживается поступление ассимилятов в корневую систему, а следовательно, ослабляется поступление питательных элементов в растение.

Большое значение в питании растений, особенно в полевых условиях, имеют микроорганизмы. Корни растений наряду с поглощением воды и пищи из почвы выделяют в нее конечные продукты обмена веществ: углекислоту, избыток солей, органические вещества, а также ферменты – каталазу, амилазу, уреазу, инвертазу, целлюлазу, липазу и др. Ферменты воздействуют на почву и способствуют превращению труднодоступных форм питательных веществ в легко-

доступные. А главное, эти органические выделения – прекрасный питательный субстрат для многочисленных почвенных микроорганизмов, поселяющихся около корней растений, в ризосфере.

Роль ризосферных микроорганизмов исключительно важна в почвенном питании растений. В процессе жизнедеятельности растения выделяют вредные токсические вещества. Без ризосферных микроорганизмов растения погибли бы от накопления собственных токсинов. Но этого не происходит лишь потому, что микроорганизмы утилизируют появляющиеся растительные отходы – токсины. Полезные микроорганизмы способствуют переводу многих труднорастворимых соединений, включающих азот, фосфор, калий и другие элементы, в доступные для питания растений. Видная роль в питании растений принадлежит различным азотфиксаторам, как обитающим на корнях бобовых, так и свободноживущим.

В почве имеются водорастворимые питательные вещества, которые временно закрепляются микроорганизмами. После их отмирания и разложения эти вещества снова переходят в раствор и используются растениями. В этом случае ризосферные микроорганизмы выступают в роли биологических «закрепителей» пищи от вымывания и выноса из корнеобитаемого слоя почвы.

Микроорганизмы выделяют различные ферменты, стимуляторы роста и витамины, которые поглощаются корнями растений и тем самым способствуют более энергичному их росту. Кроме этого, ими выделяется большое количество антибиотиков. Поэтому в ризосфере создается неблагоприятная среда для развития фитопатогенных веществ. Многие антибиотики легко поступают через корни внутрь растений и тем самым предохраняют их от заболеваний.

Но некоторые из микроорганизмов могут выступать и как антагонисты в питании растений. Например, бактерии, разрушающие целлюлозу и гемицеллюлозу, потребляют азот и фосфор из легкодоступных соединений почвы и таким образом ухудшают азотное и фосфорное питание растений.

ЗНАЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ

МАКРОЭЛЕМЕНТЫ

АЗОТ

Азот – важнейший питательный элемент всех растений. Азот, фосфор и сера вместе с углеродом, кислородом и водородом являются строительным материалом для образования органических веществ и, в конечном счете, живой ткани.

В среднем содержание азота в растении составляет 1 - 3% от массы сухого вещества. Он входит в состав таких важных органических веществ, как белки, нуклеиновые кислоты, нуклеопротеиды, хлорофилл, алкалоиды, фосфатиды и др. В среднем содержание его в белках составляет 16 - 18% от массы.

Нуклеиновые кислоты играют важнейшую роль в обмене веществ в растительных организмах. Они являются также носителями наследственных свойств живых организмов. Поэтому трудно переоценить роль азота в этих жизненно важных процессах у растений. Кроме того, азот является важнейшей составной частью хлорофилла, без которого не может протекать процесс фотосинтеза, а следовательно, не могут образовываться важнейшие для питания человека и животных органические вещества. Нельзя не отметить также большое значение азота как элемента, входящего в состав ферментов – катализаторов жизненных процессов в растительных организмах.

Содержание азота в растениях существенно изменяется в зависимости от вида растений, их возраста, почвенно-климатических условий выращивания культуры, приемов агротехники и т.д. Например, в семенах зерновых культур азота содержится 2 - 3%, бобовых – 4 - 5%. Наибольшее содержание азота отмечается в вегетативных органах молодых растений. По мере их старения азотистые вещества передвигаются во вновь появившиеся листья и побеги. При этом в первой половине вегетации, когда формируется надземная масса, в вегетативных органах синтезируются азотсодержащие органические вещества, идет процесс новообразования белков и рост растений. В дальнейшем у пшеницы, например, после цветения происходят более интенсивный гидролиз азотсодержащих органических веществ в вегетативных частях растений и передвижение продуктов гидролиза в репродуктивные органы, где они расходуются на образование белков зерна.

Между содержанием азота в определенные фазы роста в вегетативных частях растений и в урожае установлена коррелятивная зависимость. Это позволяет прогнозировать количество и качество урожая по химическому составу вегетативных органов. Особенно высокая положительная связь между содержанием азота в листьях в конце цветения и урожаем растений установлена на почвах, недостаточно обеспеченных азотом. Так, коэффициент корреляции для пшеницы и ячменя составлял 0,80 - 0,94, кукурузы – 0,81 - 0,86, гороха – 0,87, картофеля – 0,79 и т.д. Оказалось возможным установить условную степень потребности злаковых культур (пшеницы, ячменя) в азоте по абсолютному содержанию элемента в листьях (табл. 4.5).

При достаточной обеспеченности растений пшеницы, кукурузы, ячменя влагой и фосфором коэффициент пересчета содержания азота в листьях в конце цветения и содержания азота в зернах составляет для различных сортов пшеницы, а также для кукурузы и гороха 0,90 - 0,96. Высокая зависимость между содержанием азота в листьях и зерне при азотном голодании растений позволяла своевременно провести позднюю азотную подкормку.

Доступные растениям азотистые соединения образуются главным образом из органического вещества почвы в результате его разложения. Количество органического вещества зависит от вида угодья. Интенсивное использование пашни путем введения паропропашных севооборотов приводит к систематическому уменьшению содержания органического вещества в почве. С введением бобовых трав в севообороты, с посевом сидератов или внесением навоза содержание органических веществ в почве возрастает. Большие запасы азота в органическом веществе находятся в почве под лугами и сенокосами; при распашке же происходит интенсивная их минерализация.

4.5. Условная степень потребности злаковых культур (пшеницы, ячменя) в азоте по абсолютному содержанию элемента в листьях

Сухой вес вегетирующих листьев при цветении, г/100 растений	Содержание азота в листьях, мг/100 растений	Потребность растений в азоте
10 - 20	< 450	сильная
20 - 30	450 - 650	средняя
20 - 30	650 - 900	слабая
> 30	> 900	отсутствует

На склонах потери гумуса в почве значительно увеличиваются. Это объясняется не только интенсивной минерализацией органических веществ при сельскохозяйственном использовании пашни, но и наличием плоскостной водной эрозии. Например, на склонах через 35 лет после распашки залежи чернозем теряет 3% гумуса и больше. *Главный источник азота в почве – перегной (гумус).*

В гумусе содержится около 5% азота. Этот азот является основным источником питания растений: в минеральной форме азота содержится небольшое количество – 1-3%. Верхние слои почвы более обогащены гумусом, и основная часть азота при минерализации перегноя именно из этих слоев используется на питание растений. О количестве органического азота в пахотном слое различных почв можно судить по данным табл. 4.6.

Д.С. Орлов и Л.А. Гришина (1978) разработали систему показателей гумусного состояния почв, позволяющую оценить направленность и темпы гумификации, обеспеченность почв гумусом и азотом, качество гумуса и т.д. По этим показателям в определенной степени можно характеризовать плодородие почвы.

Приведем некоторые из этих показателей, которые способны существенно дополнить агрохимическую характеристику почвы (табл. 4.7).

Круговорот азота в биогеоценозе представлен на рис 4.4. (Орлов и др., 2002).

Запасы азота в почве пополняются в основном в результате азотфиксирующей способности свободноживущих и клубеньковых

4.6. Содержание органического азота в пахотном слое (по Тюрину)

Почвы	Содержание органического азота	
	%	т/га
Краснозёмы	0,2 - 0,3	4,7
Серозёмы	0,1 - 0,2	2,4
Каштановые почвы	0,15 - 0,25	5,6
Чернозёмы мощные	0,4 - 0,5	11,3
обыкновенные	0,25 - 0,45	7,0
северные	0,30 - 0,45	9,4
Серые лесные	0,20 - 0,35	6,0
Дерново-подзолистые	0,05 - 0,20	32

4.7. Некоторые показатели системы признаков, характеризующих гумусное состояние почв

Признак	Уровень и характер признака	Пределы величины
Содержание гумуса в минеральном профиле почвы, %	Очень высокое	> 10
	Высокое	6 - 10
	Среднее	4 - 6
	Низкое	2 - 4
	Очень низкое	< 2
Запасы гумуса (т/га) в слое 0 - 20 см / 0 - 100 см	Очень высокие	200/600
	Высокие	150 - 200/200 - 400
	Средние	100 - 150/400 - 600
	Низкие	50 - 100/100 - 200
	Очень низкие	< 50 / <100
Обогащенность гумуса азотом N : C	Очень высокая	< 5
	Высокая	5 - 8
	Средняя	8 - 11
	Низкая	11 - 14
	Очень низкая	> 14
Степень гумификации органического вещества (Сгк / Собщ)×100%	Очень высокая	> 40
	Высокая	40 - 30
	Средняя	30 - 20
	Слабая	20 - 10
	Очень слабая	< 10
Тип гумуса, Сгк / Сфк	Гуматный	2
	Фульватно-гуматный	2 - 1
	Гуматно-фульватный	1 - 0,5
	Фульватный	< 0,5

микроорганизмов и поступления его с атмосферными осадками. Наиболее значительное количество азота накапливается в почве благодаря жизнедеятельности клубеньковых бактерий бобовых растений. На 1 га ежегодное накопление азота может достигать при возделывании клевера 150 - 160 кг, люпина – 160 - 170, люцерны – 250 - 300, сои – 100, вики, гороха, фасоли – 70 - 80 кг. Размеры фиксации зависят от вида бобового растения, урожая, реакции почвы и других факторов.

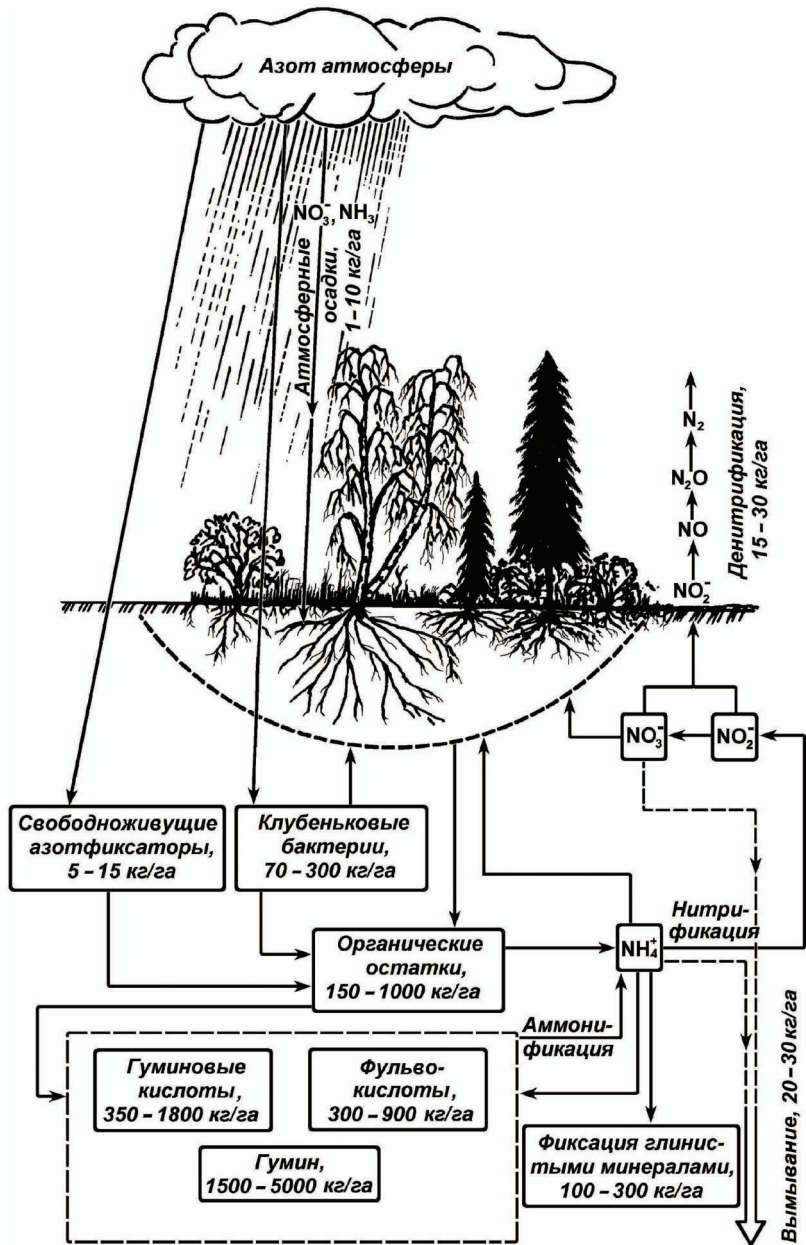


Рис. 4.4. Круговорот азота в биogeоценозе

Для повышения продуктивности симбиотической азотфиксации используют нитрагин – препарат, содержащий специально отселекционированные высокоактивные штаммы клубеньковых бактерий. Необходимость инокуляции бобовых растений нитрагином объясняется следующими причинами. Бобовые культуры, впервые вводимые в той или иной зоне, вследствие узкой специфичности бактерий к растению-хозяину оказываются лишенными своего симбионта и не могут быть накопителями азота из атмосферы, а полностью переходят на питание азотом за счет почвы и удобрений. В таких случаях нитрагинизация – обязательный прием агротехники бобовых культур. Кроме того, длительное пребывание в почве клубеньковых бактерий без растения-хозяина, а также в неблагоприятных условиях среды (повышенная кислотность почвы, засуха или затопление, недостаток элементов минерального питания, источников энергетического материала и т.д.) приводит к снижению их азотфиксирующей активности.

Целесообразность применения нитрагина вызвана еще и тем, что наряду с активными штаммами *Rhizobium* в почвах довольно широко распространены неактивные и малоактивные клубеньковые бактерии, которые не могут обеспечить бобовые растения биологическим азотом. Неактивные и малоактивные штаммы клубеньковых бактерий составляют 1/3 и больше. Поэтому применение нитрагина, содержащего высокие титры активных селекционных штаммов клубеньковых бактерий, – один из главных приемов повышения не только урожайности бобовых культур, но и уровня накопления общего и биологически связанного азота в растениях и почве.

Препарат клубеньковых бактерий производят главным образом на стерильном торфе, в 1 г которого содержится в среднем 3-4 млрд. бактерий. На почвах, где долгое время возделываются основные бобовые культуры, применение нитрагина дает следующие прибавки урожая: зерна сои – 2-4 ц/га, гороха и люпина – 1-2, зеленой массы бобовых культур – 80-100, сена клевера и люцерны – 50 ц/га. Использование этого приема существенно увеличивает и содержание белка в урожае бобовых культур.

Для создания оптимальных условий симбиоза клубеньковых бактерий часто необходимо вносить под бобовые культуры небольшие «стартовые» (20-30 кг/га) дозы азота. Минеральный азот в повышенных дозах (90-120 кг/га) играет отрицательную роль. Эффективность нитрагинизации возрастает при достаточном содержании в почве фосфора, калия, а также микроэлементов – молибдена, бора, ко-

бальта, железа. Необходимы также нейтральная или слабокислая реакция почвенного раствора и оптимальная влажность почвы, в которую посеяны инокулированные семена бобовых растений. Поэтому применение фосфорно-калийных удобрений, известкование кислых почв, применение молибденовых, борных и кобальтовых удобрений создают оптимальные условия для бобовых растений и для их симбиоза с клубеньковыми бактериями.

Фиксация азота несимбиотическими (свободноживущими) микроорганизмами зависит от многих причин. Факторы, ограничивающие жизнедеятельность, а следовательно, и активность этих микробов, следующие: 1) недостаток в почве усвояемых углеводов; 2) отсутствие достаточного количества других питательных веществ (в частности, фосфора и калия); 3) кислая реакция почвы; 4) низкая температура; 5) недостаток или избыток влаги в почве; 6) условия аэрации (*Clostridium pacterianum*, например, живет в анаэробных условиях, *Azotobacter chroococcum* и другие – в аэробных). Перечисленные микроорганизмы способны в среднем накапливать в год 5-15 кг связанного азота на 1 га. Величина азотфиксации свободноживущими бактериями для различных почвенно-климатических условий составляет от 7,5 до 42,0 кг азота на 1 га за год. Размеры несимбиотической азотфиксации под рисом достигают 60-70 кг на 1 га за год.

Фиксированный микроорганизмами в ризосфере небобовых растений азот атмосферы участвует в их питании, как и азот, фиксированный клубеньковыми бактериями. При внесении невысоких доз азота и инокуляции почвенными микроорганизмами усвоение небобовыми растениями фиксированного микроорганизмами азота составляло 7-16% от общего выноса этого элемента растениями. При внесении высоких доз азота фиксация атмосферного азота под небобовыми культурами и усвоение его растениями снижаются. Связывать атмосферный азот могут также грибы, водоросли, находящиеся в симбиозе с некоторыми высшими растениями.

Запас азота в почве в некоторой степени пополняется азотом атмосферных осадков. Обычно он поступает в виде аммиака и, отчасти, нитратов. Эти соединения азота образуются в атмосфере и под действием грозных разрядов. По данным большинства определений, с осадками на каждый гектар ежегодно поступает от 2 до 11 кг азота.

Перечисленные источники пополнения природных запасов азота представляют несомненный практический интерес, но они доставляют лишь часть азота, который выносится с урожаями сельскохозяйственных культур. Поэтому необходимо принимать меры для опти-

мального увеличения плодородия почвы и, прежде всего, пополнения в ней запасов азота. Наиболее ощутимый и реальный путь – внесение органических и минеральных удобрений.

Недостаток азота в питании растений, как правило, существенно проявляющийся визуально, часто является фактором, лимитирующим рост урожая. И как не вспомнить слова Д.Н. Прянишникова (1945): «Усвояемый азот почвы, если не принимать особых мер, увеличивающих его содержание, в настоящее время является на земле главным ограничивающим фактором жизни».

В природе существуют многочисленные пути потерь азота. Основные из них следующие: 1) иммобилизация, т.е. потребление азота почвенной микрофлорой; 2) выщелачивание (прежде всего нитратных форм азота) в грунтовые воды; 3) улетучивание аммиака, окислов азота и молекулярного азота в воздух; 4) фиксация аммония в почве, или необменное его поглощение.

Иммобилизация азота почвы. Особенно большое поглощение азота микроорганизмами почвы происходит при внесении органических веществ с широким соотношением углерода и азота. Это происходит потому, что вносимые в почву органические вещества, например солома и другие растительные остатки, содержат немного азота – 0,5-1,0% (или 1,5-2,0%, когда запахивают растительные остатки с большим количеством азотсодержащих веществ, как, например, солому зернобобовых культур). Однако даже в лучшем случае наблюдается весьма широкое соотношение между углеродом и азотом (20:1). В то же время в плазме микробов содержится значительно больше азота, чем в разлагающихся ими органических веществах. В среднем в плазме микробов содержится 3-12% азота (соотношение азота к углероду в среднем 1:10). Такое же соотношение между азотом и углеродом и в стойкой фракции гумуса. Поэтому при внесении в почву органических веществ (чаще растительных остатков после уборки урожая или солоमистого слаборазложившегося навоза) наблюдается бурное развитие почвенной микрофлоры. Это приводит к тому, что для построения плазмы микроорганизмов при достаточном энергетическом материале используется азот не только органических веществ, внесенных в почву, но и минеральный азот почвы. А это приводит к ухудшению азотного питания культурных растений.

Особенно часто подобные процессы наблюдаются при запашке соломы после уборки зерновых культур и повторного их посева. Повторно посеянная озимь, как правило, испытывает резкое азотное голодание. Для снижения иммобилизации азота микрофлорой почвы

к растительным остаткам, богатым целлюлозой, например к соломе, рекомендуется добавлять 1 - 2% минерального азота от массы соломы. Но процесс иммобилизации азота почвы микроорганизмами не всегда является отрицательным фактором. На легких почвах, особенно в зоне достаточного увлажнения, в результате иммобилизации минеральный азот закрепляется в верхних ее слоях. В дальнейшем при разложении плазмы микроорганизмов часть азота закрепляется в процессе гумификации органического вещества, а часть превращается в минеральный аммонийный азот, который адсорбируется почвенными коллоидами. Часть же аммиачного азота подвергается нитрификации и превращается в азот селитры. Аммонийный и нитратный азот используется растениями как источник азотного питания. Отрицательное действие процесса иммобилизации на культурные растения чаще наблюдается при запашке стерни или растительных остатков накануне сева последующей культуры и без внесения минеральных азотных удобрений.

Вымывание азота. Вымывание нитратов осадками и дренажными водами происходит потому, что нитраты обычно не входят в состав малорастворимых соединений и не поглощаются отрицательно заряженными коллоидами почвы. Наибольшие потери азота от вымывания наблюдаются на почвах легкого гранулометрического состава с низким содержанием органического вещества при высоком увлажнении или орошении. В последнем случае не следует допускать смыкания поливных вод с грунтовыми.

Резко снижаются, а чаще всего отсутствуют потери нитратов под культурами сплошного сева. В этом случае образовавшийся нитратный азот благодаря нитрификации активно используется на питание растений. В паровом поле в увлажненных районах отмечаются наибольшие потери нитратов, так как они не адсорбируются коллоидами почвы и передвигаются вместе с почвенной влагой; эти потери азота можно регулировать и резко снижать. При правильном применении удобрений с учетом почвенно-климатических условий потерь нитратов вообще можно избежать. Например, на легких почвах, особенно при повышенном увлажнении, необходимо мелко вносить азотные удобрения во время вегетации, в фазы наибольшего потребления азота; при орошении снижения потерь нитратного азота можно добиться своевременным внесением удобрений и регулированием поливного режима. В некоторой степени потери азота при вымывании можно снижать подбором соответствующих форм минеральных удобрений. Например, аммиачный азот поглощается коллоидами

почвы и в меньшей мере мигрирует по профилю. Однако поглощенный и водорастворимый аммоний при благоприятных условиях в результате процесса нитрификации легко превращается в нитраты.

Потери нитратов от вымывания могут быть существенными на песчаных почвах в районах с исключительно влажным климатом. В ползузасушливых и засушливых условиях даже в хорошо пронизываемых песчаных почвах нитраты опускаются обычно не ниже 40 - 50 см, т.е. потери азота в данных условиях маловероятны.

Газообразные потери азота из почвы. В опытах с изотопом ^{15}N неучтенные потери азота колебались от 10 до 35% от внесенной дозы в зависимости от формы азота, влажности почвы, температуры, pH и окислительно-восстановительного потенциала. Потери азота из-за улетучивания в среднем составляют 15% от внесенного, иногда они достигают 30%. Наибольшее количество азота из-за улетучивания теряется в виде аммиака (NH_3), молекулярного азота (N_2) и закиси азота (N_2O).

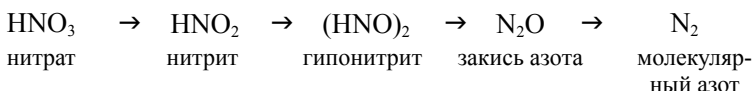
Раньше потери азота в газообразном виде относили прежде всего за счет процесса денитрификации. Однако азот в газообразном виде может теряться различными путями, а следовательно, и причины таких потерь могут быть различными. Часть азота почвы и внесенных удобрений может теряться с поверхности в форме аммиака (NH_3). При внесении аммонийных солей в карбонатные почвы или мочевины поверхностно, без заделки, наблюдаются потери аммиачного азота. Одной из причин потерь NH_3 является его щелочная реакция. Кроме того, чем выше карбонатность почвы, тем больше потери аммиачного азота. Это объясняется взаимодействием аммиачных солей с карбонатами почвы и образованием весьма нестойкого соединения – карбоната аммония. Потери эти заметно возрастают на легких почвах и при высокой температуре.

В практике особенно значительные потери аммиачного азота наблюдаются при внесении водного и безводного аммиака. Одной из важнейших мер снижения потерь этой формы азота является глубокая заделка внесенных аммиачных и аммиачно-нитратных удобрений.

Потери аммиачного азота на карбонатных и щелочных почвах колеблются в пределах 10 - 40%. Чаше они бывают большими при использовании жидких азотных удобрений. Значительное улетучивание аммиака наблюдается также и при поверхностном внесении мочевины, особенно на карбонатных почвах. Потери аммиачной формы азота при внесении мочевины объясняются тем, что мочевина при аммонификации переходит в углекислый аммоний, соединение весьма

нестойкое, особенно на карбонатных почвах. Кроме того, образовавшийся из мочевины аммоний вызывает местное подщелачивание почвы, так как на карбонатных и щелочных почвах отсутствуют анионы кислот, способные нейтрализовать образующийся аммоний. Обработка почвы, даже боронование, значительно снижает потери аммиачного азота при поверхностном внесении мочевины.

Значительная часть газообразного азота теряется из почвы вследствие процесса денитрификации. Этот процесс восстановления нитратного азота почвы до свободного газообразного азота (N_2) происходит в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов – денитрификаторов (*Bact. denitrificans*, *Bact. stutzeri*, *Bact. fluorescens* и др.). Процесс денитрификации идет через ряд промежуточных этапов:



Молекулярный азот и закись азота являются основными газообразными продуктами биологической денитрификации, за счет улетучивания которых происходят потери азота из почв. Этот процесс возникает и развивается без доступа воздуха и при щелочной реакции почвы.

Потери азота при денитрификации объясняются тем, что денитрификаторы являются анаэробной микрофлорой, т.е. развиваются активно при отсутствии кислорода воздуха. Поэтому для дыхания они используют кислород нитратов, восстанавливая азот до свободной молекулярной формы (N_2). Восстановление нитратов происходит под действием ферментов нитратредуктазы и нитрит-редуктазы и выражается уравнением



Наиболее благоприятными условиями для денитрификации, а следовательно, и потерь молекулярного азота, являются: 1) анаэробная среда; 2) щелочная реакция почвы; 3) избыточное количество в почве органического вещества, богатого клетчаткой, глюкозой и другим энергетическим материалом; 4) высокое увлажнение почвы. Оптимальная температура для денитрификации 40 - 75°C, так как активные расы денитрификаторов – термофильные бактерии. Поэтому в холодные периоды, несмотря на высокую влажность и анаэробные условия, процессы денитрификации протекают слабо или вовсе не идут, что резко снижает потери азота. Оптимальный pH для денитрификации 7 - 7,5. В результате денитрификации при содержании в 1 г почвы 1 млн *Bact. stutzeri* из 1 кг ее может выделиться в сутки 0,5 мг азота.

Процесс денитрификации весьма распространенный и протекает почти во всех почвах, так как почв с полным аэриозисом практически нет. Даже при самых оптимальных условиях аэрации и влажности на хорошо оструктуренных почвах может наблюдаться денитрификация. Это объясняется тем, что внутри плотных почвенных агрегатов и на структурных почвах могут быть анаэробные условия. Кроме того, активный процесс нитрификации в аэробных условиях приводит к поглощению кислорода воздуха и выделению CO_2 , вследствие чего создаются местные анаэробные условия, приводящие к развитию денитрификации.

Применение комплекса приемов агротехники, направленных на содержание почвы в хорошем структурном состоянии, поддержание в ней оптимального водного и воздушного режимов, а также правильное чередование культур в севообороте способствуют значительному снижению потерь азота из-за денитрификации.

Газообразные потери азота из почвы и удобрений бывают различного состава (NO_2 , NO , N_2O , NH_3); они увеличиваются при повышении влажности более 50% полной влагоемкости (табл. 4.8).

Кроме денитрификации существуют и другие пути потерь газообразного азота, хотя они изучены в еще меньшей мере. Главным образом эти потери связывают с распадом азотистой кислоты в почве

4.8. Влияние увлажнения почвы на величину газообразных потерь азота (вегетационный опыт, почва дерново-подзолистая супесчаная, внесено азота 312 мг/сосуд)

Потери, мг N/сосуд	Влажность почвы		Кратковременное переувлажнение почвы при периодических поливах
	около 50% полной влагоемкости	нижнего слоя – около 100%, верхнего – не более 50% полной влагоемкости	
Общие газообразные потери	57,9	221,9	96,8
Потери азота из почвы в виде газов	2,0	37,4	5,7
В том числе: N_2O	1,6	36,9	5,2
NH_3	0,3	0,4	0,4
NO	0,1	0,1	0,1

Примечание. Вегетационные сосуды емкостью 3 л, норма азота из расчета 0,1 г/кг почвы.

или взаимодействием с другими химическими соединениями почвы. Наиболее существенными потери азота бывают при распаде азотистой кислоты с образованием азотной кислоты и окиси азота. При подкислении почвы до pH ниже 6 этот процесс усиливается. На воздухе NO окисляется до NO₂. Пути потерь газообразного азота изучены пока слабо, не разработаны эффективные способы их предотвращения, что позволило бы повысить коэффициент использования азотных удобрений.

Фиксация аммония в почве, или необменное его поглощение. Часть азота, внесенного с удобрениями или находящегося в почве, поглощается некоторыми минералами из группы гидрослюды. Механизм закрепления аммония в необменной форме можно представить следующим образом. При увлажнении почвы кристаллическая решетка минерала расширяется и аммоний вначале поглощается обменно, но может проникать внутрь ее, занимая свободные радикалы. При подсушивании почвы катионы аммония, попавшие внутрь решетки минерала, оказываются как бы сжатыми, т.е. фиксированными. Его трудно вытеснить различными растворителями. Не поддается он и действию нитрифицирующих бактерий. Такой фиксированный аммоний становится малодоступным для растений, поэтому его принято считать условно потерянным.

О возможности необменной фиксации аммония почвы известно давно, однако очень мало данных о практическом значении фиксации аммония, об условиях, способствующих закреплению аммония в почве, о части аммония удобрений, которая может быть потеряна в результате необменного поглощения, и о части фиксированного аммония, которая может освобождаться и быть доступной растениям.

Содержание фиксированного аммония в почвах различно. Так, в пахотном слое содержание его колеблется от 130 до 350 кг/га. При этом если в верхнем слое почвы фиксированный азот составляет 2-7% общего, то в подпочве доля его повышается до 30-35%. Это объясняется тем, что с углублением резко снижается количество гумуса, а следовательно, и азота в органическом веществе. Удельный вес фиксированного аммония от общего количества азота заметно возрастает. Процентное соотношение между органическим углеродом и азотом в поверхностном слое почвы часто остается постоянным и составляет 10:1. С глубиной это соотношение сужается и может достигать 5:1, что объясняется прежде всего увеличением количества фиксированного аммония по профилю почвы.

По некоторым данным, способность почвы фиксировать аммоний в обменном состоянии зависит от природы содержащихся в ней

глинистых минералов, температуры среды, реакции почвенного раствора, наличия гумуса в почве, от микробиологической активности почвы, степени ее увлажнения и других факторов. Например, при температуре 20-24°С фиксация аммония некоторыми почвами составляет 0,21, а при 100°С – 2,47 ммоль/100 г, т.е. почти в 12 раз больше, а при пятикратном попеременном увлажнении и высушивании образцов подзолистой почвы при 100°С в опытах А.В. Петербургского количество фиксированного аммония повышалось до 3,44 ммоль/100 г почвы.

Фиксирующая способность почв в отношении этого катиона возрастает с увеличением показателя рН. Поэтому на кислых почвах фиксация аммония бывает значительно меньшей, чем на щелочных. Максимальна она на солонцах. Возрастает фиксация аммония и в почвах с большим содержанием гумуса, который, очевидно, связывает аммоний химически, что отличается от обычного понимания его фиксации.

В процессе обмена веществ и дыхания корни растений и микрофлора выделяют в почву ионы водорода, который способствует извлечению и усвоению растениями фиксированного почвами катиона аммония. Этому же способствуют и катионы кальция, магния, натрия, которые при введении их в кристаллическую решетку минералов расширяют ее и этим самым улучшают усвоение растениями фиксированного аммония.

Фиксирующая способность почвы при определенных условиях – величина довольно постоянная. Если почву предварительно обработать, например, калийной солью, то последующая фиксация аммония заметно уменьшится. Фиксированный аммоний имеется не только в почвах, но и в материнских породах. В почвах он может быть естественно фиксированным и фиксированным при внесении азотных удобрений; последний более доступен растениям, чем первый.

Способность почв фиксировать аммоний проявляется при наличии глинистых минералов с трехслойной кристаллической решеткой, особенно вермикулита. Природный же фиксированный алюмосиликатами аммоний плохо доступен высшим растениям и нитрифицирующим бактериям, в то время как свежefиксированный глинистыми минералами из внесенных аммиачных удобрений аммоний более подвижен и может усваиваться ежегодно в количестве 10 - 20%. Нитрификация же фиксированного аммония обычно бывает очень низкой и часто не превышает 20% в год даже при длительном компостировании.

Фиксированный аммоний почвы – это не безвозвратно потерянный азот, и задача агрохимической науки заключается в том, чтобы

изыскать пути возможно большего вовлечения его в хозяйственный баланс азота, большего использования его растениями. В общем виде трансформация азота минеральных удобрений, внесенных в почву, представлена на рис. 4.5.

Важнейшие источники азота и процесс питания растений

Источниками азота для растений могут служить соли азотной и азотистой кислот (нитраты, нитриты), аммиачные формы азота, некоторые органические соединения азота – мочевины и аминокислоты. Бобовые растения, как известно, с помощью клубеньковых бактерий усваивают молекулярный азот атмосферы (N_2). Однако в какой бы форме ни поступал минеральный азот, в процессе питания растений, в синтезе аминокислот, белков и других азотсодержащих органических веществ он может принимать участие только в восстановленной форме – в виде аммония. Поэтому поступивший в растения

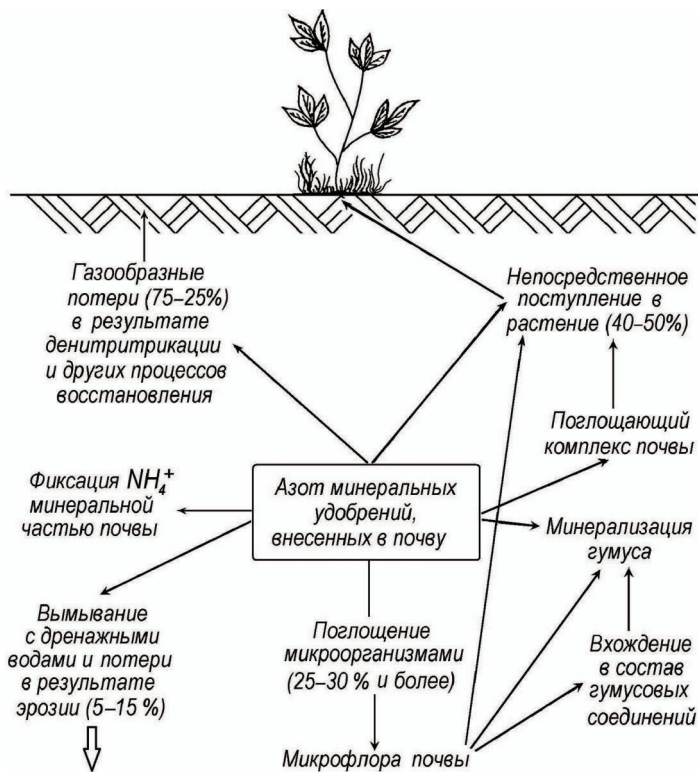


Рис. 4.5. Схема трансформации азота минеральных удобрений в почве

нитратный азот в результате окисления углеводов восстанавливается до аниона азотистой кислоты, а затем до аммиака. Аммиачный же азот, поступивший непосредственно из почвы в растение в виде аммиачной соли, т.е. аммония, или же восстановленный из нитратов и нитритов, не накапливается, а при участии органических кислот идет на синтез различных аминокислот.

Синтез аминокислот происходит как в корнях, так и в надземной части растений. Прежде всего аммоний реагирует с такими наиболее распространенными кетокислотами в растениях, как пировиноградная, α -кетоглутаровая и фумаровая с образованием соответственно таких аминокислот, как аланин, глутаминовая и аспарагиновая. Пировиноградная, α -кетоглутаровая и фумаровая органические кислоты образуются в растениях из углеводов в процессе дыхания. Поэтому между способностью растений усваивать аммиачный азот и наличием углеводов в растениях существует постоянная связь. Образовавшиеся в процессе дыхания органические кислоты играют важную роль в азотном обмене растений, так как, связывая аммоний, они превращаются в аминокислоты, которые через пептидную связь ($-\text{CO}-\text{NH}-$) образуют белковые молекулы.

Образование аминокислот путем присоединения к кетокислотам аммиака с участием соответствующих ферментов называется аминированием. Азот в аминокислотах содержится в виде аминокислотной группы ($-\text{NH}_2$). С участием соответствующих ферментов аминокислоты аланин, аспарагиновая и глутаминовая могут передавать свои аминокислотные группы другим кетокислотам, в результате чего образуются новые аминокислоты. Это называется переаминированием. Реакция переноса аминокислотной группы осуществляется с участием фермента аминотрансферазы.

В настоящее время известно около 90 аминокислот, 70 из них находятся в растениях в свободном состоянии и не входят в состав белков, а 20 аминокислот принимают участие в образовании белковой молекулы. Различный набор и пространственное расположение аминокислот позволяют синтезировать из них большое разнообразие белков.

В растениях происходит не только синтез белков, но и их распад через аминокислоты до аммиака. Это зависит от возраста растения, уровня снабжения его углеводами благодаря фотосинтезу, передвижения продуктов ассимиляции и обеспечения растения зольными элементами. В молодых растениях, а также в молодых органах преобладает синтез белков, а распад их незначителен. По мере старения растений и их органов распад белков преобладает над синтезом. В этом случае наблюдается образование аммиака, однако в растениях он, как правило, не накапливается, а по мере появления присоединя-

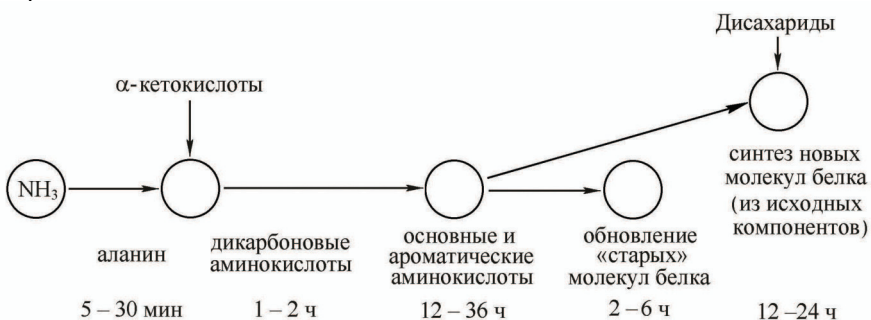
ется к аспарагиновой и глутаминовой кислотам, образуя при этом соответственно аспарагин или глутамин.

Если же органических кислот нет, например при отсутствии фотосинтеза, то тормозятся и образование аминокислот, и связывание ими аммиака. В этих случаях аммиак может накапливаться в количествах, вызывающих отравление растений. Эти сложнейшие превращения азотистых веществ в растениях впервые экспериментально определил Д.Н. Прянишников: ...«аммиак есть альфа и омега азотистого обмена веществ в растениях», т.е. с аммиака начинается и им заканчивается обмен азотистых веществ в любых растениях. Это положение имеет важное теоретическое и практическое значение.

Д.Н. Прянишников пришел к выводу о возможности использования растениями аммиачного азота без предварительного превращения его в нитраты. Если аммиак, образовавшийся при распаде азотсодержащих органических веществ, растение использует для нового синтеза, то и извне поступивший аммиак может потребляться растением непосредственно без предварительной нитрификации. В самом деле, нитратный азот почвы, поступивший в растение, должен восстановиться сначала до нитритного, а затем до аммиачного азота. Для этого требуется необходимое количество энергии, которое растение обычно получает в результате окисления углеводов и процессов дыхания. При поступлении же из почвы аммиачный азот сразу же включается в синтез аминокислот и белков. Следовательно, аммиак является не только доступной формой азота для питания растений, но и более экономичным источником его, чем нитраты.

Методом меченых атомов доказано, что процесс синтеза аминокислот за счет аммиачного азота происходит довольно быстро: в течение 15-20 мин после введения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, меченного ^{15}N , в растворе в корнях растений находят аминокислоты с ^{15}N .

В.Ф. Турчин приводит следующую схему превращения аммиака в растениях:



Многочисленные исследования подтверждают возможность широкого использования для растений аммиачных и нитратных форм удобрений. Определены и условия, при которых та или иная форма азотного удобрения оказывается лучшей. Факторами, улучшающими питание растений какой-либо формой азота, являются биологические особенности самих растений, а также агрохимические свойства почвы и свойства удобрений. Например, у растений, бедных углеводами, задерживается образование органических кислот, приостанавливается синтез аминокислот. В этом случае аммиак накапливается в растении в свободном состоянии и нередко отравляет его. Правда, растения способны связывать свободный аммиак, образуя амиды аспарагин и глютамин, которые в процессе синтеза азотсодержащих органических веществ отдают аммоний и переходят в соответствующие аминокислоты, используемые для образования белков. Но эти процессы возможны при наличии в растении достаточного количества углеводов и органических кислот, при отсутствии которых неизбежно накопление в растениях свободного аммония, вызывающего их отравление.

Нитраты же могут накапливаться в растениях до определенного предела без вреда. Кроме того, переход нитратов в аммиак совершается по мере использования его на синтез аминокислот. Нет синтеза – нет и образования аммиака из нитратов. Нитраты – лучшая форма питания растений в молодом возрасте, когда листовая поверхность небольшая, вследствие чего в растениях еще слабо проходит фотосинтез и не образуются в достаточном количестве углеводы и органические кислоты. С увеличением листовой поверхности усиливается фотосинтез углеводов, при окислении которых образуются органические кислоты, что в свою очередь способствует связыванию аммиака дикарбоновыми кислотами с образованием аминокислот, а затем и белков. Для культур, в которых содержится достаточное количество углеводов (например, клубни картофеля), аммиачные и нитратные формы азота в начале роста растений практически равноценны. Для культур, в семенах которых углеводов содержится мало (например, сахарная свекла), нитратные формы азота имеют преимущество перед аммиачными.

На питание аммиачным или нитратным азотом оказывают влияние реакция среды и наличие сопутствующих катионов в почве. Например, нейтральная реакция почвы и повышенное содержание в ней катионов калия, кальция и магния способствуют лучшему питанию растений аммиачным азотом. Аммиачное питание лучше при нейтральной реакции (черноземные и темно-серые лесостепные почвы), а нитратное – при pH 5,5 и ниже (т.е. на слабокислых и кислых почвах).

Аммиачный азот может использоваться более эффективно, чем нитратный, если устранить побочное явление физиологической кислотности аммонийных солей. Аммонийный азот быстрее используется растениями для синтеза аминокислот и белков, чем нитратный. Аммонийный азот, поступивший в корни, уже в течение 5 - 10 мин почти полностью используется на синтез аминокислот и в виде органических соединений поступает в листья на образование белков. При поступлении в растение ионы аммония увлекают за собой фосфатные ионы, что способствует лучшему использованию фосфатов на фоне аммиачного питания растений по сравнению с нитратным.

Важно также учитывать, что источники азота по-разному влияют на направленность физиолого-биохимических процессов в растениях. При аммиачном питании увеличивается восстановительная способность растительной клетки, что приводит к образованию восстановленных органических соединений (масла, жиры). При нитратном источнике азота преобладает окислительная способность клеточного сока, ведущая к усилению процессов образования органических кислот. Для нитратного питания важно обеспечить растение фосфором и молибденом. Недостаток молибдена задерживает восстановление нитратного азота до аммиака, что приводит к накоплению нитратов в растениях в свободном состоянии.

При использовании аммиачных и нитратных форм минеральных удобрений важно учитывать условия выращивания культуры (орошение, степень увлажнения, механический состав почвы). Учитывая более высокую подвижность в почве нитратов, можно повысить коэффициент использования азота правильными сроками, способами внесения удобрений и сочетанием аммиачных и нитратных форм.

В настоящее время азотно-туковая промышленность почти полностью базируется на синтезе аммиака. В результате его окисления получают и азотную кислоту для производства нитратных удобрений. Сейчас в ассортименте азотных удобрений значительное место занимают аммиачные и амидные формы, в частности, аммиачная селитра и мочевины.

Содержание азота в почве и динамика его превращения

На долю азота приходится около 16 - 18% массы растительных белков. В пахотном слое (0 - 25 см) разных почв количество его варьирует в широких пределах (табл. 4.9).

Содержание азота в почве зависит от ее гранулометрического состава, окультуренности и т.д. Общий запас азота в пахотном слое одного гектара колеблется от 1,5 т в супесчаной дерново-подзолистой

4.9. Количество азота и гумуса в пахотном слое (0 - 25 см) разных почв

Почвы	Азот		Гумус, %
	%	т/га	
Дерново-подзолистая	0,05 - 0,20	1,5 - 6,0	0,5 - 3,0
Лесостепная	0,20 - 0,35	6,0 - 10,5	3,0 - 4,0
Выщелоченный чернозём	0,30 - 0,45	9,0 - 13,5	7,0 - 8,0
Обыкновенный чернозём	0,25 - 0,45	7,5 - 13,5	5,0 - 10,0
Мощный чернозем	0,40 - 0,50	12,0 - 15,0	8,0 - 10,0
Каштановая	0,15 - 0,25	4,5 - 7,5	1,0 - 5,0
Серозёмы	0,10 - 0,20	3,0 - 6,0	0,5 - 2,0
Краснозёмы	0,20 - 0,30	6,0 - 9,0	4,0 - 8,0

почве до 15 т в мощном чернозёме. Однако оптимальные условия азотного питания растений определяются прежде всего наличием в почве минеральных соединений азота, так как именно эта форма азота доступна растениям. Лишь незначительная часть азота в виде растворимых в воде амидов и аминокислот может усваиваться растением. Основная же часть азота содержится в органических соединениях, недоступных для питания растений. В минеральных соединениях находится 1 - 3% азота, но именно этот азот имеет большое значение в питании растений.

Разложение органического вещества в почве происходит по схеме:

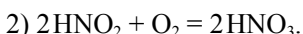
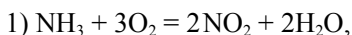
белки, гуминовые вещества → аминокислоты → амиды → аммиак → нитриты → нитраты.

Процесс превращения азота органического вещества до аммиачных соединений называется **аммонификацией**.

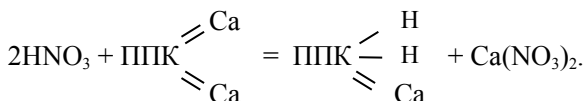
Микроорганизмы под действием ферментов расщепляют белки до аминокислот. Последние под действием ферментов микробных клеток: дезаминазы и дезамидазы – подвергаются дальнейшим процессам разложения (дезаминирование, дезамидирование) с отщеплением аммиака, который может связываться различными кислотами, образуя соли ((NH₄)₂CO₃, NH₄NO₃), а также поглощаться почвенными коллоидами. Аммонификация осуществляется аэробными и анаэробными микроорганизмами (бактерии, актиномицеты, плесневые грибы). Наиболее типичные представители бактерий *Bac. vulgare*, *Bac. subtilis*, *Bac. mesenteriesis*, *Bac. micoides*, плесневых грибов – *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*.

Аммиак образуется во всех почвах при разной реакции среды в присутствии воздуха и без него, но в анаэробных условиях при сильноокислой и щелочной реакции аммонификация сильно замедляется. На скорость аммонификации оказывают действие также температура почвы, влажность и другие факторы. В аэробных условиях соли аммония окисляются до нитратов.

Процесс окисления аммиака до нитратов носит название **нитрификации**. Этот процесс осуществляется аэробными бактериями нитрозомонас, нитрозоцистис и нитрозоспира до азотистой кислоты (первая фаза), а завершение процесса окисления до азотной кислоты – бактериями нитробактер (вторая фаза):



Образовавшаяся азотная кислота нейтрализуется бикарбонатом кальция или магния или поглощенными основаниями:



Процесс нитрификации требует определенных условий: доступа воздуха, влажности (лучшая – 60% от капиллярной влагоемкости), температуры (оптимальная – 25 - 30°C) и реакции среды (нейтральная или слабोकислая). Нитрификация является показателем культурного состояния почвы, а нитрификационная способность почвы – важным признаком ее плодородия.

ФОСФОР

Влияние фосфора на жизнь растений весьма многосторонне. При нормальном фосфорном питании значительно повышается урожай и улучшается его качество. У хлебных культур возрастает доля зерна в общем урожае, улучшается его выполненность. В овощах, плодах, корнеплодах увеличивается содержание сахаров, а в клубнях картофеля – крахмала, у льна и конопли повышается качество волокна – увеличивается его длина и прочность, волокно становится более тонким, с прекрасным жирным блеском. Фосфор повышает зимостойкость растений, ускоряет их развитие и созревание. Например, созревание зерновых культур ускоряется на 5 - 6 дней, что особенно важно для районов, где они не вызревают до наступления низких температур.

Оптимальное фосфорное питание способствует развитию корневой системы растений – она сильнее ветвится и глубже проникает в почву.

Это улучшает снабжение растений питательными веществами и влагой, что особенно важно для засушливых условий. Без фосфора, как и без азота, жизнь невозможна. Он входит в состав различных органических соединений и ядер клеток. В растениях фосфор находится в нуклеопротеидах, нуклеиновых кислотах, которые наряду с белками играют важную роль в самом проявлении сущности жизни – синтезе белка, росте и размножении, передаче наследственных свойств. В растениях содержание нуклеиновых кислот составляет от 0,1 до 1%. Фосфор содержится также в фосфатидах, сахарофосфатах, фитине, липоидах и в минеральных соединениях, входит в состав ферментов и витаминов.

Фосфопротеиды – соединения белковых веществ с фосфорной кислотой, которые катализируют течение биохимических реакций.

Фосфатида (или **фосфолипиды**) – сложные эфиры глицерина, высокомолекулярных жирных кислот и фосфорной кислоты. Они образуют белково-липидные мембраны, которые регулируют проницаемость клеточных органелл и плазмолеммы для различных веществ. Следовательно, они играют очень важную биологическую роль в жизни растений.

Фитин – производное циклического соединения шестиатомного спирта инозита и является кальциево-магниевой солью инозит-фосфорной кислоты. Это запасное вещество. Фосфор фитина используется при прорастании развивающимся зародышем.

Сахарофосфаты – фосфорные эфиры сахаров. Они играют важную роль в процессах фотосинтеза, дыхания, биосинтеза сложных углеводов и т.д. Благодаря фосфорной кислоте сахарофосфаты обладают высокой лабильностью и большой реакционной способностью.

Кроме этого, фосфорная кислота является носителем энергии благодаря образованию макроэргических связей. Основная роль среди макроэргических соединений принадлежит аденозинтрифосфорной кислоте (АТФ). АТФ принимает участие в процессах фотосинтеза, дыхания, в биосинтезе белков, жиров, крахмала, сахарозы, аминокислот и многих других соединений.

Таким образом, процессы фотосинтеза, связанные с образованием первичных органических веществ и запасной энергией, процессы дыхания и синтез сложных азотсодержащих органических веществ, играющих важнейшую роль в жизнедеятельности растений, а также образование запасных органических веществ вторичного происхождения протекают при непосредственном участии фосфорной кислоты.

Значительная часть фосфорной кислоты содержится в растениях в минеральной форме. Обычно эти фосфаты находятся в различных частях растений: в корнях, стеблях и листьях их больше, в семенах –

меньше. Минеральный фосфор растений является запасным веществом, резервом для синтеза фосфорсодержащих органических соединений; он повышает буферность клеточного сока, поддерживает тургор клетки и другие жизненно важные процессы в растениях.

Фосфор ослабляет вредное действие подвижных форм алюминия на кислых дерново-подзолистых почвах. Подвижные формы алюминия отрицательно влияют на обмен веществ у растений, тормозят процессы превращения моносахаридов в сахарозу и более сложные органические соединения, задерживают процесс образования белков, в связи с чем накопление небелковых форм азота в растениях заметно возрастает. Подвижные формы алюминия подавляют образование фосфатидов и нуклеопротеидов. Фосфор же связывает алюминий почвы, фиксирует его в корневой системе, благодаря чему улучшается углеводный, азотистый и фосфорный обмен в растениях.

Фосфор находится в тесном взаимодействии с азотом и белковыми соединениями, является их спутником. Распределение фосфора в различных органах растения аналогично распределению азота. В репродуктивных органах (семенах) фосфора содержится в 3-6 раз больше, чем в вегетативных (табл. 4.10).

Визуальные признаки фосфорного голодания для некоторых культур представлены на цветных иллюстрациях.

Естественных источников пополнения запасов фосфора в природе нет, поэтому нарушение баланса его в биологическом круговороте веществ может наступить раньше, чем азота.

В разных почвах содержится неодинаковое количество фосфора – от 0,01% P_2O_5 в бедных песчаных до 0,20% в мощных высокогумусных почвах. Верхние слои почвы обычно содержат значительно

4.10. Содержание фосфора в урожае различных сельскохозяйственных культур, % к общей массе

Культура	Зерно	Солома	Культура	Зерно	Солома
Озимая пшеница	0,85	0,20	Соя	1,04	0,31
Озимая рожь	0,85	0,26	Вика	0,99	0,27
Кукуруза	0,57	0,30	Кормовые бобы	1,21	0,29
Ячмень	0,85	0,20	Синий люпин	1,42	0,25
Овес	0,85	0,35	Лён (семена)	1,35	0,42
Просо	0,65	0,18	Люцерна (сено)	–	0,65
Гречиха	0,57	0,61	Клевер (сено)	–	0,56
Горох	1,00	0,35	Люпин (зел. масса)	–	0,11

больше P_2O_5 , что связано с накоплением фосфора в зоне отмирания главной массы корней. Вниз по профилю почвы содержание P_2O_5 уменьшается. Больше фосфора в почве находится в минеральной форме (табл. 4.11). Почвы северной лесостепи европейской части России беднее фосфором, чем почвы южной зоны. К северу и югу от мощных черноземов относительное количество органических фосфатов в почве уменьшается, а минеральных – возрастает.

4.11. Содержание фосфора в различных почвах в слое 0 - 20 см

Почва	Содержание P_2O_5 , т/га			Содержание соединений, % к общему	
	общее	органических	минеральных	органических	минеральных
Сильнооподзоленная	2,6	0,7	1,9	26,9	73,1
Среднеоподзоленная	2,3	0,7	1,6	30,4	69,6
Лесостепная	2,5	1,1	1,4	44,0	56,0
Мощный чернозём	4,4	1,6	2,8	34,9	65,1
Каштановая	3,6	0,9	2,7	25,0	75,0
Серозём	4,2	0,6	3,6	14,2	85,8

Органические фосфаты находятся главным образом в составе гумуса. Содержание P_2O_5 в гумусовом веществе лесостепных почв составляет 1,78-2,46%, мощных черноземов – 0,81-1,25, обыкновенных чернозёмов – 0,90-1,27, выщелоченных чернозёмов – 1,10-1,43, а тёмно-каштановых почв – 0,97-1,30%. Часть органического фосфора находится в составе фитина, нуклеиновых кислот, фосфатидов, сахарофосфатов и других органических соединений почвы. Некоторая часть его находится в плазме микроорганизмов. После их отмирания этот фосфор становится доступным растениям. В гумусе масса сухого вещества микробов достигает 1%, в окультуренных длительным унавоживанием дерново-подзолистых почвах вес органических веществ микробов составляет 2-3% от массы гумуса. При разложении гумуса и других органических фосфорсодержащих веществ водно-растворимый фосфор обычно не накапливается в почве, а связывается в результате химического, физико-химического и биологического поглощения.

Минеральные фосфаты находятся в почве в виде солей кальция, железа и алюминия, т.е. состав их в значительной мере определяется составом катионов в поглощенном комплексе почвы. Например, фос-

фаты кальция преобладают в нейтральных и щелочных почвах, а фосфаты полуторных окислов алюминия и железа распространены в кислых почвах. Кальциевые соли фосфорной кислоты характеризуются более высокой растворимостью, а соли алюминия и железа растворимы хуже и поэтому менее доступны растениям. При длительном применении удобрений с изменением агрохимических свойств почв может несколько изменяться и состав фосфорных соединений.

Источники питания растений фосфорной кислотой различны. Органические фосфаты становятся доступными для растений лишь после минерализации органических веществ. Если в органическом веществе содержится 0,2 - 0,3% P_2O_5 , то при его разложении вообще не происходит накопления доступных растениям фосфорных соединений. В этом случае фосфор полностью связывается почвенной микрофлорой.

В мировой науке и практике все больше внимания уделяется роли почвенной биоты в улучшении питания растений фосфором. Почвенная микрофлора, образующая симбиотические ассоциации с высшими растениями, значительно улучшает рост растений в тех случаях, когда в почве недостаточно доступного фосфора. Благодаря ее деятельности существенно улучшается фосфорное питание растений.

Из естественных и рекультивированных почв выделены культуры эндомикоризных грибов. Установлено их положительное влияние на урожай овса, ячменя, сои, вики и поступление в растения фосфора при их выращивании на почве с низким содержанием подвижного фосфора в рекультивированном грунте. На Ротамстедской опытной станции (Великобритания) обобщены результаты полевых опытов по инокуляции пшеницы, ячменя, клевера белого, лука специально подобранными микоризными грибами. В результате урожай зерна в среднем по яровым культурам (пшеница, ячмень) возрос на 23% при урожае на контроле (без микоризации и внесения фосфора) 27,5 ц/га, а по озимым – на 11% при урожае на контроле 51 ц/га. Это позволило сэкономить на каждом гектаре почти 60 кг P_2O_5 .

Микоризация семян клевера белого, высеваемого в злаковый травостой, способствовала повышению урожая сена на 17% (при урожае на контроле 17,8 ц/га) и была эквивалентна действию P_{90} в виде суперфосфата. При этом в составе травостоя возростала доля клевера. Влияние инокуляции лука особенно ярко проявилось на поливных землях: урожайность увеличилась на 97% по отношению к контролю. В неполивных условиях она равнялась 30%.

Интересны результаты инокуляции клевера и других бобовых микоризой и клубеньковыми бактериями: первая улучшает фосфорное питание растений, вторые благодаря азотфиксирующей способности

– азотное питание бобовых растений. Например, в Уэльсе при известковании и подкормке фосфором клевер, инокулированный микоризой, дал втрое больший урожай сухого вещества, вдвое увеличилось образование побегов и в 5 раз увеличилось образование клубеньков ризобиума.

Некоторые растения способны усваивать фосфорную кислоту из несложных фосфорорганических соединений. Корни ряда растений выделяют фермент фосфатазу, который и отщепляет фосфорную кислоту от органических соединений. Внеклеточной фосфатазной активностью обладают горох, кукуруза, бобы и другие культуры. Отмечается даже повышение фосфатазной активности у растений при их фосфорном голодании, что, видимо, связано с приспособительной способностью растительных организмов. Говорить же об усвоении растениями фосфорорганических соединений без предварительного отщепления минеральных фосфатов ферментами микроорганизмов и корневых систем пока нет основания из-за отсутствия экспериментов, выполненных в строго контролируемых условиях. Главным же источником фосфорного питания растений являются минеральные соединения фосфора в почве. Для питания растений пригодны соли ортофосфорной (H_3PO_4) и метафосфорной (HPO_3) кислот. Наиболее доступны соли одновалентных катионов фосфорной кислоты. Растворимы в воде и легко усваиваются растениями соли двухвалентных катионов при замещении одного водорода ортофосфорной кислоты (однозамещенные фосфаты кальция). Соли метафосфорной кислоты и в этом случае плохо растворимы в воде.

Двузамещенные соли двухвалентных катионов ($CaHPO_4$) ортофосфорной кислоты нерастворимы в воде, но растворяются в слабых кислотах. Это дает основание считать их вполне усвояемыми растениями. Они через корни выделяют слабые кислоты, что вызывает местное подкисление почвы в прикорневой зоне.

Трехзамещенные фосфаты с двухвалентными катионами слабо растворимы в воде, поэтому большинством растений в заметном количестве не усваиваются. Свежеосажденные трехзамещенные фосфаты кальция в аморфном состоянии несколько лучше усваиваются растениями. А по мере их «старения» и перехода в кристаллическое состояние усвояемость растениями резко снижается. Природные трехзамещенные фосфаты кальция могут непосредственно использоваться на удобрения лишь в кислых почвах. В этом случае при взаимодействии фосфорита с поглощающим комплексом почвы трехзамещенная кальциевая соль фосфорной кислоты переходит в двузамещенную

и даже однозамещенную, т.е. в формы фосфатов, вполне доступные для питания растений. Повышения растворимости, а следовательно, и усвояемости трехкальциевых фосфатов растениями можно добиться при совместном их внесении с физиологически кислыми азотными удобрениями. Существует, однако, группа растений, хорошо поглощающих фосфор из трехзамещенных труднорастворимых фосфорнокислых солей. К ним относятся люпин, гречиха, горчица, несколько в меньшей мере обладают способностью усваивать фосфор из фосфоритов эспарцет, донник, горох и конопля. Это объясняется следующими причинами.

1. Корневые выделения у этих растений отличаются повышенной кислотностью (например, рН раствора, окружающего корневые волоски люпина, составляет 4 - 5, клевера – 7 - 8).

2. Растения этой группы обладают повышенной способностью усваивать кальций. В связи с этим соотношение CaO и P_2O_5 в фазе цветения у растений, хорошо усваивающих фосфор из труднорастворимых фосфатов, составляет больше 1,3, а у злаков, например, меньше 1,3.

Кальций, интенсивно поглощенный растениями, переводит фосфор в раствор и делает его доступным для растений. Однако установленную зависимость между соотношением CaO и P_2O_5 в растениях и усвояющей способностью нельзя считать абсолютной, так как некоторые культуры не подходят под это правило. Например, у льна и могара соотношение окислов кальция и фосфора больше, чем 1,3, но они не способны разлагать фосфорит и усваивать фосфор.

3. Растворение трехзамещенных нерастворимых фосфорных солей физиологически кислыми минеральными удобрениями и потенциальной кислотностью почвы.

Особенно плохо доступен растениям фосфор основных солей трёхвалентных катионов ортофосфорной кислоты (AlPO_4 , FePO_4). Растение может усваивать в небольшом количестве и фосфор органических соединений. Это объясняется тем, что растения через корни выделяют фермент фосфатазу, которая обладает заметной активностью при гидролизе органических фосфорсодержащих соединений.

Без предварительного отщепления минеральных фосфатов ферментами микроорганизмов или корневых систем фосфор из высокомолекулярных органических соединений растениями практически не усваивается. Способность некоторых культурных растений извлекать питательные вещества из почвы следующая:

Ячмень	очень низкая;
Пшеница, овес	низкая;
Рожь, кукуруза	относительно высокая;
Картофель, сахарная свёкла, красный клевер, горчица	высокая;
Люцерна, горох, люпин, гречиха	очень высокая.

Люцерна, клевер и другие бобовые, в меньшей степени рожь, кукуруза могут растворять труднодоступные соединения фосфора благодаря относительно мощной корневой системе. Объяснить усвоение растениями фосфора из труднорастворимых трехзамещенных фосфатов кислой реакцией корневых выделений не удалось, так как рН в прикорневой части в пределах 4-5 отмечен лишь у люпина, а у остальных культур она была близка к нейтральной.

Источником фосфорного питания растений могут быть также фосфат-ионы, обменно-поглощенные почвами. Некоторые глинистые минералы минеральной части почвы могут в значительном количестве поглощать ионы фосфорной кислоты, которые способны к обмену на другие анионы. Например, анионы бикарбоната и органических кислот хорошо вытесняют в раствор адсорбированные твердой фазой почвы фосфатные анионы. Способность растений питаться фосфат-ионами, адсорбированными почвой, подтверждается также и тем, что в почве в результате их жизнедеятельности образуется достаточное количество анионов угольной кислоты (HCO_3^-). Например, при дыхании корни растений постоянно выделяют углекислый газ (CO_2), который, растворяясь в воде, образует угольную кислоту, диссоциирующую на H^+ и HCO_3^- . Анион же угольной кислоты постоянно обменивается с коллоидами почвы на H_2PO_4^- .

Существуют и другие источники анионов в почве, способных десорбировать обменно-связанные фосфаты почвы в раствор, предопределяя высокую их доступность растениям. Это гуминовые и другие кислоты, входящие в состав гумусовых веществ, органические и минеральные кислоты, образующиеся при разложении растительных и животных остатков, а также органических удобрений. Нельзя не учитывать и возможность экзоосмоса органических кислот корневой системы растений. Следовательно, при определении возможных источников питания фосфором растений следует учитывать и наличие обменно-адсорбированных фосфат-ионов в почве.

Поступивший в корни растений фосфор очень быстро включается в синтез сложных органических соединений. В опытах с тыквой фос-

фор из меченого двузамещенного фосфата натрия уже в первые 30 с после поглощения корнями превращался на 30% в органические вещества, а через 3-5 мин – на 70%. При этом фосфаты появились главным образом в составе нуклеотидов – сложных компонентов фосфорных кислот. Для этого необходим постоянный приток ассимилятов из листьев. Поэтому на поглощение фосфатов корнями растений благоприятное влияние оказывают свет, оптимальная температура, влажность воздуха и почвы, достаточная аэрация почвы и другие факторы, определяющие нормальную жизнедеятельность растений.

При подкормке растений раствором солей фосфора через листья передвижение его в другие органы идет очень медленно и в небольших количествах. Поэтому нормальное фосфорное питание растений обеспечивается только через корни.

В природе не существует естественных источников пополнения запасов фосфора в почве, как, например, азота, поэтому единственно возможный путь повышения содержания в почве P_2O_5 – применение фосфорных удобрений. Вследствие слабой подвижности фосфора в почве практически отсутствуют естественные пути потерь фосфорных соединений. Более чем столетние наблюдения Ротамстедской опытной станции в Англии, исследования в нашей стране и за рубежом показывают, что соли фосфорной кислоты из тяжелых почв практически не вымываются, из легких почв их теряется очень немного. Почти все почвы России фосфором обеспечены хуже, чем азотом и калием. Валовые запасы фосфатов в почвах являются одним из показателей, характеризующих уровень их плодородия. Валовое содержание фосфора в почве в значительной мере определяется гранулометрическим составом почв и содержанием в них гумуса: чем легче почвы по гранулометрическому составу и чем меньше содержание гумуса, тем меньше в них запасов фосфорной кислоты.

В настоящее время большой интерес представляет изыскание способов определения содержания подвижных фосфатов в почве, которые наиболее объективно отражали бы обеспеченность растений на данной почве усвояемыми фосфатами, а следовательно, и потребность культур в фосфорных удобрениях. При разработке разных методов определения содержания фосфатов, доступных растениям, применялись различные растворители: вода, слабые кислоты (1-2%-я лимонная, 2-3%-я уксусная, 0,2 н. HCl , 0,002 н. H_2SO_4). Для извлечения из почвы усвояемых фосфатов применяется также дистиллированная вода, насыщенная углекислотой. Все методы рассчитаны на

имитацию воздействия на почву корневых систем растений, которые выделяют угольную и некоторые органические кислоты, создавая местную слабокислую реакцию.

Однако сравнение действия слабокислых растворов и корневых систем на растворимость фосфатов почвы носит лишь условный характер, так как при взаимодействии раствора с почвой создается равновесие. Растения же смещают это равновесие вследствие поглощения корневой системой фосфорной кислоты из раствора, тем самым стимулируется появление в растворе новых количеств фосфатов. Что же касается фосфорнокислых солей, растворимых в воде, то их бывает настолько мало, что нельзя судить о степени обеспеченности растений фосфором. Слабокислые растворы нельзя применять на карбонатных почвах. В этих условиях используют щелочные соли (10%-е растворы карбоната калия или аммония). Это объясняется тем, что растворы слабых кислот расходуются на разложение карбонатов почвы, а более концентрированные кислоты могут переводить в раствор фосфаты, недоступные растениям.

Для определения усвояемых фосфатов в почве применяют также методы микробиологические, ионитный, изотопный и метод проростков. Однако они не получили широкого распространения по разным причинам. Методы проростков и микробиологические уступают химическим главным образом из-за длительности их проведения. Использование ионитов – синтетических полимерных адсорбентов – дает вполне удовлетворительную корреляцию при сравнении количества фосфора, усвоенного растениями из почвы в вегетационном опыте и извлеченного анионитом. Ионитный метод позволяет создать условия, наиболее приближенные к тем, которые складываются при взаимодействии почвы и корней растений. Из-за дороговизны этот метод применяется лишь в научно-исследовательских учреждениях. Изотопный метод позволяет также вычислить содержание в почве усвояемых фосфатов, процент их усвоения из почвы и т.д. Однако данные этих методов нуждаются в уточнении путем закладки полевых опытов. Метод определения усвояемых фосфатов в почве считается хорошим, когда наблюдается тесная корреляция данных анализа с отзывчивостью растений на фосфорные удобрения.

Определяемое разными методами содержание подвижной P_2O_5 в почве дает представление о ее фосфатной емкости, но не о фосфатном уровне исследуемой почвы, который может понижаться при усвоении P_2O_5 растениями и повышаться при паровании почвы или внесении фосфорных удобрений. Методы определения фосфатного

уровня почвы, предложенные Н.П. Карпинским и В.Б. Замятиной, основаны на обработке навесок почвы слабым 0,3 н. K_2SO_4 (при соотношении почва:раствор = 1:10 и взаимодействии в течение часа). Фосфатный уровень после уборки урожая был ниже, чем до посева культур, в результате выноса фосфора растениями. Периодические лабораторные анализы с помощью этого метода позволяли определить сроки изменений фосфатного уровня под влиянием внесенных удобрений, парования почвы и других агротехнических приемов.

За последние годы значительно повысился интерес к изучению фосфатного режима почв, что требует и совершенствования методов его исследования для более объективной оценки плодородия почв по содержанию в них фосфора и отзывчивости сельскохозяйственных культур на фосфорные удобрения.

Содержание и формы соединений фосфора в почвах

Около 95% фосфатов в земной коре представлено фторапатитом ($Ca_5F(PO_4)_3$), а 5% – фосфатами полуторных окислов и другими соединениями. В результате жизнедеятельности высших растений и микроорганизмов в почвах накапливаются также органические фосфорные соединения. Среднее содержание фосфорной кислоты в почве от 0,05 до 0,20% P_2O_5 от массы почвы (зависит от наличия гумуса, гранулометрического состава, внесения удобрений). Верхний слой почвы содержит больше P_2O_5 , чем нижележащие слои. В гумусе ее 1–2%.

Основная доля фосфорной кислоты почвы находится в форме соединений, малодоступных для растений. Поэтому валовое содержание фосфорной кислоты в почве не может быть показателем обеспеченности растений фосфором, но оно характеризует потенциальное ее плодородие. Содержание P_2O_5 в почвенном растворе достигает 1–2 мг/л. Фосфор из раствора поглощается растениями, микроорганизмами, а также почвой вследствие вторичного образования малорастворимых соединений P_2O_5 с кальцием, магнием и полуторными окислами. Чрезмерно высокая концентрация P_2O_5 в растворах почвы также нежелательна. Так, в водной культуре проростки овса выделяли наружу ранее поступивший фосфор, если содержание его в растворе почвы превышало 5 мг/л.

На черноземе, т.е. на почвах, насыщенных основаниями, образуются соли $CaHPO_4$, $Ca_3(PO_4)_2$, $MgHPO_4$. На почвах кислых, не насыщенных основаниями, фосфорная кислота связана в форме $AlPO_4$, $FePO_4$. Углекислота и органические соединения почвы могут снова переводить эти соединения в доступную для растений форму.

КАЛИЙ

Физиологические функции калия разнообразны. Его больше в молодых растущих частях растений. Калий играет существенную роль в жизни растений, воздействуя на физико-химические свойства биокolloидов, находящихся в протоплазме и стенках растительных клеток. Катион калия в отличие от катиона кальция и магния способствует набуханию биокolloидов, переводу их в устойчивое состояние золя, т.е. калий повышает степень дисперсности биокolloидов и усиливает их гидратацию, в то время как кальций, наоборот, коагулирует и обезвоживает коллоиды. Поэтому калий увеличивает гидрофильность коллоидов протоплазмы, что поддерживает организм в активном состоянии. Старение коллоидов протоплазмы клеток связано с уменьшением обводнённости, с переходом коллоидов из золя в гель. Поэтому при достаточном обеспечении калием растения лучше удерживают воду, легче переносят кратковременные засухи. Физико-химический процесс старения обуславливается уменьшением количества калия и увеличением количества кальция в клетках растений. Не случайно поэтому в молодых тканях больше калия, а в стареющих – кальция.

Калий усиливает устойчивость биокolloидов клетки и улучшает весь ход обмена веществ, повышает жизнённость организма. Он улучшает также поступление воды в клетки, повышает осмотическое давление и тургор, понижает процесс испарения, растения становятся более устойчивыми к засухе. Калий участвует в углеводном и белковом обмене. Под его влиянием усиливаются образование сахаров в листьях и передвижение их в другие органы растений. Особенно это заметно на урожае овощных культур, клубнеплодов и корнеплодов, плодовых и ягодных культур, которые при оптимальном калийном питании накапливают больше углеводов.

Калийные удобрения повышают качество волокна льна, конопли и других прядильных культур, а также усиливают устойчивость культур к легким заморозкам. Это происходит вследствие повышения осмотического давления клеточного сока, понижения температуры его замерзания. При хорошем калийном питании озимые культуры и многолетние бобовые травы лучше перезимовывают, повышается их устойчивость к различным заболеваниям. Калий повышает интенсивность окислительных процессов, что приводит к увеличению содержания органических кислот в растительных тканях, оказывает сильное влияние на образование белков. При недостатке калия задерживается синтез белка и накапливается небелковый азот. Более того, при калийном голодании усиливается распад белка, что создает благо-

приятные условия для развития в тканях различных патогенных грибов и бактерий. Например, при недостатке калия может появиться мучнистая роса у зерновых хлебов.

Роль калия усиливается при аммиачном питании растений. В этом случае лучше усваивается азот, больше образуется белков. Калий способствует лучшему использованию железа при синтезе хлорофилла. Это особенно заметно при недостатке усвояемого железа в питательной среде. Калий стимулирует процесс фотосинтеза, усиливает отток углеводов из пластинки листа в другие органы. Он активизирует работу многих ферментов, с участием которых синтезируются некоторые пептидные связи, что повышает биосинтез белков из аминокислот, и другие процессы. Влияние калия на интенсивность биосинтеза белков наглядно представлено на рис. 4.7.

Под влиянием калия отмечается также активизация процесса фиксации азота бобовыми культурами, поскольку он положительно влияет как на рост корней, корневых волосков, на развитие клубеньковых бактерий в ризосфере, так и на количество и массу клубеньков и их азотфиксирующую активность (рис. 4.8, M.R. Hagh-parast-Fanha, 1975).

Ферменты фосфорфруктокиназа и пируваткиназа, участвующие в переносе богатых энергией фосфатных остатков, для проявления своей активности также требуют катион калия. Калий повышает активность

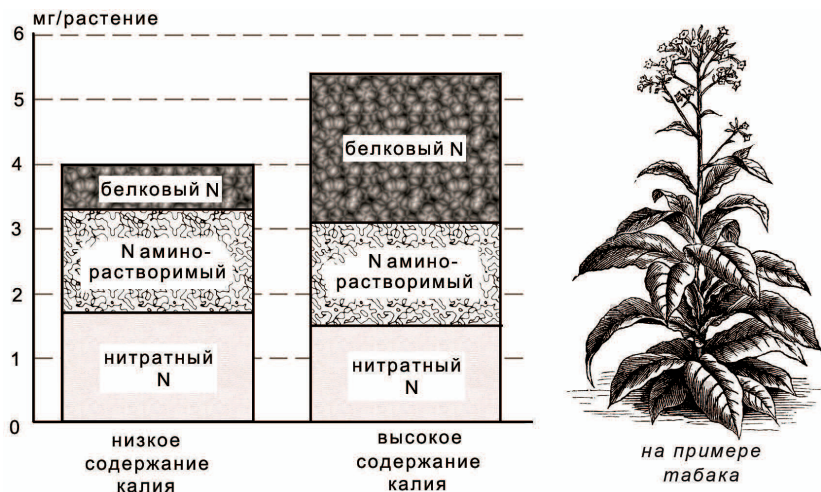


Рис. 4.7. Влияние уровня содержания калия на использование введенного в растения азота ^{15}N для построения белков (через 5 ч после обработки) (по К. Koch, К. Mengel, 1978)

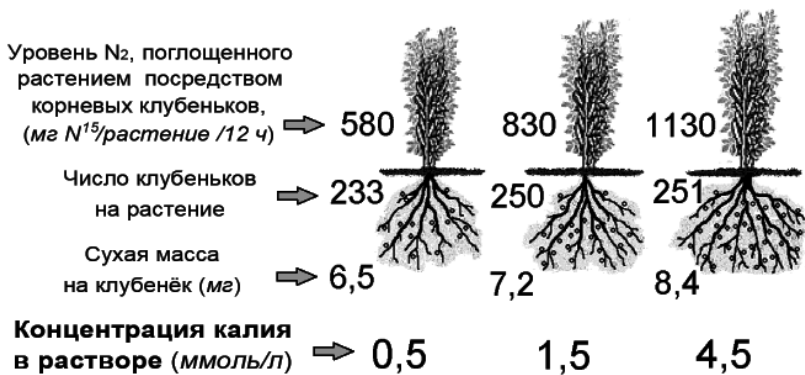


Рис. 4.8. Влияние калия на ассимиляцию атмосферного азота бобовыми культурами

амилазы, сахаразы и протеолитических ферментов. Недостаток его приводит к дезорганизации обмена веществ в растительном организме.

В растении калий, по-видимому, находится в ионной форме. Во всяком случае, не известны органические соединения, синтезируемые в организмах, составной частью которых являлся бы катион калия. Не менее 80% его находится в клеточном соке растений и извлекается водой. Меньшая часть калия адсорбирована коллоидами и около 1% поглощается необменно митохондриями в протоплазме. Содержится он главным образом в протоплазме и вакуолях. В ядре и пластидах калия нет.

Калий улучшает качество сельскохозяйственной продукции: повышается накопление сахаров в сахарной свекле и крахмала в клубнях картофеля. В последнем случае более эффективен сернокислый калий. У льна и конопли увеличиваются выход и качество волокна, у зерновых культур повышается натуральный вес зерна, увеличивается масса 1000 зерен.

При калийном голодании снижается устойчивость картофеля, овощей и сахарной свеклы к грибным заболеваниям как в период роста, так и во время хранения в свежем виде. При недостатке калия у злаковых культур соломина становится менее прочной, хлеба полегают, а это приводит к снижению урожая, ухудшает выполненность зерна. Внесение калийных удобрений повышает содержание водорастворимых форм калия в почве, подавляет развитие корневой гнили (*Helminthosporium sativum*) и снижает инфекционный потенциал почвы.

Визуальные признаки калийного голодания для ряда сельскохозяйственных культур показаны на цветных иллюстрациях.

Основные функции калия в агроэкосистеме схематично представлены на рис. 4.9.

Различные сельскохозяйственные культуры потребляют неодинаковое количество калия. Сравнительно много его потребляют плодово-ягодные культуры, сахарная свекла, капуста, корнеплоды, картофель, клевер, люцерна, подсолнечник, гречиха, кукуруза и зернобобовые. Меньше калия требуется для формирования урожая зерновых культур. В отличие от азота и фосфора калия больше в вегетативных, чем в репродуктивных органах растений (семенах). Например, в соломе озимой пшеницы, ржи, ячменя калия почти в 2 раза больше, а в стеблях кукурузы почти в 5 раз больше, чем в зерне. У некоторых зернобобовых культур калия в зерне много, но если учесть валовые урожаи зерна и соломы, то, как правило, больше его выносится с соломой, чем с зерном. В нетоварной части урожая калия больше, чем в товарном зерне, за исключением зернобобовых культур (табл. 4.12).



Рис. 4.9. Основные функции калия в жизни растений

4.12. Среднее содержание калия в урожае важнейших сельскохозяйственных культур, % к общей массе

Культура	Зерно	Солома	Культура	Зерно	Солома
Озимая пшеница	0,50	0,90	Горох	1,25	0,50
Озимая рожь	0,60	1,00	Соя	1,26	0,50
Кукуруза	0,37	1,64	Вика	0,80	0,63
Ячмень	0,55	1,00	Кормовые бобы	1,29	1,94
Овес	0,50	1,60	Синий люпин	1,14	1,77
Просо	0,50	1,59	Лён (семена)	1,00	0,97
Гречиха	0,27	2,42	Люцерна (сено)	–	1,50
			Клевер (сено)	–	1,50

При правильном и полном использовании органических отходов калий возвращается в почву в бóльших количествах, чем азот и фосфор. Однако для создания оптимального калийного питания растений при высоком уровне азотного и фосфорного, как правило, необходимо вносить в почву промышленные калийные удобрения.

Калий почвы является основным источником его для питания растений. Валовое содержание его в почве часто намного превышает содержание азота и фосфора. Это в значительной мере определяется характером материнской породы. В земной коре его содержится 2,14%. Не меньше его бывает в осадочных породах, которые являются материнскими для многих почв. Количество калия в почве в основном определяется ее гранулометрическим составом. В глинистых и суглинистых почвах его содержание достигает 2% и более (табл. 4.13). Это объясняется тем, что в тяжелых почвах он входит в состав минералов, представленных главным образом в глинистых частицах. Значительно меньше калия в песчаных, супесчаных и особенно в торфяных почвах. Количество его в этих почвах снижается до 0,1%.

По мере увеличения дисперсности частиц гранулометрического состава почвы содержание калия в ней возрастает. Это можно показать на примере оподзоленной тяжелосуглинистой почвы Долгопрудной агрохимической опытной станции имени Д.Н. Прянишникова и обыкновенного суглинистого чернозема Института земледелия центральной-черноземной полосы имени В.В. Докучаева (табл. 4.14).

Калий илистой фракции наиболее доступен растениям, так как содержится преимущественно в обменном состоянии.

Нельзя не отметить, что валовое содержание калия в почве не всегда характеризует обеспеченность им растений, так как в почве

4.13. Примерное содержание калия (K_2O) в пахотном слое различных почв (данные Почвенного института им. В.В. Докучаева)

Почвы	Почвообразующая порода и преобладающий тип глинистого минерала	Валовое содержание калия, %	Обменный калий, мг/100 г почвы	Необменный калий, мг/100 г почвы
Дерново-подзолистые: песчаные и супесчаные легкосуглинистые среднесуглинистые тяжелосуглинистые и глинистые	каолинит	1,20	4 - 9	35 - 50
	монтмориллонит и каолинит	1,77	7 - 12	50 - 70
	монтмориллонит	2,17	15 - 20	70 - 130
	монтмориллонит	2,33	20 - 25	130 - 180
Серые лесные почвы: светло-серые и серые тёмно-серые	лѣссовидные суглинки, гидрослюды,	1,92	4 - 10	180 - 250
	монтмориллонит	2,03	8 - 15	180 - 250
Чернозѣмы оподзоленные и выщелоченные типичные обыкновенные и южные	лѣссовидные суглинки,	2,23	12 - 30	200 - 300
	гидрослюды и монтмориллонит	2,15	25 - 35	350 - 450
		2,01	40 - 50	350 - 450
Каштановые почвы	лѣссовидные суглинки, гидрослюды	2,27	25 - 40	300 - 450
Серозѣмы	гидрослюды, лѣссовидные суглинки	2,29	50 - 60	300 - 550

бывает лишь около 1% валовых запасов, доступных растениям. Поэтому об обеспеченности растений калием на разных почвах нужно судить не по общему процентному содержанию его в почве, а по соотношению между формами его соединений. Валовое содержание калия в подпахотном слое дерново-подзолистой почвы и переходных к ней часто бывает более высоким, чем в пахотном (табл. 4.15).

По доступности растениям все соединения калия в почве можно распределить на пять групп.

1. *Калий различных минералов почвы, алюмосиликатов.* В этой форме содержится наибольшее количество калия. Больше его в ортоклазе, меньше – в мусковите, биотите, глауконите, нефелине и лейците. Эта форма калия труднодоступна растениям. В 1947 г. советскими учеными были выделены из почвы бактерии, названные сили-

4.14. Содержание калия в отдельных фракциях
гранулометрического состава почв, %

Почва	Крупная пыль (0,25 - 0,01 мм)	Средняя пыль (0,01 - 0,005 мм)	Тонкая пыль (0,005 - 0,001 мм)	Ил (< 0,001 мм)
Дерново- подзолистая	2,54	2,94	3,22	3,11
Черноземная	1,70	1,96	2,35	3,43

4.15. Содержание калия в пахотном и подпахотном слоях
различных почв, %

Почва	Место взятия образца	Содержание калия в слое	
		А (пахотный)	Б (под- пахотный)
Горно-тундровая	Хибины	2,87	3,37
Дерново-подзолистая	Ленинградская обл.	3,10	3,78
Серая лесостепная	Тульская обл.	2,81	3,07
Чернозём	Каменная степь (Воронежская обл.)	2,64	2,13
Светло-каштановая	Северный Кавказ	2,67	2,38
Серозём	Ставропольский край	2,34	2,14
Краснозём	район Батуми (Аджария)	0,52	0,22

катными, способные разлагать ортоклаз. Некоторые исследователи считают, что они играют положительную роль в калийном питании растений. Есть предположение, что часть калия ортоклаза и лейцита как наиболее стойких к кислотам минералов может переходить в доступную форму благодаря микоризе некоторых многолетних культур.

Более доступен растениям калий мусковита, биотита и нефелина. Часть его переходит в усвояемое растениями состояние в результате обменного разложения с солями почвенного раствора. Некоторое количество калия этих минералов может переходить в доступное состояние в результате действия на них углекислоты и некоторых органических кислот, выделяемых корнями растений.

В зависимости от типа почвы переход калия из необменных форм в обменные протекает с различной интенсивностью. На дерново-подзолистых почвах эти величины составляют ежегодно 15 - 30 кг/га, на выщелоченных чернозёмах – около 60 кг/га.

2. **Калий почвенных коллоидов.** Эта форма – главный источник калийного питания растений. В почве его может быть 5-30 мг/100 г. Количество его в почве в процентах от валового содержания зависит от типа и подтипа почвы, особенно ее гранулометрического состава. Например, на супесчаных почвах эта форма калия составляет лишь 0,8%, на суглинистых – 1,5, а на черноземах и сероземах – 1-3%.

Доля калия в сумме поглощенных оснований не может свидетельствовать о степени обеспеченности им растений. Например, по данным К.К. Гедройца, в пахотном слое (0-20 см) суглинистых чернозёмов (Тульская обл.) калия было 2,7%, а в оподзоленном суглинке (Смоленская обл.) – 6,1% от всей суммы поглощенных оснований. Емкость же поглощения в первом случае составила 54,8, во втором – 6,21 ммоль/100 г почвы. Поэтому обменного калия в чернозёме было 70,65, а в оподзоленном суглинке – только 17,9 мг/100 г почвы.

Одна из важнейших задач агрохимии – установление степени участия обменного калия почвы в формировании урожая. Растения используют лишь часть обменного калия в процессе вегетации в зависимости от свойств почвы, биологических особенностей растений и погодных условий. Объективные данные о потребности растений в калийных удобрениях можно получить при использовании химических методов и постановке массовых полевых опытов в конкретных почвенно-климатических условиях. Небольшая часть калия (1-5 мг/кг почвы) находится в почвенном растворе в виде солей угольной, азотной, фосфорной, серной, соляной и других кислот.

3. **Водорастворимый калий.** Содержание этой формы элемента составляет 1/5-1/10 часть от количества K_2O , находящегося в почве в обменном состоянии. В пахотном слое черноземов его около 0,02-0,06 ммоль/100 г почвы, в солонцеватых почвах – 0,08-0,10, в дерново-подзолистых – 0,04-0,09 ммоль/100 г почвы. В почвенном растворе редко содержится более 0,1 ммоль (4,7 мг) K_2O /100 г почвы. В удобренной дерново-подзолистой почве ТСХА в течение весенне-летнего периода количество водорастворимого калия колебалось от 1,5 до 5 мг/кг почвы, или 4,5-18 кг/га.

Водорастворимый калий наиболее доступен для питания растений. Появляется он в почве главным образом вследствие химического и биологического воздействия на почвенные минералы, а также их гидролиза. Например, минералы могут разрушаться под воздействием корневых выделений растений, кислых продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, в том числе и азотной кислоты, накапливаемой нитрифицирующими бактериями. Часть калия может переходить из обмен-

ного состояния в раствор в результате вытеснения его из поглощающего комплекса различными солями, в том числе и вносимыми в почву удобрениями.

4. **Калий, входящий в состав плазмы микроорганизмов.** В дерново-подзолистой почве количество его достигает 40 кг K_2O на 1 га. В доступную форму этот калий переходит лишь после отмирания микробов. Однако нельзя забывать, что наряду с процессом отмирания микроорганизмы интенсивно размножаются. А для этого требуются все питательные элементы, в том числе и калий. Поэтому трудно судить, какое количество калия выделяется при отмирании микроорганизмов и доступно растениям, а также поглощается в процессе их размножения. Эти вопросы пока слабо изучены. Калий содержится также в растительных, животных, корневых и пожнивных остатках, навозе и других органических веществах, попадающих в почву. После их разложения он становится доступным растениям.

5. **Калий, фиксированный почвой.** В почве протекают не только процессы превращения калия из труднорастворимых форм в обменную и водорастворимую, но и процессы закрепления калия в необменном состоянии, т.е. фиксация его почвой. Этот процесс активно идет при переменном смачивании и подсушивании почвы. Почва тяжелого гранулометрического состава, содержащая большое количество тонкодисперсных фракций, отличается повышенной фиксацией калия. Особенно активно калий фиксируется при наличии в почве глинистых минералов группы монтмориллонитов и гидрослюд, которым свойственна внутрикристаллическая адсорбция катионов. Каолининовая же группа глинистых минералов не обладает этим свойством.

Различные типы почв обладают неодинаковой способностью закреплять калий в необменном состоянии. Наиболее интенсивно калий фиксируется в солонцах. Предполагается, что пептизация, вызываемая подщелачиванием, увеличивает численность коллоидных частиц в глинистых минералах и тем самым способствует вхождению катионов калия внутрь их кристаллической решетки. Черноземы фиксируют калий лучше, чем дерново-подзолистые почвы.

Повышенное количество органического вещества в почве, а также известкование кислых почв усиливают закрепление калия в необменной форме. Систематическое внесение калийных удобрений снижает фиксацию калия почвой, так как фиксирующая способность почвы не беспредельна. Из всех катионов, имеющих значение в питании растений, фиксируются аммоний и калий. Фиксация одного из этих элементов предотвращает и даже исключает фиксацию другого.

Фиксирующая способность почвы проявляется до определенного предела. Фиксация калия почвой резко снижает коэффициент использования его из вносимых удобрений. Например, на маршевых (наносных) почвах Голландии фиксируется 21-59% вносимого на протяжении многих лет калия. В Канаде вследствие фиксации калия почвой растения использовали лишь 25-48% этого элемента, вносимого с минеральными удобрениями.

Больше всего фиксированного калия находится в пахотном слое почвы. Систематическое применение удобрений повышает содержание различных форм калия по сравнению с неудобренными вариантами. Однако характер превращения калия в значительной степени зависит от почвенных и климатических условий. В дерново-подзолистых и серых лесных почвах заметно повышается количество обменного калия. Например, в почвах Долгопрудной агрохимической опытной станции за 36 лет оно увеличилось на 8-10 мг/100 г почвы. Содержание необменного калия возрастало незначительно, что объясняется отсутствием условий для его фиксации (избыточное увлажнение, низкая температура, кислая реакция и др.).

Обменный калий при систематическом внесении удобрений на этих почвах накапливается не только в пахотном, но и в более глубоких слоях. На черноземах в связи с высокой насыщенностью двухвалентными катионами обменный калий почти не накапливается. Преобладает необменное поглощение калия, обусловленное благоприятными условиями его фиксации (составом глинистых минералов, отсутствием промывного режима, большим количеством органического вещества и др.). Увеличение количества необменного калия обычно наблюдается в пахотном и подпахотном слоях почвы, достигая значительных величин.

На сероземах систематическое внесение удобрений приводит к существенному увеличению содержания обменного и необменного калия. Орошение способствует накоплению обменного и необменного калия по профилю почвы до глубины 1 м.

Фиксация калия из удобрений на дерново-подзолистых почвах невелика и редко превышает 200 кг/га. В черноземах поглощение калия достигает значительных размеров и составляет 300-700 кг K_2O на 1 га. Чем меньше длительность применения удобрений и количество внесенного калия, тем больше его относительная фиксация. Очевидно, внесением высоких доз калийных удобрений на черноземах можно достичь полного насыщения их емкости фиксации и, не опасаясь закрепления калия, применять получивший в настоящее время признание способ периодического внесения калийных удобрений.

При разработке системы удобрений важно учитывать возможные потери калия из почвы в результате вымывания. Принято считать, что калий почвы хорошо адсорбируется в пахотном слое, слабо мигрирует по профилю почвы. Поэтому потери калия из внесенных удобрений незначительны. Однако при длительном внесении калийных удобрений хорошая их растворимость и глубокое промачивание дерново-подзолистых почв могут приводить к вымыванию солей калия не только из пахотного, но и за пределы корнеобитаемого слоя почвы. На чернозёмах в связи с ограниченным количеством осадков и неглубоким промыванием вымывание калия из пахотного слоя не происходит. Вымывание калия бывает наибольшим, когда вносят хлориды или нитраты, меньшим – при внесении сульфатов калия и наименьшим – при внесении фосфатов калия. Значительное его вымывание происходит на песчаных почвах.

Потери при осеннем внесении удобрений бывают большими, чем при весеннем. Наибольшие потери калия отмечаются на сильноокислых почвах, что объясняется насыщением их поглощающего комплекса менее подвижными ионами водорода и алюминия, которые не могут вытесняться ионами калия. Поэтому поглощается калий такими почвами меньше и вымывается его больше. При правильном применении калийных удобрений в комплексе с другими агротехническими приёмами можно значительно уменьшить потери калия от вымывания.

КАЛЬЦИЙ

Кальций оказывает многостороннее положительное действие на растение. В природе растения редко испытывают недостаток в этом элементе. Он необходим на сильноокислых и солонцеватых почвах, что объясняется насыщенностью поглощающего комплекса в первом случае водородом, во втором – натрием.

Кальций содержится во всех растительных органах; больше его в стареющих клетках в виде щавелевокислого кальция, а иногда в форме солей пектиновой, фосфорной и серной кислот. В растениях 20-65% соединений кальция растворимы в воде, остальное количество может быть извлечено слабыми растворами уксусной и соляной кислот.

Недостаток кальция прежде всего сказывается на развитии корневой системы. На корнях перестают образовываться корневые волоски, через которые в растение из почвы поступает основная масса питательных веществ и воды. При отсутствии кальция корни ослизняются и загнивают, наружные клетки их разрушаются, так как

пропитывающие клеточные стенки пектиновые вещества и липоиды без кальция растворяются, ткань превращается в слизистую бесструктурную массу. Это может быть и при недостатке кальция и при преобладании в питательном растворе одновалентных катионов (водорода, натрия, калия), что приводит к нарушению физиологической уравновешенности питательного раствора. Введение в питательный раствор кальция восстанавливает физиологическую уравновешенность раствора.

Кальций является сильным антагонистом других катионов и препятствует избыточному их поступлению в растение.

Кальций оказывает положительное действие и на рост надземных органов растений. При резком его недостатке появляется хлоротичность листьев, отмирает верхушечная почка и прекращается рост стебля. Определенную роль, по-видимому, кальций играет в процессе фотосинтеза, так как в зеленых листьях растений этого вещества содержится больше.

Кальций усиливает обмен веществ в растениях, играет важную роль в передвижении углеводов, оказывает влияние на превращение азотистых веществ, ускоряет расход запасных белков семени при прорастании. Одной из важных функций этого элемента является его влияние на физико-химическое состояние протоплазмы – ее вязкость, проницаемость и другие свойства, от которых зависит нормальное протекание биохимических процессов. Соединения кальция с пектиновыми веществами склеивают между собой стенки отдельных клеток.

Кальций влияет и на активность ферментов. Например, под влиянием извести усиливалась активность инвертазы в растениях овса и возрастала активность каталазы. Влияние извести на активность ферментов проявляется не только в прямом действии, но и, по-видимому, благодаря улучшению физико-химических свойств почвы, ее питательного режима. Известкование почвы существенно влияет на биосинтез витаминов.

Растения с урожаем выносят различное количество кальция. Так, зерновые культуры при урожае 20 ц/га выносят около 20 кг СаО с 1 га, клевер при урожае 60 ц/га – около 140, подсолнечник при урожае семян 13 ц/га – 135, капуста при урожае 500 ц/га – до 300, горох, вика, фасоль с урожаем 20-30 ц/га зерна – 40-60, картофель и сахарная свёкла с урожаем 200-300 ц/га корне- и клубнеплодов – 60-120 кг с 1 га. Больше всего кальция потребляют капуста, люцерна, клевер, которые отличаются высокой чувствительностью к повышенной кислотности почвы.

Наличие в почве высокой концентрации других катионов (H^+ , Na^+ , K^+ и др.) препятствует поступлению кальция в растение, что объясняется антагонизмом катионов. Наличие в растворе нитратного азота усиливает, а аммиачного – снижает поступление кальция в ткани растений. На кислых песчаных и супесчаных почвах, а также на солонцах при внесении извести и гипса улучшаются не только физико-химические свойства почвы вследствие нейтрализации избыточной кислотности или щелочности, но и питание растений кальцием. Это особенно важно учитывать при возделывании культур, выносящих с урожаем большое количество кальция.

Кальция больше содержится в вегетативных частях растений. Например, в клубнях картофеля содержится около 7% этого катиона, а в листьях и стеблях – 93%; в семенах кукурузы содержится 3,4% кальция, а в других частях растений – 96,6%. Поэтому большая часть кальция в отличие от других питательных веществ не отчуждается с сельскохозяйственной продукцией, а возвращается на поля.

Валовое содержание кальция определяется прежде всего типом почвы. Например, его содержание (% от сухого вещества) на подзолистых почвах составляет 0,73, на серых лесных – 0,90, на черноземах – 1,44, на сероземах – 6,04.

Убыль кальция из почвы происходит не столько в результате выноса его с урожаем сельскохозяйственных культур, сколько вследствие выщелачивания из почвы. Эти потери нередко достигают значительных величин. По данным И.А. Шильникова (1984), соотношение между потерями кальция с инфильтрационными водами и выносом с урожаем растений в среднем составило 4:1. Потери же кальция из почв различного генетического типа и гранулометрического состава были следующими (кг/га): из дерново-подзолистой суглинистой почвы – 151-162, из супесчаной – 198-207, из серой лесной – 161-170, из торфяной – 196. При известковании миграция этого элемента за пределы пахотного слоя возрастала на 5-7%. Внесение удобрений ускоряет потерю кальция из почвы. Например, аммоний удобрений вытесняет кальций из поглощающего комплекса, который теряется с просачивающимися водами. Внесение 1 ц сульфата аммония влечет за собой потерю кальция, эквивалентную примерно 1 ц карбоната кальция.

МАГНИЙ

Магний входит в состав хлорофилла, фитина, пектиновых веществ; содержится он в растениях и в минеральной форме. В хлорофилле сосредоточено 15-30% всего магния, усвояемого растениями. Больше его в семенах и молодых растущих частях растений, а в зерне он локализуется главным образом в зародыше. Исключением являются корне- и клубнеплоды, большая часть бобовых культур, у которых магния больше в листьях. Магний играет важную физиологическую роль в процессе фотосинтеза. Он влияет также на окислительно-восстановительные процессы в растениях.

При недостатке магния увеличивается активность пероксидазы, усиливаются процессы окисления в растениях, а содержание аскорбиновой кислоты и инвертного сахара снижается. Визуальные признаки магниевое голодания некоторых растений показаны на цветных иллюстрациях 21-27. Хорошее же обеспечение растений магнием способствует усилению в них восстановительных процессов и приводит к большему накоплению восстановленных органических соединений – эфирных масел, жиров и др. Магний активизирует многие ферментативные процессы, особенно фосфорилирование и регулирование коллоидно-химического состояния протоплазмы клеток.

Недостаток магния тормозит синтез азотсодержащих соединений, особенно хлорофилла. Внешним признаком недостаточности этого элемента является хлороз листьев (цв. ил. 21-27). У хлебных злаков недостаток магния вызывает мраморность и полосчатость листьев, у двудольных растений желтеют участки листа между жилками. Постепенно пожелтевшая часть листьев буреет и отмирает. Признаки магниевое голодания проявляются прежде всего на старых листьях растений.

Среднее содержание магния выражается следующими величинами (в % MgO к воздушно-сыхому веществу): в зерне озимой пшеницы – 0,15, гороха – 0,13, гречихи – 0,15, клубнях картофеля – 0,06, в соломе – соответственно 0,11; 0,27; 0,19, ботве картофеля – 0,21.

Среднее валовое содержание магния в различных типах почв России следующее (в % на сухое вещество): в подзолистых – 0,5, лесостепных – 0,7, в черноземах – 0,9, сероземах – 1,45. Представлен он обычно в форме карбонатов. При определении потребности в магниевых удобрениях необходимо учитывать наличие магния в почвенно-поглощающем комплексе в обменном состоянии.

Сумма кальция и магния от всей емкости поглощения ориентировочно составляет на торфяно-подзолистых почвах 57%, на дерново-подзолистых – 53, лесостепных – 80, обыкновенных чернозёмах – 85, мощных черноземах – 90, на каштановых почвах – 92 и в сероземах – 93%. Из общего количества кальция и магния в поглощающем комплексе почвы на долю магния приходится 20%, а на легких подзолистых почвах – меньше.

Резкое проявление недостаточности магния наблюдается в том случае, когда в почве обменного магния содержится 2 мг/100 г почвы и меньше. Недостаток магния проявляется, прежде всего, на дерново-подзолистых кислых почвах легкого гранулометрического состава. Чем легче почвы по гранулометрическому составу и чем они кислее, тем меньше содержат магния и тем острее необходимость во внесении магниевых удобрений.

Поглощение магния растениями зависит не только от содержания его в доступной форме в почве; на нем сказывается и антагонизм катионов, присутствующих в почвенном растворе. Например, аммиачные формы азотных удобрений, а также калийные удобрения ухудшают поглощение магния растениями, а нитратные – улучшают.

Вынос магния с урожаем зависит от культуры, урожая, типа почвы и других условий. При высоких урожаях сельскохозяйственными культурами выносятся 10-70 кг MgO с 1 га. Наибольшее количество магния поглощают картофель, сахарная и кормовая свекла, табак, зернобобовые и бобовые травы. Чувствительны к недостатку этого элемента конопля, просо, сорго, кукуруза.

Потери магния из почвы в результате вымывания составляют примерно 10-20 кг MgO с 1 га. Более высокими они бывают во влажные годы и на легких почвах, а также при внесении сопутствующих минеральных удобрений. Например, при внесении хлористого калия усиливаются потери магния с дренажными водами. Несколько меньше теряется его при внесении сульфата калия и простого суперфосфата. Резко уменьшается вымывание магния при замене простого суперфосфата двойным, что связано с отсутствием в последнем гипса.

Для поддержания положительного баланса магния в почве требуется ежегодное его внесение в количестве 30-40 кг MgO на 1 га. Магний вносят в почву с известковыми материалами, калийными удобрениями, содержащими этот элемент, с навозом и т.д. В 30 т полуперепревшего навоза содержится 30-40 кг MgO.

СЕРА

Сера входит в состав всех белков, содержится в таких аминокислотах, как цистин, метионин, в растительных маслах (горчичном, чесночном и др.), в витаминах (тиамине и биотине). Она является составным элементом и некоторых антибиотиков, в частности пенициллина.

Сера имеет большое значение в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в растениях, в активировании энзимов, в белковом обмене. Она способствует фиксации азота из атмосферы, усиливая образование клубеньков у бобовых растений.

Большая часть соединений серы в растениях находится в восстановленной форме. С органическим веществом она может быть связана дисульфидной ($-S-S-$) группой или сульфогидрильной ($-SH$). Эти группы играют важную роль в окислительно-восстановительных реакциях. Например, сульфогидрильная группа при окислении теряет водород и превращается в дисульфидную группу.

Источником питания растений серой являются в основном соли серной кислоты. Частично сера в виде сернистого газа (SO_2) может поглощаться листьями из воздуха. Окисленная форма серы – исходный продукт для синтеза белков. Она же является и конечным продуктом при их распаде. В молодых растущих органах растений, где преобладают синтетические процессы, сера находится главным образом в восстановленной форме. По мере старения растений, когда начинают преобладать процессы гидролиза над синтезом, возрастает количество окисленной формы соединений серы.

При недостатке серы задерживается синтез белков, так как затрудняется синтез аминокислот, содержащих этот элемент. В связи с этим проявление признаков недостаточности серы сходно с признаками азотного голодания. Развитие растений замедляется, уменьшается размер листьев, удлиняются стебли, листья и черешки становятся деревянистыми. При серном голодании листья не отмирают, хотя окраска их становится бледной.

Потребность в сере различных растений неодинакова. Больше всего ее содержится в бобовых растениях, подсолнечнике, горчице, капусте и в других культурах семейства крестоцветных. Содержание серы (в пересчете на SO_3) в растениях выражается следующими величинами (в % к воздушно-сыхому веществу): в зерне озимой пшеницы – 0,02, гороха – 0,08, в клубнях картофеля – 0,06, в соломе пшеницы – 0,11, гороха – 0,27, ботве картофеля – 0,13. В хорошем

урожае зерновых хлебов и картофеля серы содержится 10-15 кг из расчета на 1 га, бобовых трав и сахарной свеклы – 20-30, турнепса и капусты – 45-75 кг.

О выносе серы с урожаями сельскохозяйственных культур можно судить также по данным табл. 4.16.

В соломе хлебных злаков серы содержится в 5 раз больше, чем в зерне. По количеству потребления сельскохозяйственными культурами сера приближается к фосфору. В почве содержится около 0,1% SO_3 .

Большим содержанием серы отличаются торфяные почвы, солонцы и солончаки, а на супесчаных и песчаных почвах Нечернозёмной зоны серы часто бывает недостаточно. Обычно больше серы содержится на тех почвах, которые имеют больше гумуса, так как 80-90% этого элемента находится в органическом веществе и лишь 10-20% – в виде сульфатов кальция, магния, калия и натрия. Поэтому в верхнем пахотном слое серы больше.

Сульфаты – главный источник серы для питания растений. Количество их в почве колеблется, а динамика содержания напоминает динамику содержания нитратов. Источником пополнения серы в почве являются органические и минеральные удобрения. Например, при внесении 36 т навоза в почву поступает около 36 кг SO_3 , при внесении 60 кг P_2O_5 в форме простого суперфосфата – 100, 40 кг азота в форме сернокислого аммония – 120 кг SO_3 . Источником серы являются также сульфаты калия, применяемые как удобрения, а также калийные соли, содержащие сульфаты калия, магния, натрия.

Использование в городах и на промышленных предприятиях каменного угля (в меньшей степени нефти) в качестве топлива приводит к значительному поступлению серы в почву через атмосферу. В Скандинавии с осадками ежегодно поступает около 3,4 кг серы на 1 га, в Западной Европе – 13,5, в США в штате Мичиган – 9-13, а в штате Индиана (промышленный район) – 142 кг в год.

4.16. Вынос серы с урожаями культур

Культура	Урожай, ц/га	Вынос серы, кг/га	Культура	Урожай, ц/га	Вынос серы, кг/га
Зерновые	31	13	Лук	350	22
Картофель	230	11	Люцерна (сено)	100	27
Сахарная свекла	350	31	Клевер (сено)	90	22
Капуста	350	43	Злаки (сено)	90	13

Убыль же серы из почвы происходит не только в связи с выносом ее с урожаем сельскохозяйственных культур, но и в результате выщелачивания в грунтовые воды, так как анионы серной кислоты слабо поглощаются почвами. По данным американских исследователей, с дренажными водами с 1 га ежегодно вымывается до 50 кг серы. Однако эта цифра может колебаться в значительных пределах в зависимости от количества атмосферных осадков, гранулометрического состава почвы и других факторов. Потери серы вследствие вымывания значительны, так как сульфаты, как и нитраты, подвижны в почве. Полагают, что 40-60 кг серы выносятся с осадками, просачивающимися в почву, особенно зимой. Вынос серы с урожаем в среднем для севооборота составляет 25-30 кг/га в год, если солома возвращается в почву, и 40-45 кг, если она удаляется с поля. Следовательно, количество серы, ежегодно теряемое почвой, составляет 60-110 кг/га в зависимости от урожая культур и интенсивности вымывания.

Схематично процессы трансформации и миграции серы в почве представлены на рис. 4.10.



Рис. 4.10. Трансформация и миграция серы в почве

Высокая отзывчивость на серосодержащие удобрения наблюдается обычно в районах, удаленных от морских берегов, или там, где происходит интенсивное вымывание и нет промышленных объектов. Во многих случаях при внесении серосодержащих удобрений отмечаются прибавки урожая бобовых и хлопчатника, а также зерновых культур.

ЖЕЛЕЗО

В растениях содержится небольшое количество железа – сотые доли процента (в зерне пшеницы – 0,02, в соломе – 0,03%). С урожаем с 1 га выносятся 1-10 кг железа. Поэтому его часто относят к группе микроэлементов. Содержание железа в общей массе урожая зерновых культур составляет около 1,5 кг/га, зернобобовых – до 2,2, сахарной свеклы и картофеля – до 12 кг/га. Больше железа содержится в нетоварной части урожая. Например, на корневую систему кукурузы приходится почти половина (44,1%) содержания его в растении, на зерно – только 15,7%, остальное – в листьях, стеблях и обертках початков. Следовательно, с урожаем железа удаляется мало.

Железо участвует в образовании хлорофилла, являясь составной частью ферментов, катализирующих синтез зеленого пигмента. Оно регулирует процессы окисления и восстановления сложных органических соединений в растениях, играет важную роль в дыхании растений, так как входит в состав дыхательных ферментов. Железосодержащий белок ферредоксин участвует в фотосинтезе и превращении азотсодержащих веществ в растениях. В клубеньках бобовых растений обнаружен железосодержащий белок – гемоглобин. При недостатке железа в растениях задерживается синтез ростовых веществ (ауксинов), листья становятся светло-желтыми, затем почти белыми. Наиболее чувствительны к недостатку железа плодовые культуры, люпин, капуста, томаты, картофель, кукуруза.

Содержание железа в почве колеблется в среднем в пределах 2-3% от ее массы. Однако в доступной для растений форме его немного. Это зависит от окислительно-восстановительного потенциала и реакции почвы. Например, начиная с pH 3 окисное железо выпадает в осадок в виде гидроксида. Следовательно, с усилением кислотности растворимость железа снижается, поэтому известкование почвы, устраняя ее кислотность, способствует переходу железа в более доступное для растений состояние.

Недостаток железа чаще всего наблюдается на карбонатных почвах, а также на почвах с высоким содержанием усвояемых фосфатов, что можно объяснить переводом железа в малодоступное состояние.

Дерново-подзолистые почвы отличаются избыточным количеством железа. На слабо аэрируемых кислых почвах часто содержится большое количество закисных соединений железа, которые оказывают отрицательное влияние на рост растений. Устранить это можно известкованием почвы.

Для борьбы с хлорозом растения опрыскивают раствором железного купороса с концентрацией около 0,05%. Иногда используют слабые растворы хлорного или лимоннокислого железа. В почву соединения железа не вносят, так как оно быстро переходит в неусвояемую форму. Можно применять комплексные органические соединения железа – хелаты. Железо в них не закрепляется почвой и бывает доступно растениям. Хелаты применяют не только для внесения в почву, но и для опрыскивания растений 0,1%-м раствором.

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ

Существенное значение в питании растений, формировании урожая и его качества имеют бор, марганец, молибден, медь, цинк, кобальт, йод. Содержание большинства этих элементов в растениях колеблется от тысячных до сотысячных долей процента. Поэтому они получили название микроэлементов.

Микроэлементы принимают участие во многих физиологических и биохимических процессах у растений. Они – обязательная составная часть многих ферментов, витаминов, ростовых веществ, играющих роль биологических ускорителей и регуляторов сложнейших биохимических процессов. Если ферменты – катализаторы, то микроэлементы можно назвать катализаторами катализаторов. Микробиологические процессы также протекают при участии энзимов, в состав которых входят микроэлементы.

4.17. Вынос микроэлементов с урожаями культур, г/га

Культура	Урожай, ц/га	Cu	Mn	Mo	Zn
Пшеница зерно	27	20	161	0,10	148
солома	38	20	292	0,54	158
Ячмень зерно	25	22	96	0,42	91
солома	22	22	180	0,35	104
Клевер (сено, 2 укоса)	60	114	541	7,00	366
Картофель (клубни)	201	44	42	0,74	99
Листовая капуста (весь урожай)	542	49	427	4,32	371

Растениям микроэлементы необходимы в ничтожно малых количествах. Однако недостаток их, как и избыток, нарушает деятельность ферментативного аппарата; а следовательно, и обмен веществ у растений. При недостатке микроэлементов растения заболевают: сахарная свекла, например, гнилью сердечка, лен – бактериозом, злаковые культуры на торфянистых и осушенных болотах – пустошерностью и т.д.

Микроэлементы ускоряют развитие растений, процессы оплодотворения и плодообразования, синтез и передвижение углеводов, белковый и жировой обмен веществ и т.д. Поэтому необходимо внимательно изучать потребность растений в каждом микроэлементе и оптимально ее удовлетворять. Следует помнить, что с усилением химизации земледелия значительно повышаются урожаи, а следовательно, и вынос микроэлементов из почвы (табл. 4.17).

Потребность в микроэлементах в значительной мере удовлетворяется при внесении навоза, а также некоторых минеральных удобрений, особенно сырых калийных солей, фосфоритной муки, томасшлака, золы и др. Значительное содержание бора, марганца, меди, цинка и кобальта в суперфосфате, по-видимому, связано с содержанием их в исходном фосфатном сырье (табл. 4.18). В навозе отмечается высокое

4.18. Содержание микроэлементов в минеральных и органических удобрениях, мг/кг

Удобрение	B	Cu	Mn	Zn	Co
Аммиачная селитра	0	следы	следы	следы	следы
Мочевина	–	–	0	–	–
Суперфосфат					
из апатита (Невский завод)	12,5	1,18	142,0	0,27	0,5
из фосфорита Каратау	–	–	31,2	–	10,6
двойной гранулированный (Волжский завод)	–	2,15	127,5	0,44	0,9
Фосфоритная мука (Кингисеппское месторождение)	–	2,10	22,5	9,94	1,44
Хлористый калий (Соликамск)	0	1,70	15,3	следы	2,8
Калийная соль	5,0	0,91	42,2	0,29	1,33
Нитрофоска (Московский завод)	–	1,47	15,0	0,20	0,7
Навоз	2,1	8,00	868,0	6,00	4,0
Торф низинный	10,2	–	326,0	–	4,1
Торф верховой	7,3	–	43,0	–	1,5

содержание всех микроэлементов. Следует отметить, что количество микроэлементов, поступающее с обычными дозами минеральных удобрений, намного меньше того, которое требуется для пополнения их почвенных запасов (табл. 4.18).

В минеральных удобрениях 70-75% валового содержания микроэлементов находится в подвижной форме, т.е. усвояемой для растений. Подвижность микроэлементов в навозе значительно меньше, чем в минеральных удобрениях, и составляет не более 25%. Однако однократное за ротацию внесение навоза в дозе 40 т/га полностью компенсирует вынос меди, марганца, молибдена четырьмя или пятью обычными культурами и почти полностью восполняет вынос цинка.

О содержании микроэлементов в почве и растении можно судить по данным табл. 4.19. Содержание микроэлементов в почве в доступной форме зависит от типа почвы (табл. 4.20). Оно резко колеблется даже в пределах одного типа почвы.

На содержание микроэлементов в почве оказывает влияние гранулометрический состав почвообразующих пород (табл. 4.21, Подколзин, Демкин, Бурлай, 2002).

4.19. Содержание микроэлементов в почве и растениях, мг/кг сухого вещества

Микроэлементы	Почва	Полевые культуры
Бор	1,5- 50,0	0 - 1,0
Медь	1,5- 30,0	7,0 - 20,0
Кобальт	0,4- 4,0	0,2 - 0,4
Молибден	0,2- 7,5	0,2 - 0,8

4.20. Содержание усвояемых форм микроэлементов в почвах, мг/кг

Почва	B (H ₂ O)	Cu (1 н. HCl)	Zn (1 н. KCl)	Mn (0,1 н. H ₂ SO ₄)	Mo (оксалат)	Co (1 н. HNO ₃)
Дерново-подзолистая	0,08 - 0,38	0,05 - 5,0	0,12 - 20,00	50,0 - 150	0,04 - 0,97	0,12 - 3,0
Чернозём	0,38 - 1,58	4,5 - 10,0	0,10 - 0,25	1,0 - 75	0,02 - 0,33	1,1 - 2,2
Серозём	0,22 - 0,62	2,5 - 10,0	0,09 - 0,12	1,5 - 125	0,03 - 0,15	0,9 - 1,5
Каштановая	0,30 - 0,90	8,0 - 14,0	0,06 - 0,14	1,5 - 75	0,09 - 0,62	1,1 - 6,0
Бурая	0,38 - 1,95	6,0 - 12,0	0,03 - 0,20	1,5 - 75	0,06 - 0,12	0,57 - 2,25

4.21. Валовое содержание микроэлементов в почвообразующих породах, мг/кг

Породы	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
Глины	140 - 150	25 - 40	620 - 800	1 - 20	8 - 52	до 54
Покровные суглинки	18 - 22	9 - 26	600 - 650	2,9 - 3,2	11,8 - 14,0	30 - 49
Пески	10 - 20	3,2 - 8,0	70 - 200	до 0,8	2,9 - 4,2	8,2 - 28

БОР

Благодаря особому строению электронной оболочки атома, бор может легко вступать в соединения почти со всеми химическими элементами, вследствие чего он участвует в образовании и поддержании структуры межмолекулярных и надмолекулярных комплексов биополимеров, прежде всего, белков, нуклеиновых кислот, липидов и полисахаридов. Комплексы перечисленных биополимеров лежат в основе важнейших компонентов клетки – рибосом, мембранного аппарата, хроматина и клеточных стенок. О значении бора в формировании клеточных стенок растений свидетельствует содержание ксилозы и арабинозы – составных компонентов гемицеллюлоз в проводящей системе, только у растений получивших дополнительно бор. Бор в растениях образует комплексы с такими органическими соединениями, как d-фруктоза, α-галактоза, α- и d-глюкоза, глицерин, α-маннит, пиридоксин и салициловая кислота. Этот элемент легко взаимодействует с метиловым спиртом – одним из компонентов пектиновых веществ.

Функции бора в растительном организме, прежде всего, связаны с метаболизмом углеводов; переносом сахаров через мембраны; синтезом ДНК, РНК и фитогормонов; образованием клеточных стенок и развитием тканей. Образование комплексов бора с углеводами влияет на направление расположения мицелл целлюлозы в клеточной стенке, что увеличивает его эластичность. Его роль особенно существенна в переносе сахаров через мембраны, поскольку боратнополисахаридный комплекс более подвижен, нежели полярные молекулы сахаров. Значительное влияние бор оказывает на фотосинтетическую деятельность растений: способствует увеличению количества и размеров хлоропластов, содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях, интенсивности фотосинтеза в утренние и вечерние часы и снижению полуденной ее депрессии, что связано с повышением водоудерживающей силы клеток. Бор принимает участие в процессах оплодотворения

и плодоношения: необходим для формирования жизнеспособной пыльцы и способствует быстрому ее прорастанию и росту пыльцевых трубок. Важная роль этому элементу отводится в фенольном обмене. Бор, как хороший комплексообразователь, связывает фенол в нетоксичное соединение. Этот элемент не входит в состав ферментов, но благодаря способности образовывать комплексы с полигидроксильными соединениями, влияет на скорость и направленность ферментативных реакций. В частности, бор воздействует на активность каталазы, инвертазы, оксидазы индолилуксусной кислоты, пероксидазы, полифенолоксидазы, пектазы и глюкозидазы. Бор стимулирует образование клубеньков на корнях бобовых растений. Под его воздействием повышается фиксация атмосферного азота этими растениями.

Недостаток бора приводит к нарушению анатомического строения растений.

При недостатке бора нарушаются синтез нуклеиновых кислот, а также образование, превращение и транспорт углеводов, формирование репродуктивных органов, происходят гибель меристематических клеток и деградация проводящей системы растений. Бор не может реутилизироваться, так как он не поступает из старых органов растения в молодые.

Характерным признаком борного голодания является появление черных некротических пятен на молодых листьях и верхушечных почках. У растений, испытывающих недостаток бора, накапливаются кофейная и хлорогеновая кислоты, ингибирующие рост; клетки плохо дифференцируются, нарушается развитие проводящей системы, листья становятся тонкими, цветки не образуются. В ситовидных трубках коагулирует цитоплазма, поэтому отток сахаров по флоэме резко тормозится, и они накапливаются в листьях. При недостатке бора искривляются и сжимаются сосуды, что нарушает транспорт воды и элементов минерального питания в клетки роста. Недостаток углеводов, воды и минеральных солей вызывает отмирание точек роста стеблей и корней. У растений, испытывающих недостаток бора, корни плохо снабжаются кислородом, снижается иммунитет.

Симптомы борного голодания для отдельных сельскохозяйственных культур следующие: сахарная и кормовая свекла заболевают гнилью сердечка, столовая свекла – внутренней черной пятнистостью, у льна отмирает точка роста вследствие поражения его бактериозом, у подсолнечника наблюдается побурение верхушки и прекращение роста молодых листьев, у картофеля отмечается повышенная заболеваемость клубней паршой, у табака наблюдается усыхание

верхушки, у плодовых культур под кожицей мелких плодов проявляются пробковые пятна, у косточковых плоды поражаются гуммозом и опробковением, у виноградных саженцев наблюдается некроз сосудов древесины. Эти болезни особенно проявляются в жаркие засушливые годы.

При известковании резко снижается содержание усвояемого бора в почве. По-видимому, он переходит в слаборастворимые соединения с известью. Кроме того, при известковании усиливается микробиологическая деятельность в почве, что приводит к иммобилизации усвояемых форм бора, так как микроорганизмы используют его на построение органического вещества своего тела. Нельзя забывать, что кальций, внесенный с известью, является антагонистом бора и задерживает поступление его в растение. Этим объясняется высокое положительное действие борных удобрений на произвесткованных кислых почвах. Эффективность их возрастает на фоне высоких доз минеральных удобрений, так как с высокими урожаями выносятся и больше бора из почвы.

Растения содержат различное количество бора. В зерне хлебных злаков его содержится от 4,7 (кукуруза) до 8,1 (пшеница) мг/кг сухого вещества, в бобовых – от 9,5 (чечевица) до 29 (соя), в семенах льна – 14,2, гречихи – 18,7, в клубнях картофеля – до 13, в корнях свеклы – до 32 мг/кг. Вынос бора с хорошими урожаями сельскохозяйственных культур составляет 30-270 г/га. Больше его выносят технические и бобовые культуры, меньше – злаковые (табл. 4.22).

Почвы содержат разное количество бора (табл. 4.23). Меньше всего его в почве тундры.

Недостаточно обеспечены бором дерново-подзолистые и лесостепные почвы, а также краснозёмы и торфяные почвы. Больше всего валового и усвояемого бора содержится в солонцах и солончаках.

4.22. Содержание бора в урожаях важнейших сельскохозяйственных культур

Культура	Содержание бора в урожае, г/га	Культура	Содержание бора в урожае, г/га
Зерновые	21 - 42	Картофель	70 - 140
Кукуруза (зелёная масса)	32 - 67	Кормовые корнеплоды	84 - 168
Клевер (сено)	41 - 82	Сахарная свёкла	136 - 272
Лен	47 - 94		

4.23. Содержание бора в почвах, мг/кг почвы

Почва	Валовой	Усвояемый	Почва	Валовой	Усвояемый
Почва тундры	1 - 2	до 0,1	Серозём	20 - 80	0,4 - 4,8
Дерново-подзолистая	2 - 5	0,04 - 0,6	Засолённая	20 - 120	0,9 - 40,0
Лесостепная	3 - 8	0,3 - 0,9	Краснозём	2 - 5	0,2 - 0,5
Чернозёмы	4 - 12	0,5 - 1,8	Торфяная	1 - 10	0,05 - 2,5
Каштановая	5 - 15	0,6 - 1,5			

Для решения вопроса о необходимости внесения борных удобрений важно знать количество в почве усвояемого бора, которое может значительно изменяться в пределах землепользования одного и того же хозяйства. Наиболее доступный для растений – водорастворимый бор.

Борные удобрения эффективны в том случае, когда в почве содержится меньше 0,3 мг водорастворимого бора на 1 кг почвы. Почвы Нечерноземной зоны по содержанию в них усвояемых форм бора делятся на пять групп (мг/кг почвы):

< 0,1	– очень бедная,
0,1 - 0,2	– бедная,
0,3 - 0,5	– среднеобеспеченная,
0,67 - 1,0	– богатая,
> 1,0	– очень богатая.

Эффективность борных удобрений чаще всего проявляется на вновь осваиваемых дерново-глеевых слабозаболоченных и торфяных почвах. От применения бора заметно повышается урожай корней и семян кормовых корнеплодов, семян клевера и люцерны. Положительно влияют борные удобрения на урожай гороха и кормовых бобов. Из зерновых культур наибольшей отзывчивостью отличается кукуруза. Положительный эффект от бора на пшенице, ржи, овсе, просе и ячмене наблюдается лишь на бедных этим микроэлементом известкованных верховых торфяниках.

МАРГАНЕЦ

Марганец принимает участие в окислительно-восстановительных процессах: фотосинтезе, дыхании, в усвоении молекулярного и нитратного азота, а также в образовании хлорофилла. Все эти процессы протекают под влиянием различных ферментов, а марганец – составная часть ферментов и их активаторов.

Физиологическая роль марганца в жизни растений определяется в значительной степени его участием в деятельности ферментов. Этот элемент входит в состав активных групп ряда ферментов, катализирующих различные звенья обменных реакций в клетках растений, где он выполняет роль связующего звена между коферментом, пирофосфатом и субстратом. Известно около 25 металлоферментных комплексов, активируемых марганцем. Этот элемент повышает активность окислительных ферментов аскорбиноксидазы и пероксидазы; играет важную роль в активировании реакций цикла Кребса; участвует в реакциях дегидрогенизации и декарбоксилирования. Фосфорилирование сахаров и их последующее расщепление до пировиноградной кислоты также не обходится без его участия. Велико значение марганца и для деятельности фермента малатдегидрогеназы, осуществляющего окисление яблочной кислоты до щавелевоуксусной, катализирующей выделение диоксида углерода из щавелевоуксусной кислоты с образованием пировиноградной. Марганец является также активатором декарбоксилазы щавелевоянтарной кислоты с образованием α -кетоглутаровой. Значительна потребность в нем дегидрогеназы изолимонной кислоты, участвующей в превращении изолимонной кислоты в щавелевоянтарную. К ферментам, зависящим в своем действии от марганца, относится декарбоксилаза пировиноградной кислоты, которая катализирует реакцию образования ацетальдегида при анаэробном дыхании. Марганец принимает участие в реакциях конденсации, в частности, превращении щавелевоуксусной кислоты в лимонную, изолимонной в щавелевоянтарную, α -кетоглутаровой в янтарную. Нуждаются в марганце и ферменты гликолитической фазы дыхания. Он непосредственно входит в состав аргиназы, фосфотрансферазы и гидроксилламинредуктазы.

Марганец является регулятором активности железа и способствует переходу закисного железа в окисное и обратно. Способствуя реоксидации активного двухвалентного железа в трехвалентное, марганец тем самым предохраняет клетку от отравления. Он принимает участие в процессе восстановления нитратов до аммиака. Этот элемент способен регулировать направленность окислительно-восстановительных процессов в растениях в зависимости от условий азотного питания: при аммиачном питании он действует как окислитель, при нитратном – как восстановитель. Марганец необходим для фотоллиза воды и восстановлению CO_2 при фотосинтезе. Этот элемент играет специфическую роль в поддержании структуры хлоропластов: в его отсутствие хлорофилл быстро разрушается на свету. Ионы марган-

ца принимают активное участие в окислении продуктов карбоновых кислот и, как следствие, в процессе дыхания растений. Марганец усиливает гидролитические процессы, в результате чего возрастает количество аминокислот, способствует оттоку ассимилятов из листьев к корням, стеблям и репродуктивным органам. Наличие марганца является необходимым условием для образования аскорбиновой кислоты. Он выполняет ключевую функцию в биосинтезе и поддержании структуры ДНК в ядре, причастен и к биосинтезу РНК. Он активизирует влияние индолилуксусной кислоты на ростовые процессы за счет ослабления ингибирующего действия яблочной и янтарной кислот. Марганец, усиливая синтез аминокислот, полипептидов, белков и аскорбиновой кислоты, оказывает существенное влияние на азотный обмен растения. Данный элемент принимает участие в процессах как фотосинтетического фосфорилирования в хлоропластах, так и в окислительном фосфорилировании в митохондриях, являющихся одним из источников энергии для различных биосинтезов.

Определенное влияние марганец оказывает на поглощение и включение в обмен веществ элементов минерального питания. При исключении его из питательной среды в растениях возрастает содержание других элементов минерального питания, нарушается их соотношение.

Роль марганца в различных физиолого-биохимических процессах изучал П.А. Власюк, установивший тот факт, что марганец действует как окислитель при аммиачной форме азота в почве, и, – как восстановитель – при нитратной .

При недостатке марганца в почве растения заболевают серой пятнистостью, которая может вызвать гибель растений, а при менее остром недостатке этого элемента резко снижается урожай сельскохозяйственных культур. Типичные признаки недостатка марганца прежде всего проявляются на овсе: на старых листьях появляются желтые и желто-серые пятна и полосы (отсюда и название болезни – серая пятнистость). В опытах с внесением марганца под злаковые травы, клевер, люцерну на бедной этим элементом болотной почве получены прибавки урожая от 5 до 20%. При недостатке марганца угнетается рост корней.

Марганец в растениях содержится в больших количествах, чем другие микроэлементы: от нескольких миллиграммов до нескольких сотен миллиграммов на 1 кг сухого вещества. Вынос марганца с урожаями различных сельскохозяйственных культур составляет 0,5 - 4,5 кг/га.

Валовое содержание марганца в почве выражается значительными величинами. По данным А.П. Виноградова, в пахотном слое различных почв содержится следующее количество марганца (в %):

в дерново-подзолистых	– 0,06-0,09,
лесостепных	– 0,06-0,20,
чернозёме	– 0,08-0,09,
каштановых	– 0,10-0,28,
краснозёмах	– 0,05-0,08,
серозёмах	– 0,08-0,29.

В почве марганец бывает двух-, трех- и четырехвалентным. В растения поступает только двухвалентная форма, находящаяся в почве или в обменном состоянии в почвенном поглощающем комплексе, или в почвенном растворе.

Окисленная форма марганца недоступна растениям, однако она при определенных условиях способна восстанавливаться до двухвалентной и поглощаться растениями. Например, при плохой аэрации почвы окисленная форма марганца анаэробными микроорганизмами почвы восстанавливается до двухвалентной формы. Поэтому в сильно уплотненных, плохо аэрируемых почвах всегда марганца больше, чем на рыхлых легких почвах. Рыхление почвы и другие приёмы, усиливающие ее аэрацию, способствуют уменьшению количества в ней подвижного марганца. Содержание усвояемого марганца увеличивается после увлажнения почвы. Иногда появляется необходимость в приемах, снижающих содержание в почве подвижного марганца. Потребность в марганце обычно возникает при недостаточном увлажнении, в засушливые годы и на легких почвах.

На усвоение марганца растениями в значительной мере влияет реакция почвы. Обычно недостаток его обнаруживается при pH 5,8 и больше. Марганцевая недостаточность наблюдается чаще всего на карбонатных почвах. На кислых же переувлажненных почвах часто наблюдается избыток подвижного марганца, который резко снижает урожай сельскохозяйственных культур. При избытке подвижного марганца в растениях нарушается углеводный, белковый и фосфатный обмен веществ, нарушаются процессы закладки генеративных органов, оплодотворения и налива зерна. Особенно вреден избыток марганца в почве для озимых культур, клевера и люцерны.

Избыток подвижных форм устраняется известкованием кислых почв, внесением навоза, фосфорных удобрений, в том числе суперфосфата в рядки или лунки. Эффективен также комплекс агротехнических приемов, направленных на создание хорошей аэрации почвы и уменьшение ее переувлажнения. Необходимость применения

марганцевых удобрений может возникнуть при избыточном внесении извести.

Известкование бедных марганцем почв может привести к недостаточности его для растений, при сильном же подкислении создается высокая концентрация марганца, что отрицательно действует на растения. Поэтому рекомендуется поддерживать рН почвы на возможно более высоком уровне.

Кислотность почвы может способствовать подвижности и доступности марганца, вплоть до явлений марганцевого отравления. Лучшее средство против кислотности – хорошее известкование почвы, нейтрализующее избыток марганца.

На содержание марганца в почве оказывают влияние удобрения. Например, аммиачные формы азота и хлориды калия повышают содержание подвижного марганца. Дерново-подзолистые почвы по обеспеченности подвижным марганцем, по данным Я.В. Пейве, делятся на 5 групп (мг/кг почвы):

< 0,1	– очень бедная,
0,1 - 10	– бедная,
11 - 50	– среднеобеспеченная,
51 - 100	– богатая,
> 100	– очень богатая.

Это разделение почвы ориентировочное и нуждается в проверке путем закладки полевых опытов.

МОЛИБДЕН

Роль молибдена в жизни растений довольно разнообразна. Он активизирует процессы связывания атмосферного азота клубеньковыми бактериями, живущими на корнях бобовых растений, оказывает положительное влияние на жизнедеятельность свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов, способствует синтезу и обмену белковых веществ в растениях, восстановлению нитратного азота. Он входит в состав фермента нитратредуктазы, восстанавливающего нитраты до аммония, без чего невозможен синтез белковых веществ.

Я.В. Пейве все биохимические процессы в растениях с участием молибдена подразделяет на 3 группы.

1. Действие молибдена на процессы восстановления нитратов, нитритов и гидроксиламида до аммиака и биосинтез аминокислот.

2. Участие молибдена в биохимических процессах, связанных с фиксацией молекулярного азота клубеньковыми бактериями в симбиозе с бобовыми культурами и свободноживущими почвенными микроорганизмами.

3. Влияние молибдена на биосинтез нуклеиновых кислот и белков.

Все эти процессы взаимосвязаны. Так, процесс восстановления нитратов связан с биосинтезом аминокислот и белков. Молекулярный азот, который восстанавливается до аммиака, также используется на построение белков и других азотсодержащих соединений у микроорганизмов и высших растений. При недостатке молибдена в растениях образуется меньше белков, накапливаются нитраты, нарушается обмен азотистых веществ. Молибден участвует в окислительно-восстановительных процессах, углеводном обмене, синтезе витаминов и хлорофилла. Недостаток его в почве приводит к замедлению образования хлорофилла, резкому снижению содержания аскорбиновой кислоты.

Симптомы молибденового голодания наиболее четко проявляются на крестоцветных, особенно цветной капусте, и бобовых растениях. Листья растений капусты сначала становятся пятнистыми, края листьев заворачиваются и завядают. При остром недостатке молибдена молодые центральные листья закручиваются в спираль. Листовая пластинка не развивается в ширину, так что внутренние листья состоят почти из листовых жилок. У бобовых вследствие ослабленной фиксации атмосферного азота проявляются признаки азотного голодания, урожай растений при этом резко снижается.

Молибдена в сухом веществе содержится очень мало (0,1-1,3 мг/кг). Больше его содержится в бобовых растениях. В различных растениях содержится следующее количество молибдена (в мг/кг сухого вещества): в корнях сахарной свеклы – 0,16, в листьях – 0,60, в сене красного клевера – 0,91, в зеленой массе желтого люпина – 1,12, в зерне пшеницы и овса – 0,16-0,19.

Если молибдена в кормах больше 10 мг/кг сухих веществ, животные часто страдают от так называемого молибденозиса. Токсическое действие молибдена на растения иногда проявляется на щелочных почвах, богатых подвижными его формами. На кислых дерново-подзолистых и светло-серых лесостепных почвах чаще всего отмечается недостаток молибдена, так как при повышенном содержании в почве подвижного алюминия, железа и марганца он переходит в неусвояемое состояние. На таких почвах нужно вносить молибден, особенно под бобовые культуры (горох, кормовые бобы, вику, клевер, люцерну, люпин). Хорошо отзываются на внесение молибдена также салат, цветная капуста и другие овощные культуры. Несколько меньшей отзывчивостью отличаются технические культуры: хлопчатник, лён, сахарная свекла. Зерновые хлеба слабо реагируют на внесение молибдена.

От внесения молибдена получены следующие прибавки урожая (в ц/га): вико-овсяной смеси (зеленая масса) – 44,7, люпина синего (зеленая масса) – 65,6, подсолнечника (зеленая масса) – 96,3, кормовой капусты – 81,3, помидоров – 75,0, кабачков – 79,2, свеклы кормовой – 57,7, турнепса – 43,2, яровой пшеницы – 1,1, гречихи – 3,2. Молибден не только повышает урожай сельскохозяйственных культур, но и улучшает качество продукции: увеличивается содержание белка, углеводов, аскорбиновой кислоты и каротина.

Содержание молибдена в значительной мере определяется типом почвы. Валовое содержание молибдена в почвах колеблется в пределах 1,5 - 12 мг/кг (табл. 4.24).

Наиболее богаты молибденом черноземные почвы, бедны – засоленные, каштановые и сероземы. Обычно в почвах тяжелого гранулометрического состава молибдена больше, чем в песчаных и супесчаных. По содержанию валового молибдена в почве не всегда можно определить обеспеченность растений этим элементом, так как для них важно наличие достаточного количества усвояемой формы молибдена, которая составляет 5-20% от валового содержания. Наиболее бедны подвижными формами молибдена дерново-подзолистые и лесостепные почвы, краснозёмы, наиболее богаты – чернозёмы, каштановые и сероземы.

Недостаток молибдена чаще всего наблюдается на дерново-подзолистых и светло-серых лесостепных почвах. Доступность его за-

4.24. Содержание молибдена в различных почвах, мг/кг почвы

Почва	Валовый (по Н.С. Авдонину)	Почва	Подвижный (по Г.А. Селевцевой)
Дерново-подзолистая	2,1	Дерново-подзолистая	0,05
Болотная	1,6	песчаная	0,14
Лесостепная	2,5	супесчаная	0,25
Чернозём	4,6	суглинистая	0,32
Каштановая	1,1	Лесостепная	0,46
Засолённая	0,95	Чернозём мощный	0,42
Серозём	1,3	Темно-каштановая	0,45
Краснозём	2,6	Каштановая	0,50
Горная	4,0	Серозём типичный	0,21
		Краснозём	0,30
		Торф верховой	

висит от реакции среды: подкисление почвы понижает доступность молибдена растениям, подщелачивание – повышает. Внесение кислых и физиологически кислых минеральных удобрений без известкования на этих почвах снижает доступность молибдена растениям.

До настоящего времени пока еще не разработаны точные показатели обеспеченности молибденом растений для всех почвенно-климатических районов нашей страны по содержанию его усвояемых форм в почве. Исследование этого вопроса представляет большое научное и практическое значение.

Дерново-подзолистые почвы по содержанию в них подвижного молибдена (в оксалатной вытяжке, мг/кг почвы) Я.В.Пейве делит на следующие группы:

< 0,05	– очень бедная,
0,05 - 0,15	– бедная,
0,2 - 0,25	– среднеобеспеченная,
0,3 - 0,5	– богатая,
> 0,5	– очень богатая.

Эти показатели ориентировочны и зависят от биологических особенностей растений, свойств почв и других факторов.

Потребность в молибдене, как и в других микроэлементах, возрастает при высоких урожаях сельскохозяйственных культур на фоне хорошей агротехники и применения высоких доз минеральных удобрений.

МЕДЬ

Медь необходима для жизни растений в небольших количествах. Однако без меди погибают даже всходы. Она участвует в процессах окисления, входит в состав окислительных ферментов, например полифенолоксидазы, усиливает интенсивность дыхательных процессов, что сказывается на характере углеводного и белкового обмена веществ, придает хлорофиллу большую устойчивость, усиливает фотосинтетическую деятельность зеленых растений. Без меди затрудняется синтез белка. В листьях бобовых содержится медьсодержащий белок – пластоцианин. Он входит в состав хлоропластов и, как полагают, необходим для фотосинтеза. Около 75% меди в листьях растений локализовано в хлоропластах. При этом более 20% общего ее содержания в хлоропластах сосредоточено во фракции полярных липидов, то есть в веществах, принимающих участие в окислительно-восстановительных реакциях фотосинтеза. Медь положительно влияет на содержание в листьях хлорофиллов и каротиноидов. Следовательно, участвуя в построении и функционировании фотосинтетического

аппарата и в первичных фотохимических реакциях, она способствует повышению интенсивности фотосинтеза.

Значительная роль принадлежит меди в азотном обмене растений. Она участвует в окислительном дезаминировании аминокислот. Доказана ее причастность к первичным звеньям усвоения минерального азота через регулирование деятельности ферментов нитрит- и нитрат-редуктазы, а также к биосинтезу аминокислот и синтезу белков через участие в нуклеиновом обмене.

Установлена роль меди и в фосфорном обмене. Этот элемент оказывает положительное действие на накопление фосфорных эфиров сахаров в растениях на начальных фазах их развития. Это является следствием положительного влияния микроэлемента на активность фосфорилазы. Медь способствует более интенсивному включению минерального фосфора в органические соединения и синтезу фосфолипидов и нуклеотидов. Медь, изменяя активность и направленность ферментов фосфорного и углеводного обмена, оказывает положительное влияние на биосинтез углеводов и их передвижение; усиливая интенсивность дыхания и фотосинтеза растений, активизирует поступление питательных элементов через корневую систему. В частности, имеются данные о положительном влиянии ее на поступление азота, фосфора и калия. Особая роль принадлежит меди в фиксации атмосферного азота. Об участии микроэлемента в этом процессе свидетельствует ее положительное влияние на синтез леггемоглобина и содержание аспарагина в растениях. Последний, как известно, является тем соединением, в форме которого первоначально связывается фиксированный азот.

Необходимо отметить также участие меди в гормональной регуляции в растении. Медьсодержащий фермент полифенолоксидаза регулирует содержание и активность в растениях ауксинов и ингибиторов роста фенольной природы. Это лежит в основе способности меди повышать устойчивость растений к полеганию и неблагоприятным условиям среды.

Важную роль она играет в водном балансе растений. При недостатке меди растения теряют тургор, листья становятся вялыми, поникшими.

Симптом медной недостаточности проявляется прежде всего у злаковых культур. Листья растений на концах становятся белыми и скручиваются, растения кустятся, но дают мало колосьев. В зависимости от степени недостаточности меди колосья или метелки частично или совсем бывают пустыми. Урожай зерна бывает небольшим, зерна – щуплыми, озерненность колоса – неполная. Следовательно, недостаток

меди сильнее всего влияет на формирование генеративных органов. Болезнь растений, вызываемую недостаточностью меди, называют белоколосицей, или «белой чумой». Иногда ее называют «болезнью вновь освоенных торфяных почв», так как чаще всего растения испытывают недостаток этого элемента при освоении заболоченных и торфяных почв. Не все растения одинаково чувствительны к недостатку меди. Например, ячмень, яровая и озимая пшеница более чувствительны, чем озимая рожь.

По данным М.В. Каталымова, содержание меди колеблется от 1,5 до 8,1 мг/кг сухого вещества. Вынос меди с урожаем пшеницы составляет (в г/га) 7,3, овса – 15, фасоли – 14,2, проса – 21, свёклы кормовой – 45,4, свёклы сахарной – 52,5, люпина жёлтого – 126, картофеля – 169,4.

Валовое содержание меди в почвах колеблется от 1 до 100 мг/кг. Наиболее богаты медью красноземы и желтозёмы, а самые бедные – торфяники. Однако по валовому содержанию этого элемента в почве нельзя судить о степени обеспеченности им. Из всех форм соединений меди в почве доступными для растений являются водорастворимая (ее менее 1 % от валового содержания) и поглощенная поверхностью коллоидов почвы. При вхождении меди в комплексные органические соединения подвижность ее резко снижается. Часть меди входит в кристаллическую решетку минералов. Усвояемые формы меди определяют по содержанию ее в вытяжке 0,5 н. азотной или 1 н. соляной кислоты. По содержанию подвижной меди в почвах определяют степень ее обеспеченности этим элементом и необходимость внесения медных удобрений.

Данные по обеспеченности почв медью, по Я.В. Пейве, приведены в табл. 4.25. Эти показатели ориентировочны и должны уточняться путем закладки полевых опытов по определению эффективности медных удобрений в зависимости от содержания усвояемой меди в почве.

4.25. Обеспеченность почвы медью, мг/кг почвы

Почва	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
Дерново-глеевая, торфяно-глеевая, дерново-сильноподзолистая, песчаная	4-5	2,5-3,5	1,0-2,5	0,5-1,0
Дерново-карбонатная суглинистая	4-6	2,0-3,0	–	–
Торфянистая (низинные, переходные и вересковые болота)	> 5	3,0-5,0	1,0-3,0	< 1
Дерново-подзолистая суглинистая	4-5	2,0-3,0	1,0-2,0	–

ЦИНК

Цинк участвует во многих физиолого-биохимических процессах растений. Главным образом он является катализатором и активатором многих процессов. Цинк окисляется в ферменте карбоангидразе, расщепляющей угольную кислоту на углекислый газ и воду, активирует каталазу, пероксидазу, липазу, протеазу и инвертазу. Он принимает участие в белковом, липоидном, углеводном, фосфорном обмене веществ, в биосинтезе витаминов (аскорбиновой кислоты и тиамина) и ростовых веществ – ауксинов. Цинк улучшает вододерживающую способность растений, повышает количество прочно связанной воды. Цинк принимает активное участие в синтезе ДНК и обеспечивает прочность связи хлорофилла с белком, предохраняя его от преждевременного распада, что приводит к увеличению содержания хлорофилла в листьях и усилению интенсивности фотосинтеза. Цинк участвует в процессах оплодотворения и развития зародыша.

Одной из важнейших функций цинка является его причастность к биосинтезу фитогормонов. В частности, при недостатке этого элемента заметно снижается содержание ауксинов. Это вызвано как ухудшением биосинтеза индолилуксусной кислоты (ИУК) из-за нарушений в образовании ее предшественника – триптофана, снижения активности триптофансинтетазы и содержания витамина В₆, связанного с синтезом триптофана, так и с усилением окислительного декарбоксилирования, ведущего к разрушению ИУК.

Цинк оказывает существенное влияние на поступление и обмен фосфора в растения.

Недостаток цинка приводит к нарушению обмена веществ у растений. Происходит распад белков под действием фермента рибонуклеазы, деятельность которого подавляется при достаточном содержании этого микроэлемента в растении. Цинковое голодание нарушает также углеводный обмен у растений: задерживается образование сахарозы и крахмала, больше накапливается редуцирующих сахаров. При нарушении фосфорного обмена в растениях больше накапливается минерального фосфора и уменьшается количество фосфорорганических соединений. При резком недостатке цинка нарушается процесс образования хлорофилла, в результате чего проявляется пятнистый хлороз, позже пятна приобретают красновато-бронзовую окраску.

Одним из признаков недостатка этого микроэлемента является образование на концах ветвей плодовых деревьев побегов с укороченными междоузлиями и мелкими листьями. Эта болезнь получила на-

звание розеточности. При этом ослабляется закладка плодовых почек, плоды бывают уродливые и мелкие. На однолетних культурах недостаток цинка обнаруживается очень редко. Наиболее чувствительны к его недостатку плодовые деревья, бобы, кукуруза, соя, фасоль, хмель и лен, менее – картофель, томаты, лук, люцерна, просо, свекла и красный клевер; совсем не реагируют овес, пшеница, горох, спаржа, горчица и морковь.

В растениях содержится мало цинка – 15-22 мг/кг сухого вещества. При большом количестве его в почве содержание в растениях может достигать сотых долей процента. Вынос цинка с урожаем характеризуется следующими величинами (в кг/га): сахарной свёклы – 1,2-2,1, картофеля – 1,6, горчицы – 1-1,5, капусты и тимopheевки – 0,058-0,076.

Обычно цинковое голодание растений, особенно овощных, плодовых, кукурузы, обнаруживается на карбонатных почвах, богатых известью, где подвижных форм цинка мало.

Цинк, как и медь, фиксируется поглощающим комплексом почвы и закрепляется в форме органических комплексных соединений. С увеличением рН доступность цинка уменьшается. Поэтому недостаток цинка чаще всего проявляется на песчаных карбонатных почвах и богатых кальцием болотных почвах. На усвояемость цинка отрицательно влияют и фосфаты почвы, которые могут образовывать с ним труднорастворимые соединения.

Валовое содержание цинка в различных почвах страны неодинаково (табл. 4.26). Количество подвижного цинка в почвах (эту форму его извлекают из почвы 0,1 н. хлористым калием) также подвержено значительным колебаниям. Снижение подвижности цинка на карбонатных почвах объясняется связыванием его известью в нерастворимые цинкаты кальция. Кроме того, кальций задерживает поступление цинка в растения, так как эти катионы являются антагонистами. Подкисление почвы обычно сопровождается увеличением содержания в почве подвижного цинка.

4.26. Содержание цинка в почве, мг/кг почвы

Почва	Zn	Почва	Zn
Тундровая	53 - 76	Чернозём	24 - 90
Дерново-подзолистая	20 - 67	Каштановая	–
		Серозём	26 - 63
Лесостепная	28 - 65	Краснозём	46 - 73

По данным Я.В.Пейве, почвы по обеспеченности их подвижным цинком делятся на следующие группы (мг/кг почвы):

- < 0,2 – очень бедная,
- 0,3-1,0 – бедная,
- 1,1-3,0 – среднеобеспеченная,
- 3,1-5,0 – богатая,
- > 5,1 – очень богатая.

Эта группировка почв по содержанию цинка ориентировочная и должна уточняться в конкретных почвенно-климатических условиях путем закладки полевых опытов.

КОБАЛЬТ

Содержание кобальта в растениях составляет 0,02-12 мг/кг сухой массы. Он поступает в растения в форме катиона, хелатных соединений и витамина В12. В растительном организме 50% кобальта находится в ионной форме, 20 % – в форме кобамидных соединений и в составе витамина В12, 30% приходится на неидентифицированные высокостабильные органические соединения. Кобальт в органическом комплексе – витамине В12 – в 100000 раз активнее неорганического кобальта.

Физиологическая роль кобальта в растениях, в первую очередь, связана с его участием в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в клетке. Кобальт участвует в реакциях изомеризации. В частности, он катализирует превращение глутамина в метиласпарагиновую кислоту и метил-малонил-коэнзим. Кроме того, кобамидные коэнзимы принимают участие в миграции водородных радикалов в пределах пиррольных ядер и в реакциях внутримолекулярного переноса водорода при превращении диолов в альдегиды. В форме катиона кобальт катализирует окисление каротина, органических и ненасыщенных жирных кислот. Он участвует в таких ферментативных реакциях как карбоксилирование и декарбоксилирование, гидролиз пептидных связей и фосфорных эфиров, перенос фосфорных групп. Кобальт повышает активность ферментов фосфатазы, аргиназы, лецитиназы, аминоксипептидазы, нитратредуктазы, гидрогеназы, аскорбиноксидазы, каталазы и пероксидазы. Аргиназа, аминоксипептидаза, лецитиназа и нитратредуктаза относятся к ферментам азотного обмена, что предопределяет влияние кобальта на этот важнейший процесс метаболизма. Изменяя активность каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы и щелочной фосфатазы, он в определенной степени регулирует интенсивность дыхания растений. Кобальт, влияя на активность гидролитических ферментов протеазы

и липазы, стимулирует физиолого-биохимические процессы в прорастающих семенах.

Установлено, что кобальт в определенной степени оказывает стимулирующее действие на ДНК, участвуя в процессах спирализации и деспирализации ее молекул. Одновременно этот элемент влияет на разрушение перекисей в процессе их формирования, активизирует синтез рибонуклеиновых кислот в растениях и участвует в изменении проницаемости плазмалеммы, тем самым способствуя избирательному поглощению корневой системой ионов из внешней среды. Кобальт способствует насыщению листа хлоропластами. Он положительно влияет на содержание хлорофилла и повышает его устойчивость. Действие кобальта на накопление хлорофилла обусловлено положительным его влиянием на устойчивость хлорофилл-белково-липидного комплекса. Увеличивая количество хлорофилла и его фотосинтетическую активность, кобальт повышает в целом интенсивность фотосинтеза. Он способствует более интенсивному оттоку ассимилятов из листьев и проводящей системы в стебли, корни и репродуктивные органы. Кобальт оказывает положительное влияние на рост надземных органов и корневой системы растения. При этом он способствует более раннему цветению и сокращению продолжительности вегетационного периода растений. В основе механизма влияния кобальта на рост и развитие растений лежит его связь с гормональным балансом клетки, преимущественно в звене ауксин-этилен.

Кобальт способствует более интенсивному поглощению растениями азота, фосфора, калия и марганца. Необходимость кобальта для азотфиксации связана с положительным влиянием витамина В₁₂ на количество и качество леггемоглобина, содержащегося в клубеньках бобовых растений. С помощью кобамидных коферментов в клубеньках активизируется биосинтез белковых соединений вообще и синтез азотфиксирующего фермента нитрогеназы в частности, что в итоге усиливает процесс азотфиксации. Усиление азотфиксации кобальтом может происходить и путем его положительного влияния на гидрогеназу. Она, как известно, является ферментом, осуществляющим активацию водорода. Кобальт играет важную роль в энергетическом обмене, под его влиянием возрастает количество АТФ.

При недостатке кобальта ослабевают физиолого-биохимические процессы и рост растений; снижается продуктивность и ухудшается качество урожая. Основные симптомы его недостатка у растений: слабый рост, межжилковый хлороз листьев, высокая стерильность цветков и низкая продуктивность растений. Симптомы недостатка кобальта у растений сходны с признаками азотного голодания. Внеш-

ние признаки кобальтовой недостаточности четко проявляются в основном у бобовых растений. При избытке кобальта в питательной среде рост корневой системы резко ограничивается, а листья становятся хлоротичными.

Кобальт необходим не только растениям, но и животным. Он входит в состав витамина В₁₂, при недостатке которого нарушается обмен веществ – ослабляется образование гемоглобина, белков, нуклеиновых кислот, и животные заболевают акабальтозом, сухоткой, авитаминозом.

Кобальта в растениях немного (0,2-0,6 мг/кг сухого вещества). Чтобы животные не испытывали недостатка в нем, кормовые культуры должны содержать 0,7 мг этого микроэлемента на 1 кг корма.

Оптимальная для растений доза кобальта в питательном растворе 0,06 мг/л. Среднее содержание кобальта в почвах составляет $1 \cdot 10^{-3}\%$ (Власюк, 1969). Поступление этого элемента в растения усиливается с подкислением реакции среды, т.е. аналогично другим микроэлементам (кроме молибдена).

Йод

Среднее содержание йода в растениях составляет 0,42 мг/кг сухой массы, а колебания достигают величин порядка 0,01-2,50 мг/кг, т.е. различаются в 250 раз. Наибольшие количества йода концентрируются в подземных органах – корнях и корневищах. Из надземных органов растения наивысшим содержанием микроэлемента характеризуются листья по сравнению со стеблями и зерном. Йод в растениях входит в состав структурных компонентов клетки и принимает непосредственное участие в важнейших метаболических процессах. Он присутствует в составе аминокислот, пептидов, полипептидов и белков. Кроме того, йод является компонентом биологически высокоактивного соединения – гормона тироксина (тетраиодтиронины). Являясь активным донором или акцептором электронов и создавая сильное электромагнитное возмущение, ионы йода могут оказывать косвенное, неспецифическое воздействие на активность ферментов и на связанные с их деятельностью окислительно-восстановительные, транспортные или гидролитические и синтетические процессы метаболизма растений. Йод изменяет вязкость протоплазмы, количество белков, их структурные и конформационные свойства, а вместе с этим и водный режим растений. Этот элемент оказывает воздействие и на продуктивность фотосинтеза, изменяя состояние воды в растениях и активируя биосинтез пластидных пигментов, основу которых составляют белковые соединения. Кроме того, не исключено и прямое

действие ионов йода, обладающих сильными физическими характеристиками и переменной валентностью, на реакции фотосинтеза, связанные с переносом электронов. Йод, участвуя непосредственно в азотном обмене и окислительно-восстановительных процессах, оказывает влияние на углеводный обмен и интенсивность фотосинтеза. Повышая общий уровень фотосинтетической активности растений, он усиливает ростовые процессы и продуктивность.

Йод также представляет интерес с точки зрения недостатка его для животных, так как он стимулирует деятельность гормона тироксина. Убедительных опытных данных о необходимости его для растений пока нет. Однако установлено благоприятное действие йода для разных культур при концентрациях его от 0,025 до 0,02 мг/л. В водных и песчаных культурах при содержании его свыше 1 мг/л воды и 1 кг почвы отмечалось отрицательное его влияние на томаты.

Йод может поглощаться листьями растений из атмосферы. Вынос его с урожаем около 10 г/га. Среднее содержание в почвах следующее (в %): в чернозёмах и каштановых – $5,3 \cdot 10^{-4}$, в лесостепных – $2,6 \cdot 10^{-4}$, в сероземах – $2,5 \cdot 10^{-4}$, в дерново-подзолистых – $2,5 \cdot 10^{-4}$, в торфянистых – $1,2 \cdot 10^{-4}$, в красноземах – $1 \cdot 10^{-3}$. В течение года с осадками йода попадает в почву от 9 до 50 г/га. Некоторое количество йода вносится в почву с сырыми калийными солями.

Недостаток йода в воде и пище вызывает заболевание щитовидной железы, особенно в горных районах, где меньше содержится йода. С профилактической целью применяют поваренную соль, обогащенную этим элементом.

СЕЛЕН

Среднее содержание селена в растениях находится в пределах 0,01-10,0 мг/кг сухой массы. Максимальное количество этого элемента содержится в растениях зерновых культур, меньше его в корне и клубнеплодах. Основным источником селена для питания растений служит почва. В процессе поглощения селена корневой системой растений важную роль играют ионообменные процессы. Избыток соединений селена связывается органическими кислотами и выводится из растений. Этот элемент в растениях находится в виде следующих соединений: элементарного селена, селенатов, селенитов, аналогов серосодержащих аминокислот и селенопептидов. Селен выполняет жизненно важные функции растительного организма. В частности, этот элемент влияет на ряд гликолитических и дыхательных ферментов. Наличие селена в среде является необходимым условием биосинтеза формиатдегидрогеназы. Этот элемент активи-

зирует также фермент фумаразу. Имеются данные о его положительном влиянии на активность нитратредуктазы. Селен снижает частоту мутаций у растений и стимулирует деление клеток. Этот элемент может замещать серу в метионине и цистеине. При этом первоначально синтезируется селенометионин, который далее преобразуется в селеноцистеин, селеноцистатин. Активный синтез этих небелковых аминокислот наиболее характерен для растений-аккумуляторов селена.

Селен может замещать серу и у некоторых ферментов. Соединения селена активируют папаин и дегидрогеназу 3-фосфоглицеринового альдегида. Это служит указанием на влияние селеноорганических соединений на процессы гликолиза и гидролиза белков в растениях. Селен участвует в реакциях образования хлорофилла, синтезе трикарбоновых кислот, а также в метаболизме длинноцепочных жирных кислот. Все это, а также присутствие в растительных клетках ферродоксинов, содержащих вместо серы селен, свидетельствует об участии этого элемента в процессах фотосинтеза. Селен оказывает антагонистическое влияние на поглощение и транспорт тяжелых металлов растениями, повышает устойчивость к водному стрессу, соле- и засухоустойчивости. Как избыток, так и недостаток селена в питательной среде одинаково отрицательно сказываются на росте и развитии растений. При избытке селена наблюдается накопление свободных растворимых аминокислот и торможение синтеза белка.

Определить по внешним признакам недостаток для растения того или иного микроэлемента практически бывает очень трудно. Поэтому в каждом конкретном случае решение о применении микроудобрений для растений станет необходимым в том случае, если точно установлен его недостаток. При этом следует учитывать рН почвы, свойства поглощающего комплекса, влажность почвы, наличие других ионов, выращиваемую культуру и т.д. Следует помнить, что при неправильном применении микроудобрений легко можно превысить порог токсичности, что нанесет урожаю и качеству продукции непоправимый ущерб.

Часть 2.

ВИДЫ УДОБРЕНИЙ, ИХ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА, УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДОЗ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

В связи с многофункциональной ролью удобрений в агроценозе, а именно они являются не только источником питательных веществ для растений, но и усиливают их мобилизацию в почве, повышают энергию жизненных процессов в ней, изменяют свойства почвы, выполняют многие экологические функции, – значение их динамично возрастает с повышением продуктивности земледелия. Это подтверждает опыт ведения сельского хозяйства как в нашей стране, так и во многих высокоразвитых странах мира.

В настоящее время в мировом земледелии применяется широкий ассортимент различных видов и форм удобрений. Это и минеральные удобрения, выпускаемые химической промышленностью, и использованные в качестве агрохимических средств местные сырьевые ресурсы, отходы животноводства, различных отраслей промышленности и коммунального хозяйства.

По характеру воздействия на почву и рост растений удобрения делятся на прямые и косвенные. Внесение прямых удобрений способствует улучшению питания растений в отношении азота, фосфорной кислоты, калия и других элементов. К этой группе относят азотные, фосфорные, калийные и другие удобрения. К косвенным относят известь, гипс и другие удобрения, улучшающие прежде всего свойства почв.

По характеру действия на почву и растения удобрения подразделяют на прямые и косвенные. Под *прямыми* понимают удобрения, применяемые ради содержащихся в них элементов питания, необходимых растениям, а под *косвенными* – вещества, которые используют для улучшения свойств почвы. К группе прямых – относятся все виды минеральных и органических удобрений. К косвенным удобрениям относятся средства химической мелиорации (известь, гипс, фосфогипс)

и бактериальные препараты, способствующие усилению активности биологических процессов в почвах. Такое деление довольно условное, т.к. каждое из этих удобрений может оказать и прямое, и косвенное воздействие. Попадая в почву, удобрение не только улучшает минеральное питание растений, но и оказывает влияние на агрохимические свойства почвы. Влияние на почву может быть как положительным, так и отрицательным. Например, сульфат аммония может оказывать не только прямое положительное влияние на питание растений азотом и серой, но и косвенное – подкислять почву.

Косвенные удобрения, такие как известь, гипс, помимо устранения кислотности или щелочности почвы, могут оказывать и прямое действие, благодаря содержанию в них необходимого для питания растений элемента – кальция.

По составу или происхождению удобрения подразделяют на минеральные, органические и микробиологические (в т.ч. бактериальные).

Минеральные удобрения – это промышленные продукты или ископаемые вещества, содержащие необходимые для питания растений элементы в минеральной форме. Они, как правило, содержат элементы питания в форме минеральных солей, реже в составе органических соединений. В настоящее время в общем балансе вносимых в почву питательных веществ, на долю минеральных удобрений приходится около 60%. Минеральные удобрения подразделяют на макро- и микроудобрения.

Органические удобрения – это свежие или биологически переработанные вещества растительного или животного происхождения, используемые в качестве удобрения для повышения плодородия почв.

Микробиологические (в т.ч. **бактериальные**) **удобрения** – это препараты, содержащие культуру микроорганизмов, способствующих улучшению состава и повышению активности полезного микробиологического сообщества почвы, благодаря которому создаются благоприятные условия для минерального питания растений.

В зависимости от влияния на реакцию почвенного раствора различают *физиологически кислые, щелочные и нейтральные* минеральные удобрения. К физиологически кислым относят удобрения, катионы которых больше поглощаются растениями, чем анионы, и в результате подкисляют почвенный раствор. К физиологически щелочным удобрениям принадлежат такие удобрения, анионы которых лучше ассимилируются растениями, а катионы постепенно накапливаются и, соединяясь с гидроксидом, подщелачивают почву. Физиологически нейтральные минеральные удобрения не изменяют реакцию почвенного раствора.

Под *действующим веществом* понимается элемент питания, содержащийся в удобрении. Оно выражается в процентах от физической массы: в азотных удобрениях – в расчете на N, в фосфорных – P_2O_5 , в калийных – K_2O , в магниевых – MgO , микроудобрения – на одноименные микроэлементы.

Норму или дозу удобрений в действующем веществе в кг/га показывают в виде подстрочного индекса, например $N_{60}P_{90}K_{30}$.

В зависимости от места получения и происхождения удобрения делятся на *промышленные, местные и нетрадиционные*. Схема классификации удобрений представлена на рис. 5.0.

Минеральные удобрения делятся на *однокомпонентные* (простые, односторонние), содержащие один элемент питания и *комплексные* (многосторонние), включающие одновременно не менее двух эле-



Рис. 5.0. Классификация удобрений

ментов питания. К однокомпонентным относятся азотные, фосфорные, калийные и микроудобрения.

Для сокращенного выражения состава той или иной марки комплексных удобрений принято обозначать содержание в них действующих веществ цифрами, отделяемыми друг от друга знаками тире. Первая цифра означает процентное содержание азота (N), вторая – фосфора (P_2O_5), третья – калия (K_2O). Действующие элементы, входящие в состав комплексных удобрений, сокращенно обозначают N, P, K. Например, N : P : K - 17 : 17 : 17.

Соотношение действующих веществ в комплексных удобрениях также обозначают цифрами, при этом содержание азота принимают за единицу. Для удобрения приведенного выше состава, это соотношение будет 1:1:1.

Иногда удобрения подразделяют на макро- и микроудобрения. Макроудобрения содержат макроэлементы (N, P, K, а иногда и Ca, Mg, S), т.е. те элементы, которые входят в состав растений и потребляются ими в значительных количествах (от сотых долей до нескольких процентов от веса сухой массы). Микроудобрения содержат микроэлементы, которые имеются в растениях и потребляются ими в микро- и ультрамикроколичествах, т.е. от тысячных долей процента до 10^{-6} и даже 10^{-12} процента на сухой вес растений.

Удобрения способствуют повышению урожая и улучшению качества растений. Поэтому в мире систематически растет их производство и применение.

ГЛАВА 5.

МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

В настоящее время в мире выпускаются азотные удобрения, содержащие азот в следующих формах:

- 1) аммиачная и нитратная (NH_4NO_3);
- 2) аммиачная ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4Cl);
- 3) нитратная (NaNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3);
- 4) амидная ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$).

Схематично классификация азотных удобрений представлена на рис. 5.1.

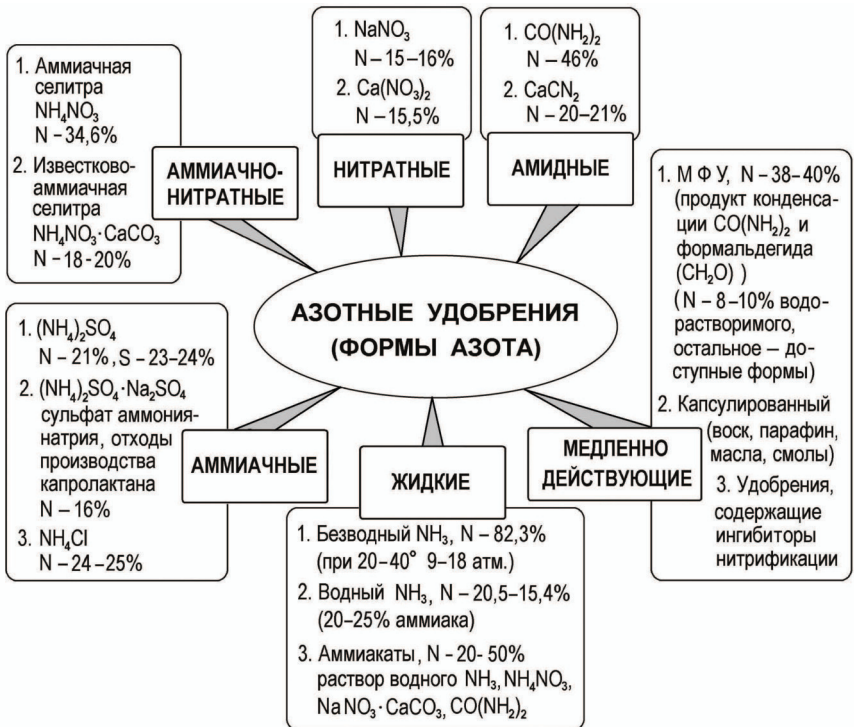


Рис. 5.1. Классификация азотных удобрений

АММИАЧНО-НИТРАТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

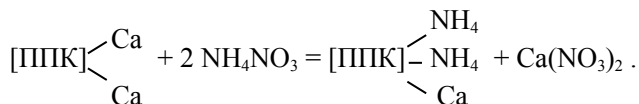
Аммиачная селитра (нитрат аммония, азотнокислый аммоний) NH_4NO_3 содержит 34,6% азота, образуется при нейтрализации 50-60%-й азотной кислоты газообразным аммиаком: $\text{HNO}_3 + \text{NH}_3 = \text{NH}_4\text{NO}_3$. Для выделения NH_4NO_3 раствор упаривают до содержания 95-98% NH_4NO_3 , подвергают кристаллизации, соль отделяют центрифугированием и высушивают.

Аммиачная селитра в настоящее время выпускается в виде гранул диаметром 1-3 мм, а также в виде чешуек (чешуйчатая селитра). Основные требования к аммиачной селитре: содержание азота не менее 34,6%, влажность не более 0,4%, реакция нейтральная или слабокислая, нерастворимых примесей не более 0,1%. Аммиачная селитра очень гигроскопична, на воздухе отсыревает и слеживается. Для предохранения от слеживаемости в аммиачную селитру добавляют молотый известняк, мел, фосфоритную муку, фосфогипс и другие добавки, не разлагающие ее, но сильно поглощающие влагу. Общее содержание припудривающих добавок допускается от 3,0 до 5,0% от массы нитрата аммония.

Для улучшения физических свойств селитры ее можно смешивать при хранении с преципитатом, а также с фосфоритной мукой (для подзолистых почв). Непосредственно перед внесением в подзолистую почву азотнокислый аммоний смешивают также с 30-40% углекислого кальция. При этом получается малогигроскопичная смесь, удобная для машинного посева.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ С ПОЧВОЙ

В почве азот NH_4NO_3 легко поглощается микроорганизмами, а при их отмирании и минерализации вновь становится доступным для растений. После внесения в почву аммиачная селитра растворяется и вступает в реакцию с почвенным поглощающим комплексом (ППК):



В результате обменного поглощения аммоний адсорбируется коллоидами почвы, а NO_3^- образует в растворе соли щелочных или щелочноземельных металлов. При недостатке в почве кальция на кислых подзолистых почвах внесение аммиачной селитры может вызвать некоторое подкисление почвенного раствора. На почвах, насыщенных основаниями (чернозём, серозём), даже при систематическом внесении высоких доз аммиачной селитры подкисления почвен-

ного раствора не происходит. Местное подкисление носит временный характер, однако может оказывать отрицательное влияние на начальный рост растений.

Аммонийная часть селитры может подвергаться нитрификации, что также временно подкисляет почву. Часть нитратного азота в результате денитрификации переходит в газообразное состояние (N_2 , N_2O , NO и др.) и теряется. В первый год азота из азотных удобрений используется 40 - 50%; 10 - 20% нитратного и 20 - 40% аммиачного азота превращается в органическую форму (иммобилизуется), не более 10 - 15% которой усваивается растениями на второй год (2 - 3% от внесенного с удобрениями). Особенно интенсивно процесс иммобилизации протекает при запашке в почву растительных остатков, содержащих мало азота и много углерода (соломы злаков, солоमистого навоза и т.д.). Азот удобрений мобилизует азот почвы, который также усваивается растениями, что приводит к заметному повышению коэффициента его использования.

Из азотных удобрений аммиачная селитра наиболее эффективна. В нашей стране она применяется под все культуры и во всех земледельческих зонах при основном внесении, в рядки при посеве (посадке) культуры и как подкормка в процессе вегетации растений. В районах достаточного увлажнения и при орошении в качестве основного это удобрение лучше вносить весной при предпосевной обработке почвы, а в засушливых условиях, при недостаточном увлажнении – с осени, под зяблевую вспашку. При рядковом внесении хороший эффект получается совместно с фосфором и калием под свеклу, картофель и др. Высокоэффективно это удобрение при подкормке озимых зерновых и пропашных культур.

Нужно помнить, что в аммиачной селитре половина азота содержится в нитратной форме, легко мигрирующей по профилю почвы. Поэтому на хорошо дренированных почвах легкого гранулометрического состава в районах достаточного и избыточного увлажнения и орошения аммиачную селитру нужно вносить во время наибольшего потребления азота растениями. Это предотвращает его потери за пределы корнеобитаемого слоя и способствует повышению коэффициента использования азота аммиачной селитры.

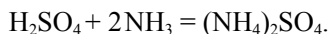
Известково-аммиачная селитра ($NH_4NO_3 \cdot CaCO_3$) содержит 18 - 20% азота, обладает лучшими физическими свойствами, чем аммиачная селитра. Широко производится в странах Западной Европы. В нашей стране ее не выпускают из-за малой транспортабельности.

АММИАЧНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Для производства аммиачных азотных удобрений используется аммиак различных источников. Отходящие газы коксовых печей промывают водой, затем NH_3 выделяют из кипящего раствора с добавлением в него известкового «молока» (суспензия $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в воде) и связывают серной кислотой. Используются также синтетический аммиак и аммиак, образующийся при получении горючих газов из торфа.

К аммиачным удобрениям относятся сульфат аммония, хлористый аммоний, жидкие аммиачные удобрения.

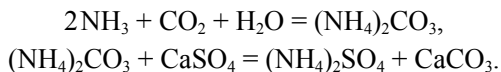
Сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, содержащий около 21% азота, получают нейтрализацией серной кислоты аммиаком:



Образующийся в насыщенном растворе осадок $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ отделяют центрифугированием и высушивают. В сульфате аммония присутствуют примеси: соединения Ca , Mg , SiO_2 , а также 0,2 - 0,5% свободной серной кислоты.

Коксохимический сульфат аммония содержит до 0,1% роданистого аммония (NH_4CNS), который токсичен для растений, особенно на почвах с низким содержанием гумуса и кальция.

Для производства сульфата аммония с успехом можно использовать гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) или глауберову соль ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Размельчённый гипс взбалтывают в аммиачной воде и пропускают углекислоту. В результате взаимодействия аммиака, углекислоты и гипса образуется серноокислый аммоний:

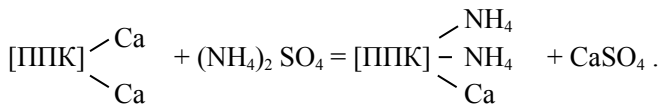


После этого CaCO_3 отфильтровывают. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ упаривают до кристаллизации, отделяют его центрифугированием от маточной жидкости и высушивают. Получается готовое удобрение.

Сульфат аммония хорошо растворяется в воде, мало слеживается, хорошо сохраняет рассыпчатость. Это химически нейтральная соль, но при производстве готовый продукт всегда содержит небольшое количество свободной кислоты, вследствие чего удобрение приобретает слабоокислый характер. В сульфате аммония содержится 23 - 24% серы, поэтому он является хорошим источником серного питания растений.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СУЛЬФАТА АММОНИЯ С ПОЧВОЙ

После внесения в почву значительная часть катионов NH_4^+ из растворенного сульфата аммония входит в поглощающий комплекс:



Способность почвы поглощать аммоний имеет существенное значение: предохраняет его от вымывания в увлажненных районах и при орошении; однако при подкормке он может не использоваться.

Часть аммиачного азота переходит в нитратную форму в результате нитрификации, что ведет к подкислению почвенного раствора. Подкисление вызывается также и физиологической кислотностью этого удобрения. Многократное внесение обычных доз сернокислого аммония приводит к заметному изменению реакции почвенного раствора. На кислых почвах отрицательное действие сульфата аммония проявляется уже через несколько лет. На чернозёме его можно применять более длительное время. По данным Мироновской опытной станции на Украине внесение $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в течение 14 лет следующим образом изменило реакцию почвы: pH от 6,0 до 4,9; обменная кислотность почвы возросла в 1,5, а гидролитическая – почти в 2,5 раза. На урожайности это не сказалось, так как чернозёмы обладают высоким содержанием гумуса, большой буферностью и ёмкостью поглощения. На каштановых почвах и сероземах нет основания опасаться подкисления карбонатных почв при внесении физиологически кислых удобрений.

Подкисляющее действие и эффективность сульфата аммония зависят от типа почвы, доз и длительности его применения, биологических особенностей возделываемых культур и т.д. На чернозёмах и серозёмах он весьма эффективен, а подкисление, вызванное им, даже положительно влияет на мобилизацию питательных веществ почвы. На дерново-подзолистых почвах в сочетании с известкованием сульфат аммония не уступает другим формам азотных удобрений. На этих почвах длительное его применение в высоких дозах без известкования существенно ухудшает свойства почвы, рост и продуктивность растений. Овес, озимая рожь, лен, картофель на подкисляющее действие сульфата аммония реагируют слабее, чем свекла, кукуруза, конопля, ячмень и яровая пшеница.

Вследствие слабой миграции аммония это удобрение эффективно в основном на легких почвах, в районах достаточного увлажнения и т.д. При внесении в рядки и в качестве подкормки сульфат аммония менее эффективен по сравнению с другими азотными удобрениями.

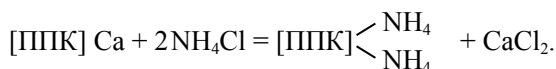
В сельском хозяйстве используется и небольшое количество *сульфата аммония-натрия* $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$ – отхода производства

капролактана. Он содержит около 16% азота, 20-25 – Na_2SO_4 и 9% Na_2O . Наличие в нем натрия и серы делает его хорошим удобрением для свеклы, для растений семейства крестоцветных, хорошо отзывающихся на эти элементы.

Хлористый аммоний NH_4Cl содержит 24-25% азота. Это побочный продукт аммиачно-содового производства:



Осадок бикарбоната натрия отфильтровывают, фильтрат упаривают до кристаллизации NH_4Cl и получают белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде. NH_4Cl обладает хорошими физическими свойствами: малогигроскопичен, не слеживается, хорошо рассеивается машинами, в почвах быстро растворяется и вступает в обменные реакции:



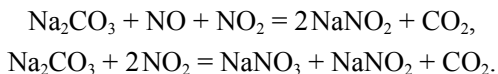
Как и серноокислый аммоний, он подвергается нитрификации, обладает физиологической кислотностью. Повысить эффективность хлористого аммония можно теми же способами, что $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (известкованием почвы, предварительной нейтрализацией удобрения – на 1 ц NH_4Cl 1,4 ц CaCO_3 , совместным применением удобрений со щелочными солями, сочетанием с органическими удобрениями).

По удобрительному действию NH_4Cl часто уступает $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

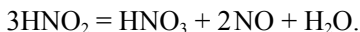
Хлористый аммоний содержит много хлора (66,6%) и может снизить качество урожая таких культур, как картофель, табак, лен, гречиха, виноград, цитрусовые, овощные, плодово-ягодные, чрезвычайно чувствительных к хлору. Для зерновых культур при обычных дозах азота хлорид и сульфат аммония чаще всего оказываются равноценными. Под чувствительные к хлору культуры не следует вносить NH_4Cl в повышенных дозах. Более безопасно вносить его заблаговременно как основное удобрение.

НИТРАТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Натриевая селитра NaNO_3 содержит 15-16% азота и является побочным продуктом при производстве азотной кислоты из аммиака. Непоглощенные нитрозные газы (NO и NO_2) пропускают через поглощительные башни, орошаемые раствором соды или натриевой щёлочи:

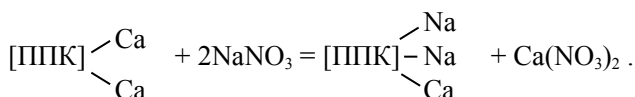


Для перевода нитрита в нитрат смесь подкисляют азотной кислотой. В кислой среде азотистая кислота распадается:



После этого NO возвращают в окислительные башни для окисления в NO₂. Раствор нейтрализуют, упаривают до кристаллизации и центрифугированием отделяют осадок NaNO₃ от маточного раствора. Получается кристаллический порошок нитрата натрия белого или сероватого цвета.

Натриевая селитра хорошо растворяется в воде, гигроскопична, в сухом состоянии и при правильном хранении сохраняет рассыпчатость и удобна для внесения. Растворяясь в почвенном растворе, NaNO₃ вступает в обменные реакции с почвенным поглощающим комплексом:



Связывание NO₃ в почве происходит только биологическим путём. Нитратный азот сохраняет высокую подвижность в почве, что в условиях влажного климата или при обильном орошении на легкодренируемых почвах приводит к вымыванию нитратов. Поэтому на хорошо дренируемых почвах и при орошении селитру лучше применять в качестве подкормки.

Натриевая селитра – физиологически щелочное удобрение. Это благоприятно сказывается на кислых почвах, так как многократное внесение ее уменьшает гидролитическую и обменную кислотности, увеличивает сумму и степень насыщенности почв основаниями. Это удобрение успешно применяется на различных почвах под все сельскохозяйственные культуры. На чернозёмах действие NaNO₃ и (NH₄)₂SO₄ одинаково. Положительно влияет на урожай корнеплодов вследствие наличия натрия. Применяется в основном при рядковом внесении и в качестве подкормок.

Кальциевая селитра Ca(NO₃)₂ содержит 15,5% азота, образуется при нейтрализации 40 - 48%-й азотной кислоты мелом или известью.

Она гигроскопична, поэтому транспортируется и хранится во влагонепроницаемых мешках. Для уменьшения гигроскопичности кристаллическую соль кальциевой селитры смешивают с гидрофобными добавками (например, парафинистым мазутом) в количестве 0,5% от массы соли. Для улучшения физических свойств удобрения к его концентрированному раствору в процессе производства добавляют 4 - 7% аммиачной селитры.

Производство кальциевой селитры как первого синтетического азотного удобрения было налажено в Норвегии в 1905 г., поэтому ее называют «норвежской селитрой». Вследствие низкого содержания азота это удобрение плохо транспортабельно.

Кальциевая селитра улучшает физические свойства почвы. Это физиологически щелочное удобрение. По применению на кислых почвах она занимает одно из первых мест, уступая лишь NaNO_3 в случае внесения ее под сахарную свеклу как культуру, хорошо отзывающуюся на натрий.

УДОБРЕНИЯ С АМИДНОЙ ФОРМОЙ АЗОТА

Мочевина $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ содержит 46% азота. Образуется при взаимодействии CO_2 с NH_3 при высоком давлении и температуре. Сначала получается карбаминово-кислый аммоний, а после отщепления воды – мочевина:



Исходными продуктами для производства синтетической мочевины являются газообразный или жидкий аммиак и углекислый газ. Мочевина – самое концентрированное из азотных удобрений, выпускается в гранулированном виде. При грануляции для уменьшения слеживаемости гранулы покрывают тонкой пленкой жировой добавки. Гранулированная мочевина обладает хорошими физическими свойствами, практически не слеживается, сохраняет хорошую рассеиваемость. Однако, при грануляции под влиянием температуры в ней образуется биурет:



При его содержании более 3% он может угнетать рост растений, поэтому в гранулированной мочеvine биурета должно быть не более 1%. В этом количестве он отрицательно не действует на проростки растений. В почве под влиянием уробактерий, выделяющих уреазу, мочевина аммонифицируется, образуя углекислый аммоний:

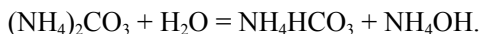


При благоприятных условиях на богатых гумусом почвах мочевина превращается в углекислый аммоний за 2-3 дня. На малоплодородных песчаных и болотных почвах этот процесс слабее.

Углекислый аммоний – соединение непрочное. На воздухе он разлагается с образованием бикарбоната аммония и газообразного аммиака:



Поэтому при поверхностном внесении мочевины без заделки в почву и при отсутствии осадков могут быть частичные потери азота в виде аммиака, особенно на почвах с нейтральной и щелочной реакцией. На стадии аммонификации мочевина временно подщелачивает почву:



На стадии нитрификации реакция почвы сдвигается в сторону кислого интервала. Однако в результате усвоения азота растениями в почве не остается ни щелочных, ни кислых остатков удобрения.

Мочевина – ценное азотное удобрение. Применяется под различные культуры. По действию на урожай сельскохозяйственных растений ее можно поставить в один ряд с NH_4NO_3 . В зоне достаточного увлажнения на легких дерново-подзолистых почвах и при орошении на сероземах мочевина более эффективна, чем аммиачная селитра, так как амидный азот мочевины быстро превращается в аммиачный, а последний поглощается почвой и меньше вымывается. При основном внесении в богарных условиях она равноценна аммиачной селитре. Высокоэффективна мочевина при подкормке озимых с последующей немедленной заделкой ее боронованием, а также для подкормки пропашных полевых и овощных культур культиваторами-растениепитателями.

Применяется мочевина и в виде раствора для некорневой подкормки растений, особенно пшеницы для повышения ее белковости. В этом случае лучше применять кристаллическую мочевины, так как она содержит меньше биурета (0,2 - 0,3%).

В мировом ассортименте азотных удобрений удельный вес мочевины значительно возрос. Этому способствовала разработанная в Голландии, ФРГ, Швейцарии и Японии технология ее производства с более низкими по сравнению с производством аммиачной селитры затратами труда и средств. Используется мочевина главным образом под рис, хлопчатник, сахарный тростник и другие культуры.

Мочевина широко применяется не только как непосредственное удобрение, но и как компонент для производства сложных удобрений, а также для производства новых видов медленнодействующих азотных удобрений. В связи с более высокой экономичностью использования мочевины и других высококонцентрированных азотных удобрений низкопроцентные азотные туки постепенно теряют значение в общем балансе потребления азотных удобрений.

Цианамид кальция CaCN_2 содержит 20-21% азота. Это легкий порошок черного или темно-серого цвета, физиологически щелочное

удобрение (до 20-28% CaO). Систематическое применение на кислых почвах улучшает ее физические свойства благодаря нейтрализации кислотности и обогащению кальцием. Вносят заблаговременно, за 7-10 дней до посева или под зябь. В подкормку не рекомендуется, так как в почве цианамид кальция подвергается гидролизу и взаимодействует с поглощающим комплексом. При этом образуется цианамид (H_2CN_2), который ядовит и анестезирующе действует на растения. Однако он быстро переходит в мочевины, поэтому и рекомендуется заблаговременное его внесение.

ЖИДКИЕ АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Наряду с твердыми азотными удобрениями в сельском хозяйстве применяются также и жидкие их формы: безводный (жидкий) аммиак, водный аммиак (аммиачная вода), аммиакаты. Производство их значительно дешевле, чем твердых солей. Например, себестоимость безводного аммиака на одну единицу азота составляет лишь 40% от себестоимости азота аммиачной селитры. Основной формой жидких азотных удобрений остается безводный аммиак. В наибольших масштабах его применяют в США.

Безводный аммиак (NH_3) – самое концентрированное безбалластное удобрение с содержанием азота 82,3%. Получается сжижением газообразного аммиака под давлением. По внешнему виду это бесцветная жидкость с удельным весом 0,61 при 20°. При хранении в открытых сосудах быстро испаряется. Поэтому его хранят и перевозят в специальных толстостенных стальных цистернах, рассчитанных на давление 25-30 атм. При 20-40° давление его составляет от 9 до 18 атм. Упругость паров, удельный вес и содержание азота в 1 м³ безводного аммиака изменяются в зависимости от температуры. При хранении аммиака в герметических сосудах под давлением он разделяется на две фазы: жидкую и газообразную. Вследствие большой упругости паров емкости для хранения и транспортировки жидкого аммиака заполняются не полностью. Жидкий аммиак корродирует медь, цинк и их сплавы, но практически нейтрален по отношению к железу, чугуну, стали.

Аммиачная вода (водный аммиак) – раствор аммиака в воде. Первый сорт этого удобрения содержит 20,5% азота (25%-й аммиак), второй – 16,4% азота (20%-й аммиак). Аммиачная вода имеет невысокое давление газов, не разрушает черные металлы. Поэтому для работы с ней используют резервуары из обычной углеродистой стали. При температуре 15° плотность водного аммиака первого сорта со-

ставляет 0,910, второго – 0,927. 25%-й водный аммиак замерзает при температуре -56°C , 20%-й – при -33°C . Азот в аммиачной воде содержится в форме аммиака (NH_3) и аммония (NH_4OH). Причем свободного аммиака содержится значительно больше, чем аммония, что обуславливает возможные потери азота за счет улетучивания. Работать с аммиачной водой проще, чем с безводным аммиаком, но она малотранспортабельна в связи с низким содержанием азота, поэтому аммиачную воду экономичнее применять в хозяйствах, расположенных вблизи предприятий, производящих это удобрение.

Внесенный в почву аммиак быстро адсорбируется ею, а также поглощается почвенной влагой, превращаясь в гидроокись аммония. Аммиак в почве подвергается нитрификации. Интенсивность поглощения аммиака почвой зависит от ее гранулометрического состава, содержания гумуса, влажности, глубины заделки удобрений и т.д. На тяжелых высокогумусированных и хорошо обработанных почвах аммиак поглощается лучше, чем на легких бедных гумусом. В связи с этим, из почв легкого гранулометрического состава и сухих аммиак улетучивается быстрее.

Все жидкие азотные удобрения нельзя вносить поверхностно и мелко заделывать, особенно в сухую песчаную почву, во избежание потерь от улетучивания. Вносятся эти удобрения специальными машинами и заделываются на тяжелых почвах на глубину не менее 10-12 см, а на легких – 14-18 см. Во всех случаях безводный аммиак заделывается на глубину не менее 14-15 см, а водный – 10-12 см. Если почва крупнокомковатая, то глубина заделки этих удобрений увеличивается в 1,2-1,5 раза. Вносят их в основном приеме под зяблевую вспашку, весной – под предпосевную культивацию и в подкормку пропашных культур в тех же дозах (по азоту), как и твердые азотные удобрения. В связи с тем, что жидкие азотные удобрения вносятся локально, расстановку подкормочных сошников необходимо проводить для культур сплошного сева на 20-25 см, а на лугах и пастбищах – 30-35 см, при подкормке пропашных культур – в зависимости от ширины междурядий. Технология применения жидких азотных удобрений по сравнению с твердыми требует более высокой профессиональной подготовки специалистов, мастерства и ответственности механизаторов. Хозяйства должны быть полностью обеспечены современной материально-технической базой для их хранения, транспортировки и внесения.

Аммиакаты содержат от 30 до 50% азота. По внешнему виду – это жидкость светло-жёлтого или желтого цвета. Получают их путем растворения в водном аммиаке аммиачной селитры, аммиачной и

кальциевой селитры, мочевины или аммиачной селитры и мочевины. Производится это в специальных установках. В 10-15%-ю аммиачную воду, приводимую в движение центробежным насосом, вводят горячий раствор аммиачной селитры (или смесь кальциевой и аммиачной селитры) и доводят удобрение до требуемого состава. Перевозят и хранят в специальных, герметически закрываемых цистернах, рассчитанных на небольшое давление.

Аммиакаты существенно различаются не только по концентрации общего азота, но и по соотношению его различных форм (свободного аммиака, связанного аммиака, амидного и нитратного азота). Поэтому они разнообразны по физическим свойствам. В связи с большим диапазоном температуры начала кристаллизации (от $+14^{\circ}$ до -70°) зимой в период хранения необходимо выпускать аммиакаты с низкой, а летом – с более высокой температурой кристаллизации. Все аммиакаты транспортабельны, так как имеют высокий удельный вес и концентрацию азота.

Как и все аммонийные соли, особенно содержащие свободный аммиак, аммиакаты вызывают коррозию сплавов с медью, а аммиакаты с аммиачной селитрой окисляют и черные металлы. Поэтому для работы с ними требуются емкости из алюминия или его сплавов, из нержавеющей стали или обычные стальные цистерны с защитным коррозионным покрытием специальными лаками (эпоксидными смолами). Применяются также емкости из полимерных материалов.

По действию на урожай сельскохозяйственных культур аммиакаты в большинстве случаев равноценны твердым азотным удобрениям.

В последние годы получило распространение применение *смесей водных растворов мочевины и аммиачной селитры (КАС)*.

Растворы КАС готовятся в заводских условиях из полупродуктов, т.е. из неупаренных пластов этих удобрений с содержанием азота 28-32%. КАС имеют нейтральную или слабощелочную реакцию, представляют собой прозрачные или желтоватые жидкости с плотностью 1,26-1,33 г/см³. В связи с сокращением ряда операций при производстве КАС в сравнении с твердыми азотными удобрениями (упаривание, грануляция и другие) значительно сокращаются затраты на производство единицы азота, а высокая плотность растворов удобрений повышает их транспортабельность.

Путем изменения соотношения исходных компонентов получают различные марки КАС (табл. 5.1).

Перевозятся КАС в обычных железнодорожных цистернах из углеродистой стали и в автоцистернах с использованием антикоррозий-

5.1. Марки КАС

Состав и свойства растворов	КАС-28	КАС-30	КАС-32
Состав по масс. %: NH_4NO_3	40,1	42,2	43,3
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	30,0	32,7	36,4
H_2O	29,9	25,1	20,3
Плотность при 15,6°C, г/см ³	1,28	1,30	1,33
Температура кристаллизации, °С	- 18	- 10	- 2

ных ингибиторов. Вносят их как в основном приеме, так и подкормку пропашных и зерновых культур теми же машинами, что и для аммиачной воды и жидких комплексных удобрений.

Высокая экономическая и агрономическая эффективность, возможность механизации всех приемов по транспортировке и внесению позволяют считать это удобрение весьма перспективным.

МЕДЛЕННОДЕЙСТВУЮЩИЕ АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Производство медленнодействующих удобрений развивается разными путями: 1) получение соединений с ограниченной растворимостью в воде (уреаформы); 2) покрытие частиц удобрений различными веществами (воск, парафин, масла, смолы, полимеры и др.); 3) производство удобрений, содержащих ингибиторы нитрификации.

Основные преимущества медленнодействующих удобрений следующие: 1) уменьшаются потери питательных веществ в период между внесением удобрений и усвоением их растениями; 2) повышается коэффициент использования удобрений; 3) уменьшается загрязнение окружающей среды; 4) улучшается качество продукции вследствие снижения количества нитратов в ней; 5) снижаются трудовые затраты при замене дробного внесения на один прием; 6) улучшается качество удобрений при хранении и транспортировке.

Самые крупные производители медленнодействующих удобрений – США и Япония.

Мочевино-формальдегидные удобрения (МФУ) (карбамидформ, уреаформы) представляют собой продукты конденсации мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и формальдегида (CH_2O). Конденсация производится в концентрированных растворах обычно при эквимолярном соотношении мочевины и формальдегида, подкислении реакционной среды до pH 3, при температуре 30 - 60°. При конденсации образуется смесь, состоящая из остатков молекул мочевины, связанных между собой ме-

тиленовыми группами (CH_2) и содержащих некоторое количество метоксильных групп (CH_2OH). В кислой среде образуется монометилмочевина $\text{CONHCH}_2\text{NH}_2\text{OH}$, которая конденсируется с мочевиной в метилендимочевину $\text{NH}_2\text{CONHCH}_2\text{NHCONH}_2$ с выделением воды. Образующийся конденсат отфильтровывают, высушивают, размалывают, а при необходимости гранулируют. Обычно это белый рассыпчатый порошок, который не слеживается и хорошо рассеивается даже при высокой влажности.

В МФУ содержится 38-40% азота, из которых 8-10% находятся в водорастворимой, а остальные – в водонерастворимой, но доступной для растений форме. МФУ имеют различную степень доступности азота для растений. Один из главных показателей, характеризующих свойства этих удобрений, – индекс усвояемости, т.е. то количество нерастворимого в воде азота, которое растворяется при кипячении удобрения в течение 1 ч. Величину его выражают в процентах водонерастворимого азота. В зависимости от реакции, температуры, молярного отношения мочевины к формальдегиду и продолжительности конденсации индекс усвояемости МФУ колеблется от 15 до 55%.

В некоторых зарубежных странах за индекс усвояемости условно принимается то количество азота, которое нитрифицируется в течение 6 месяцев нахождения удобрения в почве. Степень нитрификации МФУ является важным показателем их эффективности. Она зависит от индекса усвояемости и свойств почв. МФУ с высоким индексом усвояемости способствуют большему и более быстрому накоплению в почве нитратного азота, чем с низким индексом усвояемости.

Кислая реакция почвы существенно снижает скорость превращения МФУ, поэтому известкование таких почв увеличивает скорость процессов их нитрификации. Как и мочевины, высокие дозы МФУ подщелачивают почву, а по мере их минерализации почва постепенно подкисляется.

При определенных условиях конденсации, например при температуре 30-40°, получаются МФУ с высоким содержанием доступного для растений азота, приближающиеся к растворимым азотным удобрениям, например мочевины. В этом случае они утрачивают свое основное назначение как медленнодействующие удобрения.

В перспективе производство МФУ оправдано тем, что все азотные удобрения хорошо растворимы в воде, но внесение их в повышенных дозах создает повышенную концентрацию и высокое осмотическое давление почвенного раствора, что может отрицатель-

но сказываться на росте молодых растений, особенно культур, чувствительных к повышенной концентрации солей, например кукурузы, льна и др. Кроме этого, в районах достаточного увлажнения, особенно на легких почвах, а также при орошении возможны значительные потери азота вследствие его вымывания по профилю почвы. В государствах Средней Азии, в Закавказье в условиях орошаемого земледелия азотные удобрения быстро нитрифицируются, а нитратный азот с нисходящим током воды вымывается из корнеобитаемого слоя почвы или с восходящим током (после полива) выносятся на поверхность. В том и другом случаях снижается использование азота растениями, а следовательно, и эффективность азотных удобрений. Напротив, в слаборастворимых МФУ азот медленно переходит в растворимую форму и постепенно используется растениями в течение продолжительного времени.

Преимущество МФУ заключается в следующем:

1. Внесение всей дозы азота на планируемый урожай в один срок позволяет значительно сократить затраты.

2. Из-за пониженной растворимости этих удобрений в воде предотвращаются потери азота через улетучивание, вымывание, а также переход азота в труднорастворимые органические соединения. Медленнодействующие удобрения существенно снижают загрязнение грунтовых и других водных источников нитратами и другими формами азота, особенно на легких почвах.

3. При применении медленнодействующих азотных удобрений повышается коэффициент использования азота растениями, предотвращается накопление избыточных количеств его в растениях, особенно в нитратной форме.

На дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности в звеньях полевых севооборотов не выявлено преимуществ МФУ перед растворимыми азотными удобрениями ни по величине урожая, ни по качеству продукции, а на тяжелой дерново-подзолистой почве действие МФУ на урожай зеленой массы кукурузы было слабее.

Для повышения эффективности водорастворимых форм азотных удобрений, коэффициента использования азота широко применяют капсулированные азотные удобрения и ингибиторы нитрификации. При капсулировании водорастворимых азотных удобрений гранулы покрываются пленками, через которые трудно и медленно проникают водные растворы. Получаются своего рода медленнодействующие азотные удобрения. В качестве покрытий используются парафин,

эмульсия полиэтилена, соединения серы, акриловая смола, полиакриловая кислота и другие вещества. Такие гранулированные удобрения, покрытые пленками, обладают улучшенными физико-механическими свойствами: они менее гигроскопичны, механически более прочны, не слеживаются при хранении. Подбором состава и толщины покрытий можно получать удобрения с разной интенсивностью отдачи азота, т.е. пролонгированного действия с учетом биологических требований и периодичности питания азотом сельскохозяйственных культур.

Капсулированные азотные удобрения используются растениями лучше и равномернее в процессе вегетации, что положительно сказывается на росте урожаев и качестве продукции, как, например, белковости зерна злаковых культур.

Из ингибиторов нитрификации за последние годы чаще всего применяются циангуанидин (дициандиаמיד), американский препарат N-serve (2хлор-6трихлорметил) пиридин и японский препарат АМ (2-амино-4хлор-6метилпиримидин). При внесении в смеси с твердыми и жидкими аммиачными удобрениями или мочевиной в дозах N-serve 0,5–1%, АМ 1–3% от количества азота удобрений ингибиторы тормозят процессы нитрификации в течение 1,5–2 месяцев, т.е. в период интенсивного потребления азота растениями. Скорость разложения ингибиторов в почве, а следовательно, и продолжительность их действия зависят от гранулометрического состава почвы, ее влажности, реакции, температуры, содержания гумуса и других условий.

Ингибиторы, подавляя нитрификацию азота удобрений, снижают его потери в газообразной форме, с поверхностным стоком воды и в результате вымывания нитратов. Это приводит к существенному повышению урожаев, особенно хлопчатника, риса, овощных культур, кукурузы на зерно и силос, других пропашных и кормовых культур, выращиваемых в условиях орошения или в районах повышенного увлажнения. Применение ингибиторов позволяет улучшить качество продукции, так как при этом предотвращается накопление токсических количеств нитратов в сельскохозяйственной продукции, снижается заболевание растений некоторыми болезнями, появляется возможность снизить дозы азотных удобрений вследствие повышения коэффициента использования азота. При этом возможна замена дробного внесения азотных удобрений одноразовым, что повышает экономическую эффективность их применения.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

На эффективность азотных удобрений оказывают влияние следующие факторы: 1) географические закономерности их действия; 2) комплекс агрономических и мелиоративных мероприятий, применяемых в севообороте или под конкретную культуру; 3) научно обоснованная технология применения самих азотных удобрений, т.е. сроки, дозы, способы, формы и др.; 4) совершенствование форм азотных удобрений; 5) использование наиболее эффективных методов диагностики применения азотных удобрений.

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ С УЧЕТОМ ПОЧВЕННО- КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

В зонах с высокой эффективностью азотных удобрений внесение каждой тонны азота дает дополнительно 10 - 15 т зерна, 30 - 40 – корнеплодов сахарной свеклы, 5 - 6 – хлопка-сырца, около 2 – льноволокна, 20 - 30 т сена луговых трав и т.д. Наиболее эффективны азотные удобрения в районах достаточного обеспечения растений влагой. Действие их устойчиво положительно проявляется в лесолуговой (Нечернозёмной) зоне на бедных гумусом дерново-подзолистых, серых лесных почвах, а также оподзоленных и выщелоченных чернозёмах. Причем с повышением степени выщелоченности чернозёмов эффективность азотных удобрений возрастает.

При движении с севера на юг и с запада на восток в европейской части России континентальность климата усиливается, количество осадков уменьшается, что существенно сказывается на эффективности азотных удобрений. Так, в степной зоне с увеличением засушливости климата действие их ослабевает и становится неустойчивым. Но и в степных районах земледелия эффективность азотных удобрений может заметно возрасти, если их применять в комплексе агромероприятий, направленных на накопление и сохранение влаги в почве. Этим объясняется высокий устойчивый эффект от азотных удобрений в большинстве случаев на разных типах почв степной зоны в условиях орошения. Здесь их действие бывает более высоким, чем фосфорных и калийных удобрений.

Действие азотных удобрений может быть разным и внутри крупных земледельческих зон страны. Так, в Нечернозёмной зоне внесение 1 кг азота при оптимальных дозах удобрений дает дополнительно 8 - 15 кг зерна, 50 - 70 – картофеля, 3,5 – льноволокна, 70 - 100 кг си-

лосной кукурузы. Особенно высокое действие азотных удобрений в этой зоне проявляется на супесчаных и песчаных почвах, где этот элемент питания растений почти всегда находится в минимуме. В условиях промывного режима отмечаются большие потери азота в осенне-зимне-весенний период, что и объясняет значительное преимущество весеннего внесения азотных удобрений перед осенним.

На осушенных торфяно-болотных почвах действие азотных удобрений снижается, так как в минимуме оказываются калийные и фосфорные удобрения. Однако в первые годы освоения торфяников в центральных и северо-западных районах зоны возрастает и эффективность азота.

В лесостепной зоне также проявляются различия в действии удобрений. На оподзоленных и выщелоченных чернозёмах Украины окупаемость азотных удобрений выше в правобережной лесостепи и меньше в левобережной. На выщелоченных чернозёмах европейской части России несколько меньшая эффективность азотных удобрений в районах Поволжья по сравнению с Центрально- чернозёмной зоной и Северным Кавказом.

Высокоэффективное действие азотных удобрений отмечается и в азиатской части России, причем бóльшая их эффективность получена в лесостепи Зауралья, в Восточной Сибири и меньшая – в лесостепи Западной Сибири; внесение 1 кг азота дает дополнительно зерна яровой пшеницы в Зауралье 10 кг, в Восточной Сибири – 11, в Западной Сибири – 5 кг.

В разных районах степной зоны действие азотных удобрений также различно. В Молдавии, например, бóльшие прибавки урожая возделываемых культур от внесения азотных удобрений получают на типичных чернозёмах, меньшие – на обыкновенных и карбонатных. На каждый внесенный килограмм азота получают прибавки до 6 кг зерна озимой пшеницы, до 7 кг зерна кукурузы, 2,5-3 кг семян подсолнечника, 40-60 кг корнеплодов сахарной свеклы.

На обыкновенных чернозёмах степных районов Украины азотные удобрения эффективны на посевах озимой пшеницы, сахарной свёклы, кукурузы. Однако действие их заметно ослабляется с запада на восток. В степи европейской части России значительное положительное действие азотных удобрений проявляется на обыкновенных и карбонатных чернозёмах Кубани, в предгорных автономных республиках Северного Кавказа, а также на северо-приазовских чернозёмах. На карбонатных же чернозёмах Ростовской области и обыкновенных чернозёмах Поволжья эффективность азотных удобрений снижается.

Каштановые почвы характеризуются низким содержанием гумуса, поэтому в ряде стран с лучшими условиями увлажнения (на Украине, в Закавказье, а также в горных районах Северного Кавказа) на этих почвах отмечается хорошее действие удобрений. На равнинных территориях Ставропольского края, Ростовской области, Поволжья, Северного Казахстана в условиях сильной засушливости действие азотных удобрений на каштановых почвах, как правило, бывает слабым. Так же действуют эти удобрения и в азиатской равнинной части России на обыкновенных и южных чернозёмах, каштановых почвах.

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСА АГРОМЕЛИОРАТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Повышение эффективности азотных удобрений связано со своевременным и высококачественным применением комплекса агрономических, мелиоративных и почвозащитных мероприятий, с улучшением культуры земледелия (отсутствие засоренности, благоприятные водно-воздушный, температурный режимы почвы, оптимальное содержание других питательных элементов в почве, посев высокопродуктивных сортов культур, хорошо отзывающихся на азотные удобрения, применение интегральной системы защиты растений от вредителей, болезней и сорняков и т.д.). Все мероприятия, направленные на повышение плодородия почв, их окультуренности, способствуют и повышению эффективности азотных удобрений, большей их окупаемости дополнительной продукцией. Баланс гумуса в почве должен быть положительным или бездефицитным за счет применения в севообороте органических удобрений.

Сочетание органических и минеральных удобрений особенно важно при внесении высоких доз азота. Органические удобрения предотвращают негативное действие повышенных доз минерального азота, способствуют лучшему и более эффективному его использованию. Азот минеральных удобрений должен находиться в почве в оптимальном соотношении с другими питательными элементами для выращиваемой культуры. Эффективное действие одних азотных удобрений и совместно с калийными проявляется на почве, хорошо обеспеченной подвижным фосфором. Действие фосфорных удобрений в этом случае очень слабое, а белковость зерна пшеницы даже снижается.

Эффективность азотных удобрений существенно возрастает при известковании кислых почв, что объясняется лучшим использова-

нием азота удобрений, повышением мобилизации азота почвы, улучшением фосфорного питания растений, а следовательно, и лучшим соотношением азота и фосфора для питания растений. В засушливых степных и сухостепных районах усилить положительное действие азотных удобрений может орошение. В этом случае важно сочетание оптимальных доз азота и режимов орошения.

Эффективное использование азотных удобрений возможно при применении их в комплексе с приемами почвозащитной, противоэрозионной систем обработки почвы (контурно-мелиоративной вспашкой поперек склона, комбинированной вспашкой в сочетании с щелеванием на склонах, обваловыванием и бороздованием зяби и других приемов), которые снижают сток воды и смыв почвы. Коэффициент использования азота удобрений, а следовательно, и их эффективность при этом повышаются.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Азот удобрений в мировом земледелии и в нашей стране занимает наибольший удельный вес. И в дальнейшем актуальность проблемы азота в земледелии, доля азота в составе минеральных удобрений будут возрастать. Это объясняется тем, что азот – элемент лабильный и в почве в минеральной форме не накапливается. С повышением содержания в почве других биогенных элементов (фосфора, калия, микроэлементов), ее плодородия и окультуренности в целом азот будет определять величину и качество урожая. Уже сейчас это наблюдается в ряде стран, где десятки лет применяются высокие дозы фосфорно-калийных и других минеральных удобрений и создан достаточный уровень содержания этих элементов в почве.

Вследствие низкого коэффициента использования (40-50%) и высокой подвижности азота в почве создается его дисбаланс в земледелии. Избыточный азот загрязняет окружающую среду. Поэтому нужна надежная, научно обоснованная и проверенная практикой земледелия диагностика оптимизации доз азотных удобрений.

Потребность сельского хозяйства в азотных удобрениях по природно-экономическим зонам страны в большинстве случаев прогнозируется по данным Географической сети полевых опытов, проводимых научными учреждениями и системой агрохимслужбы. На основе этих опытов разрабатываются нормативы затрат азота удобрений на прирост урожая сельскохозяйственных культур. В соответствии с планируемым урожаем и производством объема продукции определяется общая потребность зоны, республики, области или хозяйства в

азотных удобрениях. Обобщение данных полевых опытов, их анализ и выдача необходимой информации проводятся с помощью ЭВМ и разработанных соответствующих программ, которые корректируют оптимальную потребность в азоте в зависимости от наличия удобрений, изменения структуры посевных площадей, планируемой урожайности, прогноза погоды на предстоящий год и т.д.

В большинстве случаев под конкретную сельскохозяйственную культуру оптимальную дозу азотного удобрения определяют по данным полевых опытов, проводимых в местных условиях научно-исследовательскими учреждениями, и по результатам агрохимического анализа почвы на содержание гумуса, легкогидролизуемых форм органического азота, по нитрификационной способности почвы или наличию минеральных форм азота в почве. Однако не все перечисленные показатели достаточно хорошо коррелируют с отзывчивостью растений на азотные удобрения.

В последнее время в практике мирового земледелия все большее распространение получает оптимизация доз азотного удобрения по содержанию минерального (нитратного и аммиачного) азота в почве (метод $N_{\text{мин}}$). Эффективные дозы азота под ту или иную культуру зависят от региона. Поэтому модификация методов диагностики азотного удобрения имеет свои зональные особенности. Существуют разные подходы при определении доз азотного удобрения по содержанию минерального азота в почве, т.е. при применении метода $N_{\text{мин}}$.

1. Допускается одинаковое усвоение растениями минерального азота почвы и удобрений. Зная потребность культурного растения в азоте на планируемый урожай и содержание минерального азота в почве, разницу компенсируют внесением азотного удобрения (табл. 5.2).

В этом методе не учитываются последствие органических и минеральных удобрений, мобилизация дополнительного «экстра» азота вследствие активизации процессов минерализации органического вещества почвы, влияние вида предшествующей культуры севооборота на азотный режим почвы, нитрификационная способность почвы, периодичность питания растений азотом, глубина взятия образцов почвы на агрохимический анализ по культурам в зональном аспекте, коэффициент использования азота почвы и удобрений в зависимости от культуры, свойств почвы, складывающихся погодных условий и т.д. Поэтому этот метод нуждается в совершенствовании.

В настоящее время широко проводятся поиски наиболее надежных методов оптимизации доз азота для конкретных условий.

2. Второй вариант метода $N_{\text{мин}}$ заключается в определении индексов обеспеченности почвы минеральным или нитратным азотом и

5.2. Дозы азотного удобрения, необходимые для получения планируемых урожаев озимой пшеницы в зависимости от обеспеченности почв усвояемым азотом перед посевом (слой 0 - 60 см) (Никитишен, 1986)

Планируемый урожай, ц/га	Средний вынос азота с урожаем, кг/га	Количество нитратного и аммонийного азота, кг/га					
		72 - 96	96 - 120	120 - 144	144 - 168	168 - 192	192 - 216
Типичный чернозём							
40	96	45	20	–	–	–	–
45	112	75	50	25	–	–	–
50	128	100	75	55	30	–	–
55	144	125	100	80	55	> 30	–
60	160	155	130	105	80	60	30
65	176	180	155	130	105	85	50
Серая лесная почва							
40	111	50	25	–	–	–	–
45	129	75	50	30	20	–	–
50	147	100	75	55	40	25	20
55	164	125	100	80	65	50	40
60	182	150	125	105	90	75	65
65	200	175	150	130	115	100	90

соответственно установлению степени нуждаемости культуры в азоте и дозы азотного удобрения. В наибольшей степени этот метод хорошо проработан наукой и получил широкое практическое применение при диагностике азотного удобрения под сельскохозяйственные культуры для районов Сибири. Например, для районов Западной Сибири разработана шкала потребности зерновых культур в азотных удобрениях (табл. 5.3).

Для расчета дозы азотных удобрений на планируемый урожай рекомендуется также формула

$$D_N = \frac{A - (N_{исх} + N_{тн}) n}{C},$$

где A – вынос азота с запланированным урожаем основной и побочной продукции (кг/га); $N_{исх}$ – азот нитратов в слое почвы 0 - 50 см до посева (кг/га); $N_{тн}$ – азот текущей нитрификации за период вегетации сельскохозяйственной культуры (кг/га); n – коэффициент использования $N-NO_3$ почвы; C – коэффициент использования растениями азота минеральных удобрений (автором принято $n = 0,8$, а $C = 0,6$; эти коэффициенты различны для каждой зоны).

5.3. Шкала потребности зерновых культур в азотных удобрениях в зависимости от содержания N - NO₃ в слое почвы 0 - 40 см осенью или весной (по Кочергину, 1984)

N - NO ₃		Обеспеченность растений азотом почвы	Потребность в азотных удобрениях	Ориентировочные дозы азотных удобрений, д.в. кг/га
мг/кг почвы	кг/га			
Уровень обеспеченности растений фосфором низкий и средний (до 10 мг P ₂ O ₅ на 1 кг почвы, по Францессону)				
0 - 5	0 - 25	очень низкая	очень сильная	60
5 - 10	25 - 50	низкая	сильная	45
10 - 15	50 - 75	средняя	средняя	30
> 15	> 75	высокая	отсутствует	0
Уровень обеспеченности растений фосфором высокий (15 - 20 мг P ₂ O ₅ на 1 кг почвы, по Францессону)				
0 - 10	0 - 50	очень низкая	очень сильная	80
10 - 15	50 - 75	низкая	сильная	60
15 - 20	75 - 100	средняя	средняя	45
> 20	> 100	высокая	отсутствует	0

3. Определение потребности в азотных удобрениях и ориентировочных их доз для отдельных культур проводится также по содержанию минерального азота в почве и величине ее нитрификационной способности. Эта методика разработана для районов Поволжья и Оренбургской области и рекомендуется для широкого использования в практике земледелия. В табл. 5.4 показана потребность в азотных удобрениях для озимых в зависимости от содержания азота в почве до посева.

С теми или иными изменениями эти методы диагностики азотного удобрения разрабатываются и используются и в других районах нашей страны.

Азот в почве весьма подвижен, что в районах достаточного увлажнения и при орошении, особенно на легких почвах, может привести к значительным его потерям и снижению эффективности азотных удобрений. С учетом же периодичности питания растений важно оптимизировать азотный режим в процессе вегетации путем дробного внесения удобрений. А это возможно при применении комплексной почвенно-растительной диагностики азотного питания растений. В нашей стране вопросы растительной диагностики и оптимизации минерального питания сельскохозяйственных культур получили значительное развитие благодаря работам К.П. Магницкого, В.В. Церлинг, Н.К. Болдырева, Ю.И. Ермохина и др.

5.4. Содержание подвижного азота в почве в слое 0 - 40 см перед посевом озимых и потребность в азотных удобрениях на чернозёмах

N-NO ₃ мг/кг почвы		Потребность в азотных удобрениях	Ориентировочные дозы удобрений, кг/га	
Исходное содержание нитратов	Содержание нитратов после 7-дневного компостирования (нитрификационная способность)		N	P
< 5	< 15*	сильная	90	40
5 - 10	15 - 25	средняя	60	40
10 - 15	25 - 30	слабая	20 - 30	60
> 15	>30	отсутствует	30**	60 - 90

* Нитрификационная способность без вычета исходного содержания нитратов.

** Только в виде подкормки.

В.В. Церлинг рекомендует устанавливать степень обеспеченности, например, озимых зерновых азотом по содержанию нитратного и общего азота в растениях в фазы кушения и трубкования (табл. 5.5).

Исходя из содержания нитратного и общего азота в растениях, состояния посевов после перезимовки и в момент отбора проб планируемого урожая устанавливают ориентировочные дозы азотных удобрений для подкормки озимых культур в соответствующую фазу (табл. 5.6).

Для определения нуждаемости растений в питательных веществах используют или всю надземную массу, или отдельные (индикаторные) органы. Для растительной диагностики используются портативные полевые лаборатории, позволяющие быстро определить нуждаемость

5.5. Степень обеспеченности озимых зерновых азотом по его содержанию в растениях по фазам развития

Степень обеспеченности	Кушение, 3 листа		Трубкование, 4 - 5 листьев	
	1	2	1	2
Очень слабая	0 - 100	2,5	0 - 50	2,0
Слабая	101 - 200	2,5 - 3,0	51 - 100	2,0 - 2,8
Средняя	220 - 710	5,0 - 5,5	101 - 220	2,9 - 3,7
Высокая	> 710	> 5,5	> 220	3,8 - 4,4

Примечание. 1 – N-NO₃, мг/кг сырого вещества,

2 – общий азот, % от сухого вещества.

5.6. Применение дозы азотных удобрений для подкормки озимых в фазе трубкования (4 - 5 листьев) по результатам анализа растений, д.в. кг/га

Степень обеспеченности	N-NO ₃ , мг/кг сырого вещества	Н _{общ} , % от сухого вещества	Планируемый урожай, ц/га		
			21 - 30	31 - 40	> 40
Очень слабая	0 - 50	2,0	40 - 60	60 - 80	80 - 100
Слабая	51 - 100	2,0 - 2,8	20 - 40	40 - 60	60 - 80
Средняя	101 - 220	2,9 - 3,7	20	20 - 40	40 - 60
Высокая	> 220	3,8 - 4,4	0	20	40

растений в подкормке азотом. Для этого у отобранных растений сразу срезают нижнюю часть стебля (1-2 мм) и помещают на стекло прибора. Затем стеклянным пестиком выдавливают сок и наносят на него 1 - 2 капли дифениламина (1%-й раствор дифениламина в концентрированной H₂SO₄). Интенсивность окраски сравнивают со шкалой прибора. Обеспеченность растения азотом определяют из 10-15 анализов.

Расчет доз азота, как и других элементов, можно проводить балансовым методом. В нашей стране большой вклад в разработку и совершенствование этого метода внесли А.В. Соколов, З.И. Журбицкий, И.С. Шатилов, Н.К. Болдырев и др.

Определение количества эффективного азота (N_{эф}), которое дает растению сама почва в течение вегетации, по содержанию N_{мин} в начале вегетации проводится по формуле

$$N_{эф} \text{ (кг/га)} = \frac{N_{мин} d h \text{ КИП} N_{мин}}{10 \cdot 100},$$

а расчет дозы азота для получения запланированного урожая (или прибавки) производится по уравнению

$$D_N \text{ (кг/га)} = \frac{(B - N_{эф}) \cdot 100}{\text{КИУ}(\%)},$$

где D_N – доза азота на запланированный урожай (кг/га); B – вынос азота запланированным урожаем культуры (кг/га); N_{мин} – содержание минерального азота в почве (N-NO₃ + N-NH₄) (мг/кг); N_{эф} (кг/га) – количество эффективного азота, которое растения получают из почвы (определенного ее слоя), с учетом текущей нитрификации в почве, определяемой показателем КИП (%); КИП_{мин} – коэффициент использования минерального азота почвы (%) (для азота нитратов в чернозёме в слое 0-30 см он равен 200%); КИУ – коэффициент использования азота из минеральных удобрений; d – объемная масса

1 см^3 ; h – глубина слоя почвы (см); $d h / 10$ – масса слоя почвы (млн кг) для перевода минерального азота почвы из мг/кг в кг/га; 100 – постоянное число, связанное с выражением КИП и КИУ (%).

Пример расчета доз азота по балансовому методу: N-NO_3 в слое 0-30 см обыкновенного чернозёма 10 мг/кг, $h = 30$ см, $d = 1,2 \text{ г/см}^3$; КИП $N_{\text{мин}} = 200\%$, КИУ $N = 60\%$, B – вынос азота при урожае 40 ц/га зерна составляет 120 кг/га.

$$N_{\text{эф}} = \frac{10 \cdot 1,2 \cdot 30 \cdot 200}{10 \cdot 100} = 72 \text{ кг/га},$$

тогда по формуле $Y = N_{\text{эф}} : N_y$ (где N_y – количество азота в кг, содержащееся в 1 ц зерна) урожай пшеницы (Y) за счет почвы будет равен 24 ц/га ($72 \text{ кг/га} : 3 \text{ кг/ц}$).

Доза азота по балансовому методу составит

$$D_N = \frac{(120 - 72) \cdot 100}{60} = \frac{4800}{60} = 80 \text{ кг/га}.$$

Из 80 кг азота, внесенного под пшеницу, растения используют 60%, или 48 кг, что обеспечит прибавку урожая, равную $48 \text{ кг/га} : 3 \text{ кг/ц} = 16 \text{ ц/га}$. В целом запланированный урожай будет обеспечен азотом за счет почвы (24 ц/га) и за счет азота удобрений (16 ц/га).

Ряд исследователей, основываясь на экспериментальных данных, не учитывают КИП и КИУ по азоту. Тогда уравнение расчета доз азота упрощается, т.е.

$$D = B - \frac{(N_{\text{мин}} d h)}{10}.$$

Балансовый метод также не лишён недостатков, так как требует оптимальных значений показателей, включенных в приведенное уравнение.

Следовательно, одной из модификаций метода $N_{\text{мин}}$ или балансовым методом можно с достаточной точностью установить дозу азотного удобрения для получения планируемого урожая озимой пшеницы. Методом растительной диагностики удастся проконтролировать уровень азотного питания растений и вносить коррективы путем применения весенней и поздней азотной подкормки посевов. Сочетание методов почвенной и растительной диагностики дает возможность направленно регулировать уровень азотного питания озимой пшеницы в зависимости от разнообразия почвенно-климатических и агротехнических факторов.

В Чехословакии была разработана система контроля за условиями питания зерновых культур по растительному анализу. В фазу трубкования (5 листьев) отбирают растительные образцы и определяют

содержание в них азота, фосфора, калия и других элементов. По соотношению элементов устанавливают степень потребности зерновых культур в удобрениях и оптимальные дозы азота для подкормки (табл. 5.7).

5.7. Оптимизация доз азотных удобрений при подкормке озимой пшеницы в фазу трубкования на основе химического анализа растений (по Байеру)

Критерий и данные анализа растений			Степень потребности растений в азоте	Оптимальные дозы азота для подкормки в начале трубкования (при урожае > 40 ц/га), кг/га
P, %	N : P	$\frac{100 \times K}{N}$		
> 0,30	< 7,5	–	очень высокая	80 - 100
	7,5 - 8,5	> 100	средняя	60 - 80
		100 и ниже	высокая	80 - 100
	8,6 - 10,0	> 100	слабая	40 - 60
	10,1 - 12,5	100 и ниже	средняя	60 - 80
> 100		очень слабая	30 - 40	
> 12,5	100 и ниже	слабая	40 - 60	
	> 100	растения обеспечены	подкормка не нужна	
< 0,30	10,0 и ниже	100 и ниже	очень слабая	30 - 40
		> 100	очень слабая	30 - 40
	10,1 - 12,5	100 и ниже	слабая	40 - 60
		> 100	растения обеспечены	подкормка не нужна
> 12,5	100 и ниже	очень слабая	30 - 40	

ПОДБОР ФОРМ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ, СРОКИ И СПОСОБЫ ИХ ВНЕСЕНИЯ

Для повышения эффективности азотных удобрений и получения запланированного урожая важно не только определить оптимальный режим питания культуры в процессе вегетации, но и обеспечить его путем подбора форм удобрений, наиболее эффективных сроков и способов их внесения. Так, в ассортименте азотных удобрений в нашей стране все больший удельный вес будет занимать высококонцентрированное азотное удобрение – мочевина. Хорошо поглощается почвой не только амидная форма азота мочевины, но целая молекула. Она слабо мигрирует по профилю почвы (что предотвращает потери азота) и имеет определенные преимущества перед аммиачной селитрой.

Действие мочевины особенно эффективно при основном внесении в условиях орошения, достаточного увлажнения и особенно на легких почвах. В этих случаях она не уступает сульфату аммония.

При поверхностном же внесении мочевины, например в весеннюю подкормку озимых (особенно при запаздывании со сроками ее проведения), на лугах и пастбищах эффективность ее часто заметно ниже по сравнению с аммиачной селитрой. Это связано с частичной потерей азота мочевины при превращении ее в почве под влиянием уробактерий в углекислый аммоний. Величина потерь азота зависит от температуры, влажности, кислотности и других свойств почвы.

В процессе вегетации часто возникает необходимость сочетать внесение разных форм удобрений под одну и ту же культуру. Так, для получения хороших урожаев высококачественного хлопка-сырца необходимо до посева внести 30-50% всей дозы азота в виде аммиачных и амидных форм удобрений, а остальную часть – в виде аммиачной селитры в подкормку в период вегетации хлопчатника. Хорошие результаты от такого сочетания форм азота получаются при возделывании озимых культур, сахарной свеклы, кукурузы и других пропашных. Можно при основном внесении под технические и другие культуры, особенно при орошении, вносить медленно действующие удобрения, а в процессе вегетации оптимизировать азотный режим для выращиваемой культуры вегетационными подкормками аммиачной селитрой.

Для некорневых подкормок озимой пшеницы в целях получения высокобелкового зерна лучше применять мочевины, амидная форма азота которой хорошо усваивается растениями при нанесении раствора удобрения на поверхность листьев. Кроме этого, мочевина даже при концентрации раствора 20-30% не вызывает ожогов растений вследствие ее нейтральной реакции.

Жидкие азотные удобрения весьма эффективны при основном внесении под все культуры и при подкормке пропашных. Особенно эффективен жидкий аммиак (82% азота). Применение этого высококонцентрированного удобрения позволяет полностью механизировать трудоемкие процессы погрузки и разгрузки удобрений, ликвидировать потери при транспортировке и хранении. По окупаемости дополнительным урожаем жидкий аммиак не уступает твердым азотным удобрениям, а в ряде случаев, например на легких почвах, в условиях орошения или в увлажненных районах, может быть более эффективным.

Азот разных форм удобрений при правильном применении в различных почвенно-климатических зонах и под разные культуры с учётом агрохимических свойств обычно бывает равноценным.

Особенно важно внести азотные удобрения в оптимальные сроки и лучшими способами, что обеспечивает наиболее продуктивное их использование. В полевых условиях коэффициент использования азота минеральных удобрений разными культурами составляет 40 - 50%. Основная его часть или закрепляется в почве в трудногидролизуемых слабо доступных растениям соединениях, или безвозвратно теряется в виде различных продуктов, образовавшихся в результате процессов денитрификации, постепенно протекающих в почве. Возможны потери азота и от вымывания, что приводит к загрязнению грунтовых вод и питьевых источников нитратами. Размеры этих потерь в значительной мере зависят от сроков и способов внесения форм удобрения, биологических особенностей выращиваемой культуры, почвенных, погодных и других условий. Поэтому для азотных удобрений особенно важно внесение их в периоды наибольшего потребления азота растениями.

Например, весной период активного потребления азота озимыми культурами в зависимости от почвенно-климатических и погодных условий начинается через 5 - 15 дней после схода снега. К этому времени поля освобождаются от избыточной влаги в результате поверхностного и внутрипочвенного стока, почва прогревается. То же можно сказать и в отношении лугов, подкормку которых рекомендуется проводить спустя 1 - 3 недели после схода снега и оттока избыточной влаги. При внесении азотных удобрений сразу после схода снега на суходольных сенокосах временного избыточного увлажнения в этой зоне снижается эффективность подкормки, что объясняется большими газообразными потерями азота в результате денитрификации (табл. 5.8).

В лесостепных, особенно южных, районах, а также в степной зоне весной, после перезимовки озимых, почва быстро подсыхает, и запаздывание с азотными подкормками может существенно снизить эффективность этого приема. В этих условиях отсутствует и мигра-

5.8. Влияние температуры и влажности на размер газообразных потерь азота

Влажность почвы, % нв	Потери азота при температуре			
	5°		28°	
	NH_4NO_3	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	NH_4NO_3	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
60	8,5	27,0	15,8	31,9
90	20,3	37,0	49,7	61,1

ционный ток воды по профилю почвы. Здесь на ровных площадях озимые культуры должны подкармливаться азотом сразу же после схода снега. Больше того, в наиболее континентальных земледельческих районах степи с малоснежными зимами (Поволжье, Северный Кавказ, Украина) на ровных площадях отмечается часто одинаковый эффект, полученный от азотной подкормки озимых ранней весной и поздней осенью, с наступлением устойчивого похолодания или даже под зиму.

В Российской Федерации разработан комплекс агрохимических приёмов, направленных на повышение эффективности азотных удобрений. Важнейшие условия, способствующие повышению эффективности азотных удобрений, следующие.

1. Строгое соблюдение агрономической технологии использования азотных удобрений с учетом доз, форм, сроков и способов их внесения.

2. Правильное соотношение азота с другими макро- и микроэлементами в зависимости от плодородия почвы и биологических требований культуры.

3. Совершенствование методов оптимизации азотного питания сельскохозяйственных культур в процессе всей вегетации растения. При этом необходимо учитывать прямое действие удобрений как источника питания растений этим элементом и косвенное, связанное с мобилизацией дополнительного «экстраазота» вследствие активизации процессов минерализации органического вещества почвы. Это имеет важное значение, так как к количеству минерального азота почвы и азота минерального удобрения добавляется «экстраазот», который трудно учесть существующими методами. Поэтому может создаваться избыток азота в почве, приводящий к полеганию хлебов, ухудшению качества продукции, загрязнению природных вод нитратами и т.д.

4. Использование ингибиторов нитрификации. Хотя этот приём и временный, на этапе разработки комплексных мер повышения эффективности азотных удобрений ингибирование нитрификации может сыграть существенную роль, особенно в предотвращении его потерь.

5. Совершенствование форм азотных удобрений в плане пролонгирования их действий. По-видимому, важно совершенствовать технологию производства мочевино-формальдегидных форм (МФУ) и различных видов капсулированных азотных удобрений. Актуальны исследования по синтезу новых видов и форм минеральных удобрений с постепенным переходом питательных веществ удобрений в почвенный раствор в процессе вегетации растений. Это позволит по-

высить коэффициент продуктивного их использования и снизить потери питательных элементов в окружающую среду.

6. Проведение периодического известкования в севообороте при систематическом применении азотных удобрений на кислых почвах, особенно дерново-подзолистого типа. Это объясняется тем, что азотные удобрения усиливают кислотность почвы, что отрицательно влияет на рост и развитие растений. Снижается коэффициент использования азота сельскохозяйственными культурами и соответственно возрастают его потери.

7. Применение комплекса агротехнических приемов, направленных на регулирование процессов мобилизации и иммобилизации азота в почве и в процессе гумификации.

Минерализация азота почвы при внесении азотных удобрений зависит от многих факторов: 1) от степени окультуренности дерново-подзолистых почв (на хорошо окультуренных почвах больше «молодых», т.е. легкогидролизуемых, гумусовых соединений); 2) интенсивной деятельности почвенных микроорганизмов; 3) увеличения поглотительной деятельности корневой системы удобренных растений; 4) форм азотного удобрения (аммиачные формы способствуют большему усвоению азота почвы по сравнению с нитратными); 5) известкования, которое значительно увеличивает мобилизацию и усвоение растениями азота почвы; 6) внесения навоза, с которым в почву поступает дополнительное количество микрофлоры, активно минерализующей органический азот почвы.

Нитратная и аммонийная формы азота могут быть иммобилизованы в результате взаимодействия с почвенным органическим веществом, потребления почвенными микроорганизмами, фиксации глинистыми минералами аммонийной формы азота. Иммобилизации подвергается 20 - 60% внесенного азота, размер ее зависит от: 1) форм и доз азотных удобрений (из амидных и аммиачных форм удобрений обычно закрепляется в 1,5-2 раза больше, чем из нитратных; с повышением дозы азота удобрений абсолютное количество иммобилизованного азота возрастает, а относительное – процент от внесенного – снижается); 2) количества закрепленного азота (в высокогумусных почвах содержание азота всегда выше, чем в малогумусных); 3) количества энергетического материала, который совместно с минеральными удобрениями увеличивает иммобилизацию азота удобрений за счет образования трудногидролизуемых соединений; 4) от отношения C : N в почве (чем шире отношение, тем больше иммобилизуется азота).

ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Источником сырья для промышленного производства фосфорных удобрений являются природные фосфорные руды, подразделяемые на две основные группы: апатиты и фосфориты. По содержанию P_2O_5 фосфорные руды бывают очень богатыми (35%) и очень бедными (5 - 10%). Как правило, из-за значительного количества примесей они подлежат обогащению.

Апатиты – породы эндогенного происхождения; часто кристаллизуются с другими минералами, например нефелином. В чистом минерале содержание P_2O_5 достигает 42%, в промышленных же рудах в связи с примесями других минералов оно колеблется в пределах 15 - 20%. Самые крупные запасы апатитов в нашей стране открыты в 1925 г. в Хибинах.

Эмпирическая формула апатита $Ca_5(PO_4)_3F$ или $[Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot CaF_2$. Фторид кальция может замещаться хлоридом, карбонатом, гидратом окиси. В связи с этим различают апатиты как фторапатит, хлор-apatит, карбонатапатит и гидроксилapatит.

Апатит – бесцветный, чаще зеленоватый или желто-зеленый минерал с кристаллами в виде шестигранной призмы, отличающимися высокой прочностью. Химическое или термическое удаление фтора приводит к разрушению его кристаллической решетки. Товарная апатитная руда содержит около 30% P_2O_5 . Обогащенный путем флотации апатитовый концентрат, освобожденный от нефелина, содержит до 40% P_2O_5 . Это лучшее в мире сырье для производства растворимых фосфорных удобрений.

Нефелин $(KNa)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ – алюмосиликат с содержанием 5 - 6% K_2O . На кислых почвах его можно использовать в качестве калийного удобрения. В воде он нерастворим, но при внесении в кислую почву калий становится доступным для растений.

Фосфориты – осадочная порода, состоящая из кристаллических и аморфных кальциевых фосфатов с примесью кварца, глинистых частиц и других минералов. По современным представлениям, фосфориты образовались на дне морей, где при благоприятных условиях они постепенно накапливались. Фосфорная кислота в фосфоритах представлена соединениями типа фторапатита $[Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot CaF_2$ и гидроксилapatита $[Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot Ca(OH)_2$. Фосфориты отличаются от апатитов большей пористостью частиц, обладают мелкокристаллической структурой.

Фосфоритные месторождения по геотектоническому положению разделяют на платформенные (залегают на больших участках земной коры и характеризуются горизонтальным залеганием, малой мощностью фосфоритных слоев) и геосинклинальные (расположены в складчатых горных районах, например фосфориты Каратау).

Из платформенных месторождений можно выделить Вятско-Камское, где фосфорит, отмытый от породы, содержит 24-26% P_2O_5 и около 5% полуторных окислов; Егорьевское, которое состоит из двух слоев (верхний содержит 25-26% P_2O_5 при 4-5% полуторных окислов, а нижний – 21-23% P_2O_5 при 10-12% полуторных окислов; эти фосфориты применяются на удобрение без предварительной химической переработки); Щигровское (фосфориты относятся к песчанистым, подобного рода фосфориты встречаются и в Воронежской, Тамбовской, Орловской, Брянской, Калужской и Смоленской областях Российской Федерации; они содержат 14-19% P_2O_5 , непригодны для химической переработки и используются в виде фосфоритной муки). Фосфориты Каратау сформировались на подвижных участках земной коры, на месте которых возникли в дальнейшем горные образования. Характерной чертой этого месторождения является наличие мощных высокопродуктивных фосфатсодержащих слоёв сложного залегания со значительными тектоническими изменениями. Фосфоритные слои часто чередуются с фосфатно-кремнистыми и фосфатно-карбонатными породами. В главном слое месторождения этих фосфоритов содержание P_2O_5 составляет 26-29%. Наибольшую ценность представляют пластовые фосфориты Каратау с мощностью пласта до 7 м, содержанием P_2O_5 30-35% и полуторных окислов лишь 2-2,5%. Существенный недостаток этих фосфоритов – повышенное количество магнезия, придающего им гигроскопичность, для устранения этого нужна дополнительная обработка, что приводит к удорожанию получаемой продукции.

Обычно выделяют несколько видов фосфоритов: желваковые (конкреционные), в виде окатанных камней; пластовые (массивные), представляющие слитую массу, но встречающиеся реже. Имеются также зернистые ракушечниковые разновидности фосфоритов.

Недостаток залежей фосфоритов – часто низкая концентрация фосфора и высокое содержание полуторных окислов в сырье. Это затрудняет их переработку на суперфосфат. Наличие полуторных окислов приводит к дополнительному расходу кислоты при переработке, а также к ретроградация растворимых солей фосфорной кислоты. Например, при получении 1 т усвояемой P_2O_5 в суперфос-

фате для разложения апатитового концентрата используют 1,885 т серной кислоты, а для фосфоритов в связи с необходимостью разложения в них примесей необходимо 2,5 т серной кислоты (в пересчёте на 100% H_2SO_4).

Во второй половине XX столетия темпы производства и применения фосфорных удобрений в нашей стране были высокими, что объясняется наличием больших площадей пашни с дефицитом усвояемого фосфора в почве почти всех земледельческих районов.

Все фосфорные удобрения можно разделить на три группы (рис. 5.2.): 1) содержащие водорастворимые фосфорные соединения; 2) содержащие фосфор, нерастворимый в воде, но растворимый в слабых кислотах (лимонной кислоте) и лимоннокислом аммонии (доступен практически всем культурным растениям); 3) содержащие фосфорные соединения, которые не растворяются ни в воде, ни в слабых кислотах (не усваиваются большинством культур, однако под действием кислотности почвы, корневых выделений растений, сопутствующих физиологически кислых удобрений и т.д. фосфор этих удобрений постепенно переходит в усвояемую для растений форму).



Рис. 5.2. Классификация фосфорных удобрений

Поскольку большинство почв стран СНГ имеют реакцию, близкую к нейтральной, то на них наиболее эффективны удобрения с водорастворимыми формами фосфорных соединений. В мире наиболее широко применяется эта группа удобрений. Технология переработки фосфатного сырья направлена на перевод фосфора в усвояемую для растений форму.

ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИЕ ВОДРАСТВОРИМЫЕ ФОСФОРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

К этой группе относятся суперфосфаты. По способу производства и содержанию P_2O_5 они делятся на простые и двойные (и даже тройные) суперфосфаты, а по консистенции – на порошковидные и гранулированные.

Суперфосфат простой $Ca(H_2PO_4)_2$ содержит 16 - 20% P_2O_5 . Присутствие в фосфорите большого количества железа и алюминия (выше 3% R_2O_3) нежелательно, так как при производстве суперфосфата на их разложение затрачивается дополнительно серная кислота. Кроме того, они способствуют ретроградации – процессу обратного перехода фосфорной кислоты в малорастворимые соединения.

В готовом суперфосфате всегда содержится около 5 - 5,5% P_2O_5 свободной фосфорной кислоты, что значительно ухудшает его качество, и до 40% гипса. Для устранения этого недостатка применяют нейтрализацию суперфосфата твердыми добавками (известью, мелом, доломитом, фосфоритной или костяной мукой) или аммиаком (газообразным и жидким). При получении простого суперфосфата концентрация P_2O_5 в суперфосфате в 2 раза меньше, чем в исходном материале. Поэтому для его изготовления необходимо брать высокопроцентные фосфаты (32 - 40% P_2O_5), чтобы получить суперфосфат с 16 - 20% P_2O_5 .

Хотя технология производства суперфосфата состоит из трех стадий (разложение фосфоритной руды серной кислотой, созревание суперфосфата и его дозревание), в промышленном производстве применяется непрерывный способ получения суперфосфата, при котором подача руды и кислоты, а также выгрузка созревшего суперфосфата происходят непрерывно.

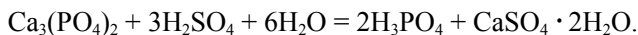
Качество суперфосфата оценивается по содержанию в них фосфорной кислоты, растворимой в воде и цитратном растворе (аммиачный раствор лимоннокислого аммония).

Гранулированный суперфосфат (20 - 22% P_2O_5) обладает хорошими физическими свойствами, при хранении не слеживается, а при внесении хорошо рассеивается. Одним из главных его преимуществ

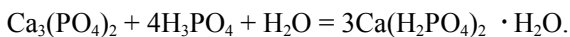
перед порошковидным суперфосфатом является то, что он меньше соприкасается с частицами почвы, чем ослабляется закрепление P_2O_5 почвой. Особенно важно это при внесении суперфосфата на кислых почвах с высоким содержанием полуторных окислов. Высокая эффективность гранулированного суперфосфата при разбросном внесении в почву обуславливается не только ослаблением связывания P_2O_5 , но и более равномерным распределением удобрения по площади.

Простой суперфосфат – хорошее удобрение для всех типов почв, особенно где растения хорошо отзываются еще и на серу, что удовлетворяется присутствием в нем гипса. Поэтому в нашей стране и за рубежом простой суперфосфат наиболее применяемое фосфорное удобрение. Однако низкое содержание фосфора снижает его транспортабельность, а следовательно, и экономическую эффективность. Необходим выпуск более концентрированных форм фосфорных удобрений.

Двойной суперфосфат $Ca(H_2PO_4)_2$ – высококонцентрированное фосфорное удобрение, содержащее до 45% и выше P_2O_5 . Фосфор присутствует в нем в виде монокальция фосфата и свободной фосфорной кислоты (до 2,5%). Это гранулы светло-серого цвета. Производство двойного суперфосфата включает две стадии. Сначала из фосфорита или апатита получают фосфорную кислоту:



Извлечение фосфорной кислоты из фосфоритов производят 20-25%-м раствором серной кислоты, с тем, чтобы не растворять большого количества содержащихся в них полуторных окислов (мокрый экстракционный способ). Затем фосфорную кислоту отделяют от осадка и упаривают для повышения концентрации. Сгущенным раствором фосфорной кислоты обрабатывают новую порцию фосфорита. При этом фосфат берут высокопроцентный, менее загрязненный посторонними примесями, в частности полуторными окислами:



Благодаря высокому содержанию P_2O_5 двойной суперфосфат является транспортабельным. Стоимость 1 т P_2O_5 двойного суперфосфата на 6-13% выше, чем простого. Повышенная концентрация обуславливает экономию при транспортировке и хранении этого удобрения. Поэтому стоимость применения 1 т P_2O_5 двойного суперфосфата оказывается ниже на 8-13%, чем простого суперфосфата.

По своему действию двойной суперфосфат при равной дозе (по фосфору) мало отличается от простого суперфосфата. В странах СНГ это наиболее перспективное фосфорное удобрение. Резко возрастает его производство и за рубежом. Однако следует учитывать, что при

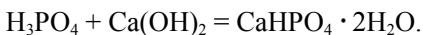
систематическом внесении двойного суперфосфата в районах со слабой обеспеченностью серой и под культуры с повышенной потребностью в ней (бобовые и крестоцветные) эффективность двойного суперфосфата может быть ниже простого, который содержит серу в составе гипса. В этих случаях применение двойного суперфосфата целесообразно сочетать с азотными удобрениями, содержащими серу, например с сульфатом аммония или с калийными серосодержащими удобрениями (сульфат калия, сульфат калия-магния).

Суперфос – новое концентрированное фосфорное удобрение с содержанием P_2O_5 38-40%, причем половина – в водорастворимой форме. Получают это удобрение путем химического обогащения и активирования фосфоритной муки смесью серной и фосфорной кислот. Для производства 1 т P_2O_5 в суперфосе используется 1-1,3 т H_2SO_4 и 0,36 т H_3PO_4 . Суперфос выпускают в гранулированном виде. По агрономической эффективности суперфос не уступает суперфосфатам.

ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИЕ ФОСФОРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, НЕРАСТВОРИМЫЕ В ВОДЕ, НО РАСТВОРИМЫЕ В СЛАБЫХ КИСЛОТАХ

Преципитат (дикальций фосфат) $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ содержит 25-35% P_2O_5 в зависимости от исходного фосфатного сырья. Это белый или светло-серый порошок, обладающий хорошими физическими свойствами (не слеживается и хорошо рассеивается). Фосфорная кислота преципитата растворяется в лимоннокислом аммонии (цитратно-растворимая) и доступна растениям.

Это фосфорное удобрение получается осаждением фосфорной кислоты известковым «молоком» или мелом (количество известкового «молока» при осаждении строго регулируется, так как при его избытке может получиться трикальцийфосфат, менее доступный для растений):



Затем преципитат отделяют от жидкости и осторожно сушат при температуре не более $100^\circ C$, так как может быть потеряна кристаллизационная вода, что понизит растворимость преципитата и доступность его растениям.

Томасилак содержит фосфор в основном в виде тетракальцийфосфата ($4CaO \cdot P_2O_5$ или $Ca_4P_2O_9$) или силикокарнатита ($Ca_4P_2O_9 \cdot CaSiO_3$). По стандарту в нем должно быть не менее 14% лимоннорастворимой P_2O_5 . Это щелочное удобрение, получаемое размолом побочного продукта (шлака) переработки богатых фосфором чугунов по щелочному методу на сталь и железо. Примесь фосфора снижает

качество последних. Для освобождения металла от фосфора при плавке чугуна добавляют CaO, который связывает образующийся P_2O_5 . Фосфор окисляется при температуре 1800 - 2000° до P_2O_5 . Связывание P_2O_5 приводит к образованию известковых солей фосфорной кислоты. Эти соединения вместе с кремнекислым кальцием и другими примесями всплывают на поверхность металла в виде шлака. Его сливают, а после остывания дробят и размалывают и в таком виде применяют в качестве фосфорного удобрения. При большом количестве SiO_2 в основном образуется двойная соль тетракальциевого фосфата и кремнекислого кальция – силикокарнатита, а при недостатке SiO_2 преобладает тетракальцийфосфат. Обе соли растворимы в лимоннокислом аммиаке и 2%-й лимонной кислоте.

Лимонно-растворимой P_2O_5 в томасшлаке содержится 75 - 90% от общего содержания. В его состав входят также соединения железа, алюминия, магния, марганца, молибдена, ванадия и других элементов.

Термофосфаты содержат 18 - 34% P_2O_5 , производятся путем сплавления или спекания природных фосфатов (фосфоритов или апатитов) со щелочными солями (содой, поташем и др.), с природными щелочными силикатами, металлургическими шлаками, известью, кварцем и другими соединениями. В этом случае труднодоступная фосфорная кислота переходит в растворимую в лимонной кислоте. Температура плавления термофосфатов 1000 - 1200°С. При высокотемпературной обработке разрушается кристаллическая решетка фосфата, выделяется фтор; фосфор природных фосфатов переходит в усвояемый растениями трикальцийфосфат $3CaO \cdot P_2O_5$ и другие соединения. Аморфная форма трикальцийфосфата получается и поддерживается стабильно при температуре 1180°С. С понижением температуры эта форма переходит в кристаллическую, плохо усвояемую растениями. Для уменьшения такого перехода реакцию массу быстро охлаждают.

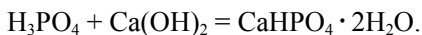
По составу и свойствам термофосфаты близки к соединениям, содержащимся в томасшлаке. Термофосфаты, полученные сплавлением со щелочными солями, хорошо растворяются в лимонной кислоте и растворе лимоннокислого аммиака и обладают даже лучшей доступностью для растений, чем томасшлак. Преимущество этого способа приготовления фосфорного удобрения заключается в том, что для этого могут быть использованы низкопроцентные фосфориты и апатиты, непригодные для производства суперфосфатов.

Обесфторенные фосфаты $Ca_3(PO_4)_2$ (28 - 32% P_2O_5) производят из апатита путем обработки водяным паром его смеси с небольшим количеством песка (2 - 3% кремнезёма) при температуре 1400 - 1450°С.

При такой обработке происходят разрушение кристаллической решётки фторапатита, удаление значительного количества фтора (до 90%) и переход фосфора в усвояемые для растений формы в виде лимоннорастворимого трикальцийфосфата и др. Удобрение содержит 28 - 32% лимонно-растворимой P_2O_5 , обладает хорошими физическими свойствами. По содержанию P_2O_5 удобрение относится к концентрированным фосфорным тукам. При основном внесении это удобрение на дерново-подзолистых и чернозёмных почвах не уступает суперфосфату. Обесфторенные фосфаты могут быть добыты из фосфоритов Каратау. В этом случае получают удобрения, содержащие 20 - 22% лимонно-растворимой P_2O_5 . Обесфторенный фосфат применяется и для минеральной подкормки животных.

Костяная мука – побочный продукт переработки костей. Жир извлекается бензином, а обезжиренные кости обрабатываются паром под давлением 1,5-2 атм. с последующей промывкой водой для извлечения клея. Получается обезжиренная и обесклеенная костяная масса, которую подвергают обработке соляной кислотой. При этом способе минеральные вещества $Ca_3(PO_4)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$ и другие растворяются, остается мягкий остов, состоящий из оссеина. При нагревании с водой оссеин дает высококачественный клей (желатин).

Фосфорная кислота из солянокислого раствора осаждается «известковым молоком» в виде преципитата по уравнению



Обезжиренная и обесклеенная костяная мука содержит 30 - 35% P_2O_5 и до 1 % азота. Соединения фосфорной кислоты в костяной муке находятся в форме, нерастворимой в воде, однако более доступной для растений, чем фосфор фосфоритной муки. На эффективность костяной муки оказывает влияние кислотность почвы. На почвах даже со слабой кислотностью костяная мука оказывает хорошее действие на урожай различных культур.

Плавленый фосфат магния содержит 20% P_2O_5 в лимоннорастворимой форме и около 12% MgO. Получают его сплавлением фосфорита с силикатным оливинитом или серпентинитом, в которые входит магний. Применять это удобрение лучше на супесчаных почвах, на которых культуры хорошо отзываются на магний.

Красный фосфор (229% P_2O_5) представляет интерес как перспективное удобрение. Он может стать самым высококонцентрированным фосфорным удобрением. Для окисления его в почве необходимо применять одновременно катализатор (например, медь, около 1% от веса фосфора).

исключает пылеватость удобрения и повышает содержание лимоннорастворимого фосфора в 1,5 раза.

2. Воздействие на фосфоритную муку расплавленным дисульфатом калия при 205 - 210°C в течение 50 - 60 мин. в шнековом смесителе: пылеватость исчезает, $P_2O_5 \sim 16\%$ (в том числе 70% лимоннорастворимой), K_2O – до 17%.

Вивианит (болотная руда) $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ (28% P_2O_5) – фосфорнокислая закисная соль железа. Встречается под слоем торфа в виде белёсой массы. Это удобрение является хорошим источником фосфора для культур на дерново-подзолистых, серых лесных почвах и выщелоченных чернозёмах. Вивианит легко разрыхляется при высухании и неплохо рассеивается.

ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

Фосфорные удобрения различаются по химическому составу, содержанию в них фосфорной кислоты, растворимости и доступности их растениям. Эффективность их зависит от свойств удобрений, зональных особенностей почв, а также от агрохимических методов оптимизации применения фосфорных удобрений.

Особенности применения фосфорных удобрений с учетом растворимости фосфорного соединения заключаются в следующем:

1) фосфаты, растворимые в воде, можно применять на всех почвах, под все культуры и в разных приемах;

2) эффективность фосфатов, растворимых в слабых кислотах, зависит от почв – на кислых почвах действие их может быть сильнее (томасшлак, термофосфаты), чем суперфосфатов;

3) труднорастворимые удобрения эффективны на кислых почвах Нечернозёмной зоны и на северных чернозёмах (выщелоченных, деградированных).

Однако на всех почвах более устойчивое положительное действие на урожай растений оказывают суперфосфат и преципитат.

Эффективность разных фосфорных удобрений зависит от свойств почвы. В одних почвах фосфаты поглощаются и закрепляются, в других – растворяются и переходят в доступное для растений состояние. В связи с этим труднорастворимые фосфаты лучше вносить под зябь, чтобы удобрения смешивались с большим объемом почвы, а легкорастворимые должны иметь меньший контакт с почвенными частицами в целях меньшего поглощения и закрепления фосфорной кислоты удобрения почвой (т.е. последнее лучше вносить в рядки, лунки, борозды). Эффект действия фосфорных удобрений обуслов-

ливается способностью отдельных растений усваивать фосфорную кислоту труднорастворимых соединений.

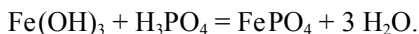
Растения нуждаются в фосфоре с начального периода своей жизни. Фосфорные удобрения не только увеличивают урожай, но и улучшают его качество (сахаристость свеклы, крахмалистость картофеля и т.д.), повышают зимостойкость озимых культур, ускоряют созревание. Действие фосфатов на урожай сельскохозяйственных культур зависит от способа их внесения. Основная часть удобрений должна быть внесена под зябь в сочетании с рядковым внесением. В сильно увлажненных или орошаемых условиях часть их может быть внесена в подкормку.

При внесении удобрений в основном приеме важна достаточная глубина их заделки, именно в тот слой почвы, где будет размещаться основная масса корней культуры, под которую вносятся удобрения. Это объясняется тем, что фосфорная кислота слабо мигрирует по профилю почвы (на 3-5 см). Верхние же слои почвы быстро пересыхают, и при мелкой заделке удобрения фосфор будет недостаточно использоваться корнями растений. Поэтому до посева фосфорные удобрения вносятся на глубину основной обработки почвы (вспашки) под данную культуру.

Высокоэффективное действие водорастворимых фосфорных удобрений отмечается при внесении их при посеве культуры (в лунки, гнезда и т.д.). В этом приеме применяется гранулированный суперфосфат. Удобрение вносится комбинированной сеялкой. В этом случае P_2O_5 меньше поглощается почвой и приближается к корням растений, что очень важно, особенно в начальный период роста растений. Под сахарную свеклу, картофель и некоторые другие культуры суперфосфат вносится комбинированными сеялками вместе с азотными или азотными и калийными удобрениями. По многочисленным опытам, проведенным в нашей стране, 0,5 ц гранулированного суперфосфата (10 кг P_2O_5) на 1 га дает прибавки 2,5-3 ц/га зерна. При дефиците фосфорных удобрений внесение суперфосфата под зерновые культуры при посеве весьма целесообразно.

Подкормки суперфосфатом сельскохозяйственных культур могут дать эффект при внесении недостаточных доз фосфорных удобрений в основном приеме, под зяблевую вспашку; в районах достаточного увлажнения или при орошении; а также на почвах, где имеет место сильное химическое поглощение при длительном соприкосновении суперфосфата с почвой, особенно на кислых с высоким содержанием полуторных окислов. В большинстве же случаев подкормки суперфосфатом менее эффективны, чем внесение аналогичных доз фосфора до посева или в рядки.

С учетом свойств удобрения и почвы эффективность формы фосфорных удобрений будет неодинаковой. Так, суперфосфаты могут применяться во всех зонах, под все культуры и любым приемом. Фосфорная кислота суперфосфата при взаимодействии с почвой может переходить в труднодоступную форму. На чернозёмных почвах с нейтральной и щелочной реакцией с содержанием карбоната кальция или кальция в поглощенном состоянии монокальцийфосфат может переходить в дикальций- и трикальцийфосфат. В почвах же кислых, не насыщенных основаниями, фосфорная кислота растворимых фосфатов осаждается преимущественно в виде малорастворимых в слабокислой среде и труднодоступных для растений фосфатов железа и алюминия:



Кроме этого, в кислых почвах интенсивно протекают процессы фиксации растворимых фосфатов на поверхности почвенных коллоидов, богатых полуторными окислами. Интенсивность химического и коллоидно-химического поглощения почвой фосфорной кислоты удобрения находится в прямой зависимости от содержания в почве подвижных форм полуторных окислов. Фосфорная кислота в результате биологического поглощения может также закрепляться в почве, в теле микроорганизмов, населяющих почву. По энергии поглощения фосфорной кислоты растворимых удобрений почвы располагаются в такой последовательности: краснозёмы > подзолистые почвы > чернозёмы > серозёмы.

Преципитат по своему действию на урожай близок к суперфосфату, однако пригоден он лишь для основного внесения под вспашку. Вносят его в тех же дозах P_2O_5 , что и суперфосфат. На почвах, не насыщенных основаниями, действие преципитата имеет преимущество перед суперфосфатом вследствие более сильного связывания фосфорной кислоты суперфосфата. На чернозёмных почвах действие суперфосфата равно или несколько выше действия преципитата. На серозёмах отмечено более высокое действие преципитата, что объясняется, по-видимому, также более интенсивным связыванием фосфорной кислоты суперфосфата.

Томасшлак, плавленые магниевые фосфаты, термофосфаты в ассортименте фосфорных удобрений занимают небольшой удельный вес. При внесении томасшлака в почву тетракальциевый фосфат и силикокарнатит в результате взаимодействия с почвенной влагой, содержащей углекислоту, постепенно распадаются с образованием свежесаженного трикальцийфосфата, который хорошо доступен растениям.

Томасшлак можно применять на всех почвах, на которых фосфорные удобрения оказывают положительное действие на урожай, но эффективность его на разных почвах неодинакова. На чернозёмах действие его несколько слабее, чем суперфосфата, а на почвах Нечернозёмной зоны, особенно кислых торфянистых и песчаных, томасшлак более эффективен, чем суперфосфат (смягчает кислотность). Нейтрализующая способность томасшлака особенно важна при сочетании фосфорных удобрений с физиологически кислыми формами азотных удобрений.

По эффективности термофосфаты близки к томасшлаку и могут применяться на всех почвах. На кислых почвах они оказывают более сильное действие на урожай, чем суперфосфат. Особенно рекомендуется применять эти удобрения в зоне подзолистых почв.

Таким образом, разложение фосфорита в кислых подзолистых почвах и северных чернозёмах определяется общей кислотностью почвы, т.е. при прочих равных условиях фосфоритная мука лучше будет действовать там, где кислотность больше. Однако такая простая зависимость между общей кислотностью почв и эффективностью фосфоритной муки наблюдается для почв с близкой по величине ёмкостью поглощения. В других случаях взаимосвязь оказывается более сложной. Почвы с гидролитической кислотностью 2,5 ммоль/100 г почвы способны разлагать фосфорит, но весьма слабо. Если же кислотность выше 2,5, то действие фосфоритной муки повышается и приближается к действию растворимых фосфатов. Однако растворение фосфорита в сильной степени зависит от ёмкости поглощения и степени насыщенности почв основаниями.

Почвы с малой ёмкостью поглощения при гидролитической кислотности 3 - 3,5 ммоль/100 г почвы и насыщенности основаниями 50 - 60% имеют обычно кислую реакцию (5,0 - 5,5). Кислотность таких почв в значительной мере обусловлена обменной кислотностью. При большой ёмкости поглощения, гидролитической кислотности 6 - 7 ммоль/100 г почвы и степени насыщенности 75 - 85% реакция почвы близка к нейтральной (6,0 - 6,5). Следовательно, высокое положительное действие фосфоритной муки будет при высокой кислотности почвы и меньшей степени насыщенности почв основаниями.

Действие фосфоритной муки усиливается при наибольшем контакте удобрения с почвой, что зависит от тонины помола, которая наибольшее значение имеет на слабокислых почвах. Эффективность фосфоритной муки зависит также от геологического возраста и минералогического состава фосфорита. Фосфориты древнего происхождения с кристаллическим строением фосфатного вещества отлича-

ются слабой доступностью для растений, особенно труднодоступен апатит. Более молодые фосфориты, в которых фосфатное вещество не имеет явно выраженного кристаллического строения, более усвояемы растениями.

Сопутствующие удобрения также влияют на эффективность фосфоритной муки. При совместном внесении ее с физиологически кислыми удобрениями ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и NH_4NO_3) фосфор фосфорита становится более доступным для растений. Физиологически щелочные удобрения при совместном внесении их с фосфоритной мукой действуют в противоположном направлении.

Для повышения усвояемости фосфоритную муку можно компостировать с верховым торфом или навозом. В этом случае эффект более высокий, чем от внесения только фосфоритной муки или торфа.

Эффект от применения фосфоритной муки зависит также от способности растений усваивать фосфорную кислоту из труднорастворимых фосфатов. Злаки, лен, свекла, картофель, вика могут усваивать фосфорную кислоту фосфоритной муки только при воздействии на нее кислотности почвы. Хорошо усваивают фосфор фосфорита люпин, гречиха, горох, эспарцет, горчица. Это связано с выделением корнями растений кислот, а также уменьшением концентрации кальция в растворе. Растения, поглощающие больше кальция, обладают лучшей способностью усваивать фосфор фосфоритной муки, чем растения, потребляющие меньше кальция.

Фосфоритную муку следует вносить заблаговременно. Лучшие условия разложения фосфоритной муки в почве достигаются при внесении ее под глубокую пахоту в достаточно влажный слой. При этом она перемешивается со всем пахотным слоем. Фосфоритная мука, внесенная в двойной или тройной дозах, оказывает длительное последствие, которое не ограничивается одной ротацией севооборота.

Весьма эффективны фосфорные удобрения на чернозёме. Это объясняется хорошим обеспечением почвы азотом, а также хорошим развитием корневой системы растений. На удобренном фосфором фоне растения на 10 - 15% меньше расходуют влаги на создание единицы урожая. На серых лесных почвах действие фосфора несколько снижается вследствие худшего их обеспечения азотом и высокой подвижности в них фосфорорганических соединений. На дерново-подзолистых почвах эффективность фосфорных удобрений достаточно высокая, если они применяются в сочетании с другими видами удобрений, при выполнении необходимых агротехнических и мелиоративных мероприятий. При использовании фосфорных удобрений важно учитывать их химические и физические свойства.

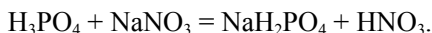
Например, во избежание потерь аммиака необходимо соблюдать следующие правила.

1. Нельзя смешивать щелочные формы фосфорных удобрений (томасшлак, фосфатшлак) с аммиачными солями.

2. Сухой суперфосфат рекомендуется смешивать с аммиачной селитрой накануне внесения. Заблаговременное смешивание этих удобрений может привести к отсыреванию смеси, что затрудняет их внесение.

3. Заблаговременное смешивание суперфосфата с сульфатом аммония часто приводит к образованию гипса. В этом случае смесь затвердевает.

4. При смешивании кислого суперфосфата с нитратными удобрениями возможна потеря летучей азотной кислоты:



5. Необходимо нейтрализовать кислотность суперфосфата, оказывающую вредное влияние на молодые растения. Для этого суперфосфат механически смешивают с фосфоритной (до 15%) и доломитовой мукой (до 10%) или с таким же количеством углекислой извести.

Труднорастворимые фосфаты, например фосфоритную муку, в севообороте вносят на несколько лет. Этот прием получил название «фосфоритование». Это один из важнейших приемов улучшения плодородия почв, повышения эффективности применения минеральных удобрений и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур. При этом фосфоритная мука вносится высокими дозами (1 - 1,5 т/га), что обеспечивает питание растений фосфором в течение 6 - 8 лет и существенно улучшает фосфатный режим почвы, что повышает продуктивность севооборота.

Улучшение фосфатного режима почв увеличивает эффективность других удобрений. Фосфоритование является эффективным мелиоративным приемом повышения плодородия низкоплодородных кислых почв. Эффективность его зависит от степени кислотности почв и обеспеченности их подвижным фосфором. Первоочередное фосфоритование нужно проводить при pH ниже 5,5 и содержании подвижного фосфора до 5 мг/100 г почвы.

Фосфоритование в севообороте лучше проводить в пару под озимые культуры и зерновые с подсевом бобовых трав, которые, используя фосфор фосфоритной муки, больше накапливают азота в почве, способствуя повышению продуктивности последующих культур севооборота. Хорошо отзываются на фосфоритную муку гречиха, горчица, горох, люпин, корневая система которых легко усваивает фосфор из труднодоступных соединений. Фосфоритование эффектив-

но при коренном улучшении лугов и пастбищ. Если этот прием проводят совместно с известкованием, то фосфоритную муку и известь вносят раздельно (перед вспашкой и после нее) в разные слои почвы.

Фосфоритование должно стать обязательным приемом при улучшении вновь осваиваемых низкоплодородных земель, при осушении и разработке торфяников и низкоплодородных кислых лугов на минеральных почвах. При фосфоритовании в почву вносится не менее 200 кг P_2O_5 , или 1 т в физическом весе муки. Для расчета дозы фосфоритной муки с целью повышения фосфатного уровня почвы можно использовать нормативы расхода питательного вещества для повышения подвижного фосфора на 1 мг/100 г почвы (см. табл. 3.14).

Пример расчета. Исходные данные: почва дерново-подзолистая супесчаная; рН 4,5; фактическое содержание подвижного фосфора 4,6; планируемое – 9 мг/100 г почвы.

Дозу фосфоритной муки определяют по формуле

$$D = (B - A) \cdot C \text{ или } D = (9,0 - 4,6) \cdot 60 = 264 \text{ кг } P_2O_5/\text{га},$$

где D – доза P_2O_5 (кг/га); B – планируемый уровень содержания P_2O_5 (мг/100 г почвы); A – фактическое содержание P_2O_5 (мг/100 г почвы); C – расход P_2O_5 для повышения его содержания на 1 мг/100 г почвы.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

Особое значение в агрохимии придается оптимизации фосфорного удобрения. Почвы, хорошо обеспеченные фосфором за счет систематического внесения удобрений, способны длительное время обеспечивать сельскохозяйственные культуры оптимальным фосфорным питанием. Фосфор существенно смягчает действие экстремальных погодных условий на культурные растения, высокий урожай которых может сформироваться даже в условиях засухи, низких или высоких температур. В мировом земледелии в ряде стран, особенно Европы, повышение фосфатного уровня почв в севообороте часто достигается путем периодического внесения высоких доз фосфорных удобрений. Этому благоприятствует ряд факторов: сохранение в почве фосфора в доступной для растений форме, слабая миграция его по профилю почвы и отсутствие практически потерь в окружающую среду, достаточная изученность оптимального содержания подвижного фосфора в почве для различных сельскохозяйственных культур и количества фосфорных удобрений, необходимого для достижения этого оптимального фосфатного уровня для каждого типа почвы. В отличие от азота в природе не существует естественных источников пополнения запаса фосфора в почве. Поэтому основной путь поддержания

оптимального питания растений фосфором – внесение минеральных и органических удобрений. В связи с этим упрощается и изучение баланса фосфора в земледелии. Агрохимической наукой этот биогенный элемент наиболее изучен. Однако как с точки зрения агрохимии, так и экологии фосфора и фосфорных удобрений существует еще ряд нерешенных проблем.

1. Низкий коэффициент использования фосфора удобрений как отдельными культурами, так и в агроценозе.

2. Периодическое внесение высоких доз фосфорных удобрений или зафосфачивание почв нарушает баланс других биогенных элементов, что отрицательно сказывается на питании растений.

3. Наличие в фосфорных удобрениях примесей различных элементов, в том числе и тяжелых металлов, загрязняющих почву, природные водоемы и грунтовые воды. Часть их поступает в растения, снижая качество продукции и кормов для животных.

4. Иммобилизация (ретроградация) фосфора в почве в результате химического поглощения. Наиболее интенсивно эти процессы протекают на карбонатных чернозёмах, на красноземах, на кислых дерново-подзолистых почвах с высоким содержанием полуторных окислов алюминия и железа.

5. Мобилизация фосфатов почвы для питания культурных растений. Это имеет важное значение для тех земледельческих районов и на таких почвах, где в результате систематического внесения высоких доз фосфорных удобрений создались значительные его запасы, намного превышающие оптимальный фосфатный уровень. Существуют и другие проблемы.

Оптимизация фосфорного питания сельскохозяйственных культур определяется их выращиванием в специализированных севооборотах в конкретных почвенно-климатических условиях. При этом если трудности оптимизации питания растений азотом связаны с высокой подвижностью нитратов в почве, то создание необходимого фосфатного уровня путем внесения повышенных доз удобрений приводит к связыванию ряда биогенных элементов, например цинка, меди и других, т.е. к нарушению баланса питательных элементов в почве, к ухудшению условий питания другими элементами. В этом случае необходимо оптимизировать питание растений фосфором с учетом содержания в почве в доступной для растений форме и других элементов.

Разработка и применение оптимальных доз фосфора тесно связаны с комплексом агротехнических, химических и биологических методов мобилизации фосфора почвы, накопленного в результате систематического применения фосфорных удобрений. Например, при-

менение физиологически кислых азотных и калийных удобрений в сочетании с микроэлементами существенно мобилизует фосфор на зафосфаченных чернозёмах, сероземах и каштановых почвах. В этом случае можно длительное время получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур без применения фосфорных удобрений. Известкование кислых дерново-подзолистых почв также мобилизует фосфаты почвы, связанные полуторными окислами алюминия и железа.

Высокое содержание фосфатов в почвах в ряде хлопкосеющих, свеклосеющих и других земледельческих районов и в отдельных хозяйствах ставит перед агрохимической наукой задачу: изыскание других эффективных методов их мобилизации и вовлечение этого фосфора в круговорот веществ в земледелии.

При решении проблемы оптимизации фосфорного удобрения с учетом фосфатного режима почвы важно учитывать следующие особенности.

1. Объективная оценка эффективности фосфорных удобрений возможна не только по продуктивности отдельных культур, но и севооборота в целом.

2. Методы оценки фосфатного уровня почвы и оптимизации фосфорного удобрения различны и зависят от особенностей определения подвижного фосфора в почве.

3. Для полной оценки данной проблемы необходимо учитывать не только содержание подвижного фосфора по принятому для данной почвы методу, но и степень его подвижности в слабо солевых вытяжках.

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве оптимальный интервал содержания подвижного фосфора в пахотном слое 10-15 мг/100 г почвы. На таких почвах при соблюдении соответствующей агротехники и обеспечении растений азотом и калием среднегодовая продуктивность полевого севооборота составляет 45-50 ц зерновых единиц основной продукции. При содержании подвижного фосфора в почве выше этой величины окупаемость фосфорных удобрений резко снижается.

Оптимальный фосфатный режим на серых лесных почвах близок к режиму на дерново-подзолистых почвах при использовании одного рекомендуемого метода Кирсанова. Такая же величина оптимального содержания подвижного фосфора в почве установлена и для чернозёмов, но при определении его по методу Чирикова. Этот уровень на карбонатных чернозёмах и каштановых почвах составляет от 3 до 4,5 мг/100 г почвы (по методу Мачигина). Такой же уровень определен как оптимальный и для сероземных почв.

При оптимизации фосфорного удобрения необходимо пользоваться и другими показателями, определяющими фосфатный режим почвы.

1. Балансовый коэффициент использования (коэффициент баланса, коэффициент выноса, показывающий, какую часть составляет вынос питательных веществ от внесенных с удобрениями) рассчитывают по формуле

$$K_b = \frac{B}{D} \cdot 100,$$

где K_b – коэффициент баланса; B – вынос фосфора с урожаем; D – доза внесенного фосфора.

2. Коэффициент компенсации возмещения, или интенсивность баланса (K_B), величина, обратная K_b , т.е.

$$K_B = \frac{D}{B} \cdot 100.$$

Коэффициент баланса представляет меру эффективности удобрений при соответствующем содержании питательных элементов в данных почвенных условиях.

Увеличение или снижение дозы удобрений ($V_{\text{опт}}$ %) в соответствии с выносом растениями питательного вещества вычисляется по формуле

$$V_{\text{опт}} = \left(\frac{100}{K_{b \text{ опт}}} - 1 \right) \cdot 100.$$

Оптимальная доза удобрений рассчитывается по формуле

$$D_{\text{опт}} = B_{\text{опт}} \cdot V \%$$

Затем определяют степень обеспечения почв фосфором в зависимости от содержания его подвижной формы (K):

$$K = D_{\text{опт}} - B_{\text{опт}}.$$

При низкой обеспеченности почв подвижным фосфором K составляет 48 - 55, при средней – 17 - 20, а при высокой будет – 3 - 6 кг P_2O_5 /га.

3. Дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитываются по формуле

$$D_{P(K)} = B_{\Pi} - S_0 + C_{P(K)},$$

где $D_{P(K)}$ – доза фосфорных или калийных удобрений (кг/га, д. в.); B_{Π} – вынос фосфора или калия планируемым урожаем (кг/га); S_0 – содержание фосфора или калия в органических удобрениях (кг/га); $C_{P(K)}$ – количество фосфора (или калия), увеличивающее содержание этих элементов на 10 мг/кг в почвах с очень низким содержанием и на 5 мг/кг в почвах со средним содержанием питательных веществ (кг/га).

За оптимальный уровень принимается содержание подвижного фосфора в почве, при котором может быть достигнуто не менее 90 - 95% от максимального урожая, а недостающие 5 - 10% восполняются фосфором удобрений для компенсации выноса планируемым урожаем.

Обобщение длительных опытов с удобрениями позволило разработать общие принципы дифференциации доз удобрений с учетом ряда конкретных условий (табл. 5.9).

Проблема определения эффективных доз фосфорных удобрений в зональном аспекте достаточно разработана. Особенно важно, что эти вопросы изучались в стационарных опытах, наиболее объективно отражающих закономерности связей фосфатного режима почв с продуктивностью не только отдельных культур, но и севооборота в целом.

5.9. Дифференциация доз фосфорных удобрений и вынос фосфора растениями в зависимости от обеспеченности почв подвижным фосфором

Содержание подвижной P_2O_5 в почве, мг/100 г	Дозы P_2O_5 , кг/га	Коэффициент дифференциации доз **	Возможная продуктивность севооборотов, ц/га з. е. (основная продукция)	Возможный вынос P_2O_5 , кг/га	Коэффициент изменения выноса	Остаточный фосфор в почве, кг/га
< 5	120	2,0	30 - 35	35 - 40	0,75	85 - 80
5,1 - 10,0	90	1,5	35 - 40	40 - 45	0,85	55 - 50
10,1 - 15,0	60	1,0	40 - 50	45 - 55	1,00	15 - 5
15,1 - 25,0	30	0,5	45 - 50 и более	55 - 60	1,15	-(25 - 30)
> 25	10*	0,2	45 - 50 и более	55 - 60	1,15	-(45 - 50)

* В рядок при посеве.

** За единичную дозу (коэффициент дифференциации 1) принята доза P_{60} .

КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Удобрения, содержащие калий, производят из природных солей. Значительные залежи калийных солей имеются в России, Канаде, Германии, Франции, США, Испании и других странах.

Соликамское месторождение расположено по западному склону северной части Уральского хребта вблизи городов Соликамск и Березники. Калийные соли залегают под толщей наносных пород. Верхняя часть пласта представлена карналлитом $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ с примесью $NaCl$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, глины и других, содержащим до 17% K_2O . Карналлит имеет пеструю окраску от сочетания желтого, оранжевого, бурого и красного цветов, обусловленных примесью тонкодисперсных частиц железного блеска (Fe_2O_3). Ниже карналлита залегают мощный пласт сильвинита ($mKCl + nNaCl$) (m и n – числа непостоянные). Этот пестро окрашенный минерал, содержащий 10-25% K_2O , является основным сырьем для получения хлористого калия.

Заволжское месторождение в России отличается содержанием преимущественно более ценных серноокислых солей. Основные минералы: полигалит, каинит, глазерит ($3K_2SO_4 \cdot NaSO_4$) и др. Главные пункты залегания этих солей находятся в Саратовской и Оренбургской областях, а также в Башкирии.

Большие месторождения калийных солей имеются на Украине в Ивано-Франковской и Львовской областях. В минералах этих месторождений преобладают лангбейнит ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$), каинит ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$), полигалит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$), шенит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$). Это сырье перерабатывают на Стебниковском и Калушском комбинатах. В отличие от Соликамского месторождения здесь к солям примешано до 30% ила.

Белорусские залежи калийных солей (в Полесье), которые, по видимому, являются продолжением прикарпатских месторождений, представлены сильвинитом, карналлитом и галитом. На базе белорусских залежей калийных солей близ г. Солигорска действуют шахты и калийные комбинаты.

Жилинское месторождение в Актюбинской области (Казахстан) представлено в основном полигалитом. Присутствуют также карналлит, сильвинит, глазерит и др. Природная полигалитовая соль является хорошим сырьем для производства сульфата калия, серноокислых калийно-магниевого солей и комплексных минеральных удобрений. После размола она может быть использована как сульфатная форма калийно-магниевого удобрения (13-15% K_2O , 6-7% MgO).

Как удобрения могут быть использованы и другие минералы, содержащие калий. К ним можно отнести алюмосиликат калия и натрия – нефелин $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, спутник апатита в Хибинском месторождении. Содержание калия в нем составляет 5 - 6%. Он нерастворим в воде, но в кислых почвах происходит частичное обменное разложение нефелина. В нем содержится также 10 - 13% Na_2O и 8 - 10% CaO , поэтому на кислых почвах он может оказывать и нейтрализующее действие. Используют его только как местное удобрение на кислых, торфяных почвах.

Кроме этого, при производстве алюминия из нефелина в отход поступает карбонат калия, содержащий 63 - 67% K_2O . Это весьма ценное калийное удобрение, особенно для культур, чувствительных к хлору.

Калийные удобрения можно подразделить на сырые калийные соли и концентрированные калийные удобрения (рис. 5.3).

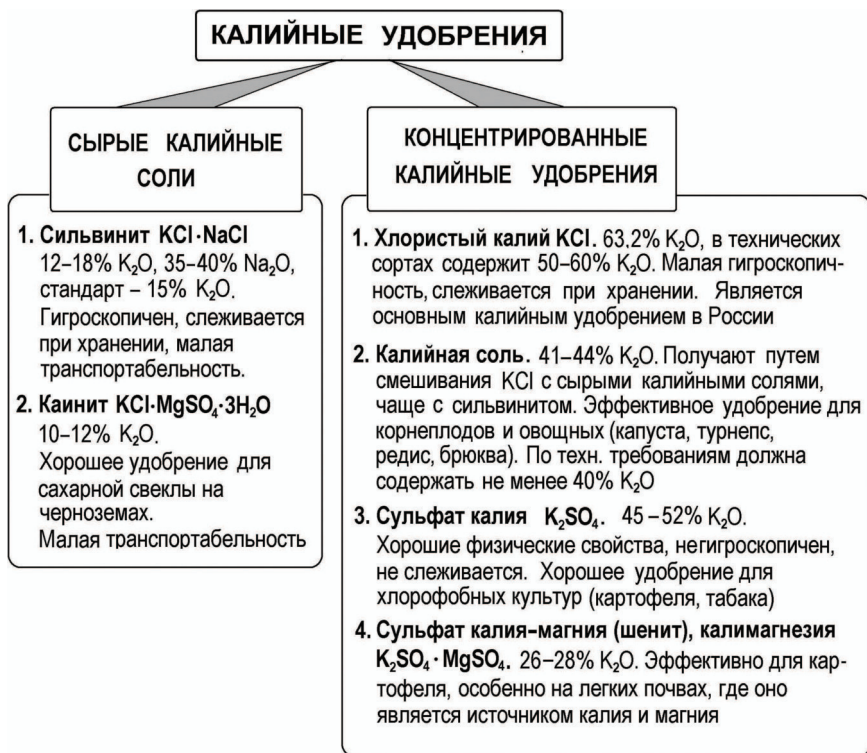


Рис. 5.3. Классификация калийных удобрений

Сырые калийные соли (сильвинит, каинит) получают путём механической переработки природных калийных солей, которая сводится к дроблению и размолу соли и производится в непосредственной близости к источникам добычи. Обычно для этой цели используются наиболее концентрированные пласты месторождения. Менее же концентрированные идут на переработку. Первое время для удобрения больше использовались сырые калийные соли, а затем они стали вытесняться концентрированными удобрениями. Причина этого в том, что они содержат много балласта, который удорожает расходы на транспорт и внесение этого удобрения. Из сырых калийных солей наиболее распространены следующие.

Сильвинит ($KCl + NaCl$) содержит 12 - 18% K_2O и 35 - 40% Na_2O . Согласно стандарту сильвинит Соликамского месторождения должен содержать 15% K_2O . Он гигроскопичен, при хранении слеживается. Для предотвращения этого рекомендуется тщательное его перелопачивание.

Каинит ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$) с механической примесью каменной соли ($NaCl$), $CaSO_4$, $MgSO_4$ и др. (каинит западноукраинских месторождений по составу близок к соликамскому сильвиниту). Добывается в Стебнике (Западная Украина). Содержание K_2O около 10 - 12%. Представляет собой размолотую каинито-лангбейнитовую породу. Хорошее удобрение для сахарной свеклы на чернозёмах. Смешивая каинит и хлористый калий, получают калийную соль (30 - 40% K_2O).

Вследствие малой транспортабельности сырые калийные соли используются лишь в районах их добычи и в ограниченных размерах. Основная же часть их используется для получения высококонцентрированных калийных удобрений.

Из **концентрированных калийных удобрений** наибольший удельный вес имеет **хлористый калий** ($KCl - 63,2\% K_2O$). Это главное калийное удобрение в России. Представляет собой белый мелкокристаллический продукт, имеет незначительную гигроскопичность, часто слеживается. В технических сортах, идущих на удобрение, содержится 50 - 60% K_2O .

Метод получения хлористого калия из природных калийных солей основан на различной растворимости его и других компонентов сырых калийных солей. Растворимость KCl при температуре $100^\circ C$ вдвое больше, чем при $0^\circ C$, а для $NaCl$ в указанном интервале температур она почти не изменяется. Размолотый сильвинит растворяется при температуре $110^\circ C$ в так называемом растворительном щёлоке, представляющем собой насыщенный раствор $NaCl$. В этом щёлоке будет

растворяются только KCl сильвинита, а $NaCl$ остается нерастворимым и выпадает в осадок.

При охлаждении полученного раствора выпадает кристаллический осадок KCl с содержанием 56,9-61,9%. Оставшийся маточный насыщенный раствор $NaCl$ используется в качестве растворителя для обработки новых порций сильвинита. Отход производства содержит до 95% $NaCl$ и служит материалом для получения соды, технической и поваренной соли.

Имеются и другие, более совершенные технологические способы производства хлористого калия. Один из них основан на принципе флотации. Это способ разделения мелких твердых частиц различных веществ, основанный на различии в их смачивании. В данном случае разделяются минералы сильвин (KCl) и галит ($NaCl$). Во флотационном процессе используют различные реагенты-собиратели, например алифатические амины.

Принцип разделения состоит в следующем: в водный раствор тонко измельченной руды при взмучивании добавляют реагент-собиратель, который адсорбируется на поверхности кристалликов хлористого калия (расход реагента-собирателя составляет 100-200 г на 1 т руды); при пропускании через пульпу воздуха сильвин вместе с пузырьками воздуха всплывает на поверхность (термин «флотация» – от французского слова «flotter» – плавать на поверхности воды). Концентрат KCl в виде пены обезвоживается, сушится и получается высококонцентрированное калийное удобрение.

Достоинство этого метода состоит в том, что весь процесс идет без высоких температур, при этом уменьшается гигроскопичность кристалликов хлористого калия, улучшаются его физические свойства, он не слеживается. Производство хлористого калия методом флотации успешно освоено на Березниковском калийном комбинате, который выпускает хлористый калий с содержанием 60% K_2O . Он крупнокристаллический, меньше слеживается. Вторым новым методом, применяемым во Франции и других странах, основан на различной плотности KCl (1,987 г на 1 см³) и $NaCl$ (2,17 г на 1 см³). В России этот метод усовершенствован. Для разделения более мелких частиц KCl и $NaCl$ используют центробежную силу аппарата гидроциклон. Применяется этот метод на Соликамском комбинате.

Необходимо значительное расширение производства крупнокристаллического и гранулированного калия, так как мелкокристаллический калий имеет неудовлетворительные физические свойства (он гигроскопичен и слеживается), из него нельзя приготовить высококачественную тукосмесь с гранулированным суперфосфатом

и гранулированной аммиачной селитрой. Внесение такой тукосмеси центробежными разбрасывателями приводит к расслоению (сегрегации) удобрений, а следовательно, и неравномерному их внесению. Крупнокристаллический же калий меньше поглощается почвой (как и гранулированный суперфосфат) и более длительное время находится в доступном для растений состоянии. При внесении хлористого калия в крупных кристаллах необменное поглощение калия почвой снижается на 30% и больше вследствие меньшего контакта его с почвой. Это приводит часто к большей эффективности крупнокристаллического калия.

Калийная соль (41 - 44% K_2O) получается путем смешивания хлористого калия с сырыми калийными солями, чаще с тонко размолотым сильвинитом, а иногда и каинитом. Смешанные калийные соли – наиболее подходящее удобрение для свеклы, овощных культур семейства крестоцветных (брюквы, капусты, редиса, турнепса), моркови и других растений, отзывавшихся на натрий, магний (на легких почвах) и другие элементы. По внешнему виду калийная соль – мелкие пестро окрашенные кристаллы. По техническим требованиям она должна содержать не менее 40% K_2O . Выпускается и 30%-я калийная соль – смесь сильвинита с каинитом.

Сульфат калия-магния (шенит) – калимагнезия – двойная соль сернокислого калия и магния ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$) содержит 26 - 28% K_2O . Получается из каинито-лангбейнитовой породы и состоит как бы из обезвоженного минерала шенита. Это удобрение используется под картофель, особенно на легких почвах, где оно является наилучшим источником калия и магния.

Калимаг (16 - 19% K_2O) производится из лангбейнита ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) после размалывания минерала и удаления из него $NaCl$ выщелачиванием. Примерный химический состав этого удобрения: K_2SO_4 – 39%, $MgSO_4$ – 55, $NaCl$ – 1, нерастворимого остатка – 5%.

Сульфат калия (K_2SO_4) содержит 45 - 52% K_2O . Производится методами обменного разложения KCl и $MgSO_4$ (I) и термического восстановления (II):



Сульфат калия вследствие невысокой растворимости выпадает в осадок, а сильнорастворимый $MgCl_2$ остается в растворе. Осадок сульфата калия отфильтровывают и сушат.



Сульфат калия выщелачивается при 100°C водой, а окись магния остается в осадке; сернистый газ восстанавливается метаном до элементарной серы.

Сульфат калия производится в западноукраинских месторождениях калия путем переработки лангбейнитовой соли. Это удобрение обладает хорошими физическими свойствами, совершенно негигроскопично и не слеживается. Оно особенно ценно для культур, чувствительных к хлору (картофеля, табака).

Калий-электролит (39-42% K_2O) представляет собой смесь KCl и хлоридов натрия и магния. Отход, получающийся при производстве магния из карналлита, выпускается в Соликамске.

Калийсодержащая цементная пыль (14-35% K_2O) – отход производства цемента, содержащий карбонат (K_2CO_3), бикарбонат ($KHCO_3$) и сульфат калия (K_2SO_4). В ней содержатся также $CaCO_3$, MgO (3-4%), кремнекислота, полуторные окислы и некоторые микроэлементы. Учитывая сложный химический состав и щелочную реакцию цементной пыли, можно предположить, что на кислых почвах положительное ее действие определяется и другими содержащимися в ней элементами, а также ее щелочностью. Отсутствие хлора в цементной пыли позволяет с успехом применять ее под культуры, чувствительные к нему (картофель, гречиху, виноград, табак, цитрусовые и др.).

В Голландии, Норвегии, Финляндии цементную пыль применяют как калийное и известковое удобрение. Она хорошо растворима в воде и вполне доступна растениям. К сожалению, содержащийся в ней K_2CO_3 обладает высокой гигроскопичностью и расплывается на воздухе. Цементную пыль можно использовать для приготовления фосфата калия, а также гранулировать.

Зола используется как местное калийно-фосфатно-известковое удобрение. Хорошее удобрение для всех культур, а для чувствительных к хлору она лучше соликамских калийных удобрений. Калий в золе содержится в виде K_2CO_3 – поташа. Фосфор золы усваивается растениями не хуже, чем из преципитата и томасшлака и, в отличие от суперфосфата, не связывается в труднорастворимые фосфорные соединения. Наличие в золе извести устраняет отрицательное действие поташа на структуру почвы.

В золе содержатся также и микроэлементы, количество калия, фосфора и кальция в ней зависит от почвенно-климатических условий, вида растения, его возраста и т.д. Доза золы под вспашку или культивацию в качестве удобрения 5-6 ц/га. Торфяную золу и отзол для нейтрализации кислотности вносят в количестве 1,5-3 т/га (лучше всего под вспашку).

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

Внесение с калийными удобрениями 1 т K_2O обеспечивает прибавку с 1 га урожая зерна 2-3 т, картофеля – 20-33, сахарной свеклы – 35-40, хлопка-сырца – 1-2, льноволокна – 1-1,5, сена сеяных трав – 20-33, сена луговых трав – 8-18 т.

Об обеспеченности сельскохозяйственных культур калием наиболее объективно можно судить по содержанию его в почве в обменной форме. Методы определения этой формы калия различны в зависимости от типа почвы: для почв дерново-подзолистой зоны – метод Кирсанова (0,2 н. HCl), для серых лесных почв и чернозёмов (кроме карбонатных) – метод Чирикова (0,5 н. CH_3COOH), для карбонатных чернозёмов, каштановых почв и серозёмов – метод Мачигина (1%-м $(NH_4)_2CO_3$). Это позволяет одновременно в одной вытяжке определять подвижный фосфор и обменный калий. Для дерново-подзолистых почв используются также вытяжки нормальных растворов хлористого натрия (метод Пейве) и уксуснокислого аммония (метод Масловой). Все методы определения в почве доступного растениям калия основываются на извлечении из нее обменного калия, адсорбционно удерживаемого коллоидными частицами. В это количество входит и водорастворимый калий.

Обеспеченность пахотных почв калием в нашей стране лучше, чем фосфором, однако более одной трети площадей имеют низкий и средний уровень его содержания и нуждаются во внесении калийных удобрений. По некоторым природно-экономическим районам таких площадей значительно больше. Например, в Нечерноземной зоне России две трети пашни нуждаются в обязательном внесении калийных удобрений. В связи с увеличением площадей почв с низким и средним содержанием его подвижных форм возрастает потребность в калии в государствах Средней Азии, Закавказья, в Белоруссии, на Украине, в странах Балтии.

Эффективность калийных удобрений зависит от типа и гранулометрического состава почвы, наличия усвояемого калия в почве, потребности культуры в нем, а следовательно, и насыщенности севооборота интенсивными культурами, количества атмосферных осадков и температуры, степени унавоженности почвы, от уровня применения азотно-фосфорных удобрений, способа заделки удобрения, формы калийного удобрения, применяемого под ту или иную культуру, и т.д. Высокоэффективны калийные удобрения на дерново-подзолистых почвах, красноземах, серых лесных почвах и северных чернозёмах. Особенно бедны обменным калием дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы, осушенные торфяники и торфяно-болотные почвы.

Дерново-подзолистые почвы характеризуются сравнительно небольшими запасами доступного растениям калия. Необменный калий входит в состав преобладающих в этих почвах вторичных глинистых минералов – каолинита и монтмориллонита, которые не обеспечивают восстановления запасов обменного калия в процессе роста растений. Это и обуславливает высокое положительное действие калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах. Ежегодное внесение калийных удобрений (опыты проводились более 30 лет) в количестве 30 - 90 кг K_2O на 1 га существенно повышает урожай не только корнеклубнеплодов (преимущественно картофеля), но и зерновых культур. Особенно высокие прибавки урожая от калия (до 30 - 50% и более) получают на легкосуглинистых и песчаных почвах, характеризующихся исключительно малыми запасами калия. В менее длительных опытах на хорошем азотно-фосфорном фоне калийные удобрения также эффективны, что сопровождается существенным повышением урожая всех культур севооборота уже в первой ротации: прибавки урожая зерновых культур от калия в среднем составляли 10 - 20%, у корнеклубнеплодов достигали 30% и более. По мере истощения запасов почвенного калия и улучшения азотнофосфорного питания растений потребность в калийных удобрениях возрастает, а их эффективность увеличивается, что особенно проявляется на почвах тяжёлого гранулометрического состава. Из-за слабой обеспеченности дерново-подзолистых почв подвижным калием внесение умеренных доз калийных удобрений (до 90 кг/га K_2O) не обеспечивает положительного баланса калия. Однако содержание обменного калия в почве в результате динамического равновесия между отдельными формами калия на контроле часто сохраняется на исходном уровне, что связано с мобилизацией природного почвенного калия, вызванной физиологической кислотностью удобрений, биологическим накоплением калия растениями в связи с лучшим развитием их на удобренных вариантах, а также с использованием калия подпахотного и нижележащих слоев почвы. Мобилизация необменного калия под влиянием удобрений обеспечивает питание растений, увеличение подвижных форм калия в почве и сопровождается уменьшением количества необменного калия.

На песчаных почвах, нуждающихся в известковании, внесение калийных удобрений усиливает необходимость нейтрализации почвенной кислотности, так как калий вытесняет в раствор ионы водорода, алюминия, марганца, снижающие pH. Еще большее значение приобретают калийные удобрения при известковании кислых почв. При-

бавки от калия на фоне извести возрастают как в абсолютных, так и относительных величинах. Действие извести на кислых почвах, кроме улучшения физико-химических свойств почв, выражается также в улучшении условий азотно-фосфорного питания растений и в некотором снижении обеспеченности растений калием вследствие усиления процесса фиксации его почвенными коллоидами. Кроме того, с ростом урожая при известковании увеличивается вынос калия из почвы, а переход его в почве в доступные формы идет менее интенсивно, чем в кислых почвах.

Вследствие антагонизма калия и кальция возникает потребность в повышении доз калийных удобрений при известковании и на почвах с реакцией, близкой к нейтральной. Известкование почв в этих случаях значительно повышает эффективность калийных удобрений (табл. 5.10).

С другой стороны, с улучшением калийного режима почв повышается отдача и от известкования. Применение же навоза снижает эффект от калийных удобрений, так как он оказывает сильное влияние на пищевой режим почв и сам является хорошим источником калийного питания.

Серые лесные почвы характеризуются сравнительно невысоким содержанием обменного калия в пахотном горизонте. Однако действие калийных удобрений на урожай различных культур значительно слабее по сравнению с дерново-подзолистыми почвами. Связано это с тем, что необменный калий илистой фракции входит в состав гидрослюд лёссовидных суглинков – основной почвообразующей породы серых лесных почв. Гидрослюды же обладают как высокой фиксирующей способностью в отношении одновалентных катионов, в частности калия, так и способностью легко высвобождать необ-

5.10. Эффективность калийных удобрений в зависимости от кислотности дерново-подзолистых почв

рН _{KCl}	Прибавка урожая от 100 кг K ₂ O, ц/га		
	ячмень	озимая рожь	картофель
< 4,5	2,9	3,8	20,1
4,6 - 5,0	4,6	3,0	26,7
5,1 - 5,5	5,0	6,3	29,9
5,6 - 6,0	5,6	6,7	37,6

Примечание. Ячмень и картофель возделывались на супесчаной почве, озимая рожь – на суглинистой

менно-поглощенный калий, который либо переходит в обменное состояние, либо непосредственно используется растениями.

Изучение калийного режима серых лесных почв при длительном применении удобрений показало, что в течение одной ротации севооборота при внесении сравнительно невысоких доз удобрений складывается отрицательный баланс калия. Несмотря на это, наблюдается увеличение содержания доступных растениям форм калия в почве (обменного и легкогидролизуемого) при сохранении уровня необменной формы на удобренных вариантах. Под влиянием растений и удобрений происходят мобилизация всех резервных форм калия и переход их в обменное состояние.

При длительном же применении азотно-фосфорных удобрений в севообороте на серых лесных почвах действие калия во времени от ротации к ротации заметно возрастает (рис. 5.4).

Чернозёмные почвы лесостепной и степной зон содержат значительное количество доступного растениям калия. Почвообразующие породы и глинистые минералы в черноземах исключительно богаты

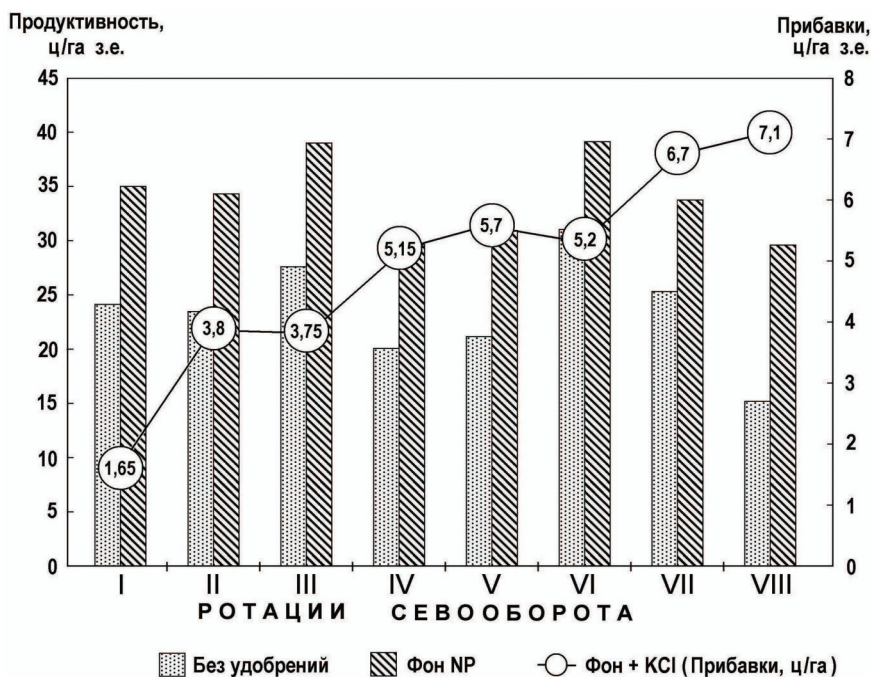


Рис. 5.4. Влияние калийных удобрений на продуктивность севооборота, з.е. ц/га (1967 - 2000 гг.)

также необменным калием, активно переходящим в подвижные формы, поэтому эффективность калийных удобрений на этих почвах незначительна. Даже культуры, требующие для своего развития значительных количеств калия (пропашные и технические), слабо реагируют на внесение калийных удобрений. Особенно это наблюдается на почвах тяжелого гранулометрического состава.

Однако со временем эффективность калийных удобрений возрастает, особенно четко это проявляется при выращивании сахарной свеклы и других калиелюбивых культур, а также при внесении калия на фоне азотных и фосфорных удобрений. Объясняется это явление истощением неудобренных калием почв в результате выноса его урожаями возделываемых культур.

Систематическое внесение удобрений не приводит к существенно увеличению содержания подвижных форм калия в чернозёмах даже при положительном балансе. Связано это с высокой насыщенностью поглощающего комплекса черноземов двухвалентными основаниями, препятствующими поглощению калия. Исключительно благоприятные условия для фиксации калия в черноземах (минералогический состав илистой фракции – гидрослюды и высоко-дисперсные минералы монтмориллонитовой группы, характеризующиеся существенной способностью фиксировать одновалентные катионы, высокая насыщенность ППК основаниями, повышенное рН, значительное количество органического вещества, практическое отсутствие основного конкурента калия – поглощенного аммония, необратимая коагуляция коллоидов при периодическом пересыхании верхнего слоя) способствуют необменному поглощению калия в пахотном и подпахотном горизонтах. При отрицательном балансе на удобренных вариантах увеличение содержания необменного калия связано с мобилизацией менее подвижных форм калия под влиянием удобрений и растений, а также высвобождением калия вторичных минералов – гидрослюд.

Заметное положительное действие калий оказывает при неблагоприятных погодных условиях. При обилии осадков калий уменьшает полегание зерновых культур, а в засушливые годы помогает в борьбе с запалами, вызываемыми суховеями. Правильное применение калийных удобрений на черноземах (на фоне азотно-фосфорных удобрений во влажные и засушливые годы) заметно повышает урожай основных культур, особенно требовательных к нему.

Содержание подвижного калия в каштановых почвах сухой степи и сероземах Средней Азии исключительно высоко. Количество его нередко достигает 40 - 60 мг $K_2O/100$ г почвы. Запасы резервного калия в этих почвах огромны, так как он входит в состав гидрослюды и лег-

ко высвобождается. Эффект от калийных удобрений незначителен. Однако на старопахотных, давно освоенных орошаемых сероземах при систематическом применении азотных и фосфорных удобрений содержание подвижных форм калия невелико и отзывчивость культур, особенно хлопчатника, на калийные удобрения возрастает: качество хлопка-сырца улучшается.

Процесс калийного истощения почв сухостепной и пустынной зон в связи с большими запасами необменного калия и минералогическим составом почв и почвообразующих пород происходит медленно. Определенное значение имеет периодическое пополнение запасов калия за счет привнесения его с поливными водами и наносами при орошении. Снижение содержания калия в почве при ее длительном использовании и систематическом применении азота и фосфора сопровождается появлением признаков калийного голодания растений и повышением эффективности калийных удобрений.

Таким образом, на дерново-подзолистых почвах, недостаточно обеспеченных калием, калийные удобрения всегда оказывают положительное действие, а также на торфяных и легких песчаных почвах. Повышение эффективности калийных удобрений наблюдается при известковании кислых почв, внесении азотно-фосфорных удобрений и введении в севооборот трав и технических культур, потребляющих много калия.

Эффективность калийных удобрений на черноземах, каштановых почвах и сероземах, характеризующихся высоким содержанием подвижного калия, низка и неустойчива. Однако при длительном использовании этих почв и применении азотных и фосфорных удобрений запасы почвенного калия истощаются, появляется потребность в калийных удобрениях. Основные пути повышения эффективности калийных удобрений следующие.

1. Правильное их применение с учетом природно-экономических условий районов и обеспечения почвы подвижными формами калия.

2. Повышение уровня культуры земледелия, окультуренности почв, оптимальное насыщение почвы севооборотов другими видами удобрений, т.е. сбалансированное питание сельскохозяйственных культур калием в сочетании с другими питательными элементами.

3. Известкование кислых почв.

4. Внесение калия в севообороте прежде всего под культуры с высокой отзывчивостью на калий и окупаемостью калийных удобрений урожаем (картофель, сахарная свекла, овощи, кормовые корнеплоды, травы и др.).

5. Подбор форм калийных удобрений с учетом биологических требований сельскохозяйственных культур. Так, сернокислый и хлористый калий в равной степени влияют на повышение урожая большинства сельскохозяйственных культур – зерновых, льна, конопли, хлопчатника, чайного куста, овощей, трав, ранних, средне-ранних и средне-спелых сортов картофеля. Бесхлорные формы калия способствуют повышению урожайности гречихи, проса и некоторых сортов табака, увеличению содержания сахара в ягодах отдельных сортов винограда, содержанию крахмала в клубнях поздних сортов картофеля и улучшению качества льноволокна.

6. Правильный подбор сроков и способов внесения удобрений. В большинстве зон страны эффективность калийных удобрений возрастает при внесении их осенью под зяблевую вспашку (кроме песчаных почв и заливаемых пойм). Этим достигаются равномерное распределение калия в пахотном слое почвы и вымывание хлора в нижележащие горизонты в осенне-зимний и весенний периоды.

7. Оптимизация доз калийных удобрений с учетом складывающихся и прогнозируемых метеорологических условий. Например, внесение 80 кг/га K_2O на фоне $N_{60}P_{60}$ повышало урожай озимой пшеницы по сравнению с фоном при средней температуре за май - июль $16,5^{\circ}C$ на 2,4 ц/га, при $15,2^{\circ}C$ – на 6,6, а при $13^{\circ}C$ – на 11,9 ц/га. Это объясняется особенным затруднением поступления калия в растения при низкой температуре. Калийные удобрения в большинстве случаев улучшают физические свойства зерна, особенно если избыточное количество осадков выпадает в июле, в период его налива и созревания (больше 80 мм). Например, в Нечерноземной зоне при недостатке калия в этот период формируется мелкое и шуплое зерно.

8. Полное обеспечение оптимальными дозами калия в сочетании с другими питательными элементами торфяных, как вновь осваиваемых, так и старопашотных, торфяно-болотных почв, которые очень бедны этим элементом (0,02 - 0,3 валового содержания). В этих почвах калий весьма подвижен, не накапливается в пахотном слое и практически полностью используется растениями в первый год внесения. Действие удобрений возрастает при двойном регулировании (орошении и осушении) этих почв. Особенно эффективно применение удобрений на этих почвах под овощи и кормовые корнеплоды, которые, высоко окупают внесение калия прибавками урожая.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

Принципы оптимизации питания растений калием и применения калийных удобрений очень сходны с оптимизацией фосфорного удобрения. Выделено несколько групп почв по обеспеченности обменным калием, определенным принятым для конкретной почвы методом (см. табл. 3.16).

Обобщение результатов длительных стационарных опытов Географической сети показало, что содержание 10 - 15 мг $K_2O/100$ г почвы и внесение 60 - 90 кг $K_2O/га$ обеспечивает на дерново-подзолистых, серых лесных почвах и выщелоченных черноземах продуктивность севооборота в 30 - 50 ц/га зерновых единиц. Однако значительные запасы калия в почвах и динамическое равновесие между различными его формами (водорастворимая, обменная, необменная) делают показатель обменного содержания калия, характеризующего способность почвы обеспечивать калийное питание растений, менее надежным, чем подвижного фосфора. В процесс питания растений вовлекаются все формы почвенного калия. Поэтому при характеристике плодородия почв в отношении калия нужно учитывать не только легкоподвижные формы (калий почвенного раствора и обменный), но и необменный калий первичных и глинистых минералов, который является резервом пополнения запасов обменного калия в почве, а также степень подвижности обменного калия, способность и скорость восстановления обменного калия из резервных форм.

Тип глинистых минералов, генетические особенности почв и их гранулометрический состав имеют большое значение в обеспеченности почв необменным калием. Наибольшее его количество связано слюдястыми минералами (гидрослюдами, иллитом, вермикулитом), меньшее – монтмориллонитом, наименьшее – каолинитом.

По степени обеспеченности необменным калием почвы делятся на несколько групп (мг $K_2O/100$ г почвы):

низкая	10 - 20,
средняя	20 - 50,
повышенная	50 - 100,
высокая	100 - 150.

В почве содержание калия, доступного для питания растений, обычно находится в некотором равновесии с общими его запасами. Но, несмотря на способность почвы восстанавливать это равновесие, сельскохозяйственные культуры не всегда им обеспечены и возникает необходимость в калийных удобрениях. При длительном применении удобрений наряду с увеличением количества обменного калия

в почве изменяются и другие показатели: возрастают подвижность обменного калия (концентрация калия в слабосолевой CaCl_2 вытяжке, насыщенность поглощенного комплекса калием) и доля обменного калия в легкогидролизуемой и необменной фракциях. С увеличением этих показателей в пределах каждой разновидности почв, т.е. в каждом опыте, происходит снижение эффективности «свежевношенного» калия и возрастает последствие «остаточного», накопленного в процессе применения удобрений. Однако на основании этих данных затруднительно установить общие для всех почв критерии обеспеченности калием.

Существуют и другие методические подходы определения степени обеспеченности почв подвижным калием. Например, можно устанавливать этот показатель по насыщенности поглощающего комплекса обменным калием (за активный уровень принимается от 1,8 до 3,0%). Однако величина насыщенности почвенного поглощающего комплекса обменным калием, как и другие показатели обеспеченности почв калием, соответствующие недостатку, избытку и оптимальному содержанию калия в почве, должны устанавливаться для каждой разновидности почв в зависимости от минералогического состава илистой фракции почвы и подстилающей почвообразующей породы, биологических особенностей растений, условий азотно-фосфорного питания и влагообеспеченности растений и др. В каждом же конкретном случае чем меньше насыщенность поглощающего комплекса калием, тем выше эффект от вносимых удобрений.

Оптимальные уровни калия в почве установлены, хотя и требуют уточнения и дифференциации, а также дальнейшего совершенствования и конкретизации, так как зависят от ряда причин и условий.

1. Калий в почве находится в различных взаимосвязанных формах. При внесении калийных удобрений пополняются его запасы. Однако вследствие различий в составе глинистых минералов в почвах дерново-подзолистого типа больше возрастает содержание обменной формы калия, а на черноземах – необменной. Во всех случаях при использовании растениями доступных форм калия в почве они пополняются за счет необменных форм. Поэтому при определении потенциальных запасов доступного растениям калия это необходимо учитывать.

2. Калий – элемент менее подвижный, чем азот, но в значительно большей степени мигрирует по профилю почвы, чем фосфор. Поэтому при попытке создания оптимального калийного уровня периодическим внесением высоких доз калийных удобрений на тяжелых глинистых почвах калий фиксируется минералами, переходя в менее

доступную для растений форму, а на легких песчаных и супесчаных почвах в значительном количестве мигрирует по профилю почвы, часто за пределы корнеобитаемых горизонтов, достигая грунтовых вод.

3. Внесение повышенных доз минеральных удобрений и химических мелиорантов изменяет степень доступности калия растениям, что необходимо учитывать в практике химизации земледелия. Например, при известковании кислых почв, даже при высоком содержании калия доступность его растениям вследствие антагонизма кальция и калия резко снижается, т.е. уровень содержания доступного калия в этом случае должен быть более высоким. Поэтому при известковании кислых почв оптимальные дозы калийных удобрений увеличивают в 1,5-2 раза. Антагонизм и синергизм существуют между калием и другими катионами и анионами. Для оптимизации калийного питания растений эти явления необходимо учитывать, а также углублять и расширять их исследования.

4. Культурные растения по-разному отзываются на калийное питание. Выделена группа калиелюбивых культур (сахарная свекла, картофель, кукуруза, подсолнечник, многие овощи), которые выносят с урожаем много калия и при недостатке его в почве хорошо отзываются на внесение калийных удобрений. Для них оптимальный уровень содержания обменного калия в почве должен быть более высоким по сравнению с зерновыми колосовыми, зернобобовыми, однолетними и многолетними травами. Поэтому в севообороте требуется дифференцированный подход к оптимизации калийного питания сельскохозяйственных культур.

5. Отечественная химическая промышленность выпускает в основном хлорсодержащие калийные удобрения, и лишь незначительная их часть – бесхлорные. Хлорофобные сельскохозяйственные культуры (картофель, табак, виноград и др.) отрицательно реагируют на избыток хлора в почве, что приводит к снижению урожая и качества продукции. Устранения этого негативного явления в практике химизации земледелия можно добиться регулированием доз, сроков и способов внесения калийных удобрений. Например, заблаговременное внесение хлорсодержащих калийных удобрений с осени под зяблевую вспашку приводит к миграции хлора в более глубокие слои почвенного профиля, а калий, вследствие положительной адсорбции, удерживается в пахотном слое почвы. Этим снимается отрицательное действие калия на урожай и качество продукции чувствительных к хлору культур.

Оптимальные дозы калийных удобрений в севооборотах определяются местом, периодичностью и последовательностью внесения извести и навоза. При известковании дерново-подзолистых почв и соответствующем увеличении урожая, а следовательно, и выносе питательных веществ потребность в калийных удобрениях возрастает особенно сильно. Если повышенный вынос калия сельскохозяйственными культурами не будет компенсирован удобрениями, то запасы потенциально доступных форм калия могут снизиться и баланс калия станет отрицательным. При известковании эти процессы усугубляются еще и потому, что ионы калия и кальция в почвенном поглощающем комплексе являются конкурирующими, а подвижность калия снижается.

Анализ результатов длительных полевых опытов на дерново-подзолистых почвах с первоначальным рН 4,2, когда внесение калийных удобрений изучали параллельно на фоне извести и без нее, показал, что уже после первой ротации (6-8 лет) количество обменного калия в известкованных почвах (рН 5,0-5,6) по сравнению с неизвесткованными (рН 4,0-4,3) уменьшилось в 2 раза и связано с возрастающей в результате известкования фиксацией калия. При внесении 35-50 кг K_2O /га это соотношение сохранилось, хотя количество обменного калия на обоих фонах возросло примерно на 10%. При увеличении дозы калия до 70-100 кг/га разница между сравниваемыми фонами составляла еще 20% и исчезла лишь при дозах выше 100 кг K_2O /га. Этим объясняется тот факт, что на известкованном фоне в рассматриваемых опытах были эффективны более высокие дозы калийных удобрений, так как один и тот же уровень содержания обменного калия в почве (11 мг K_2O /100 г) был достигнут без известкования при внесении дозы, не превышающей 60 кг K_2O /га, а при известковании – при внесении более 100 кг/га калия.

Таким образом, эффективность калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах со средним и низким содержанием обменного калия тесно связана с кислотностью почвы: чем она меньше, тем выше эффект от применения K_2O вообще и повышенных доз в частности. На кислых дерново-подзолистых почвах увеличение доз калия свыше 60 кг/га в среднем по севообороту не приводит к заметному росту его продуктивности при резком снижении окупаемости. На известкованных почвах при внесении азота и фосфора в дозах 100-120 кг/га эффективность калийных удобрений значительна, не снижается с ростом доз калия до 140 кг/га и составляет в среднем 20-25%. Окупаемость повышенных доз калия не менее 5 зерн. ед./кг. Внесение органического удобрения без известкования снижает эффективность калийных удобрений тем сильнее, чем выше применяемые дозы навоза.

На чернозёмах, особенно в степных районах, действие калийных удобрений слабее, что объясняется высоким содержанием в них подвижных форм калия. Однако с систематическим применением высоких доз азотно-фосфорных удобрений возрастает и роль калия. Поэтому при определении эффективности калийных удобрений необходимо учитывать интенсивность севооборота, насыщенность его культурами с повышенной потребностью в калии и оптимизацию питания растений всеми макро- и микроэлементами. В каждом случае нужно дифференцированно подходить к определению необходимости и доз внесения калийных удобрений, стремясь удовлетворить оптимальную потребность растения в калии, для реализации их потенциальной продуктивности. Существуют особенности применения калийных удобрений по культурам.

Так, для сахарной свёклы калий необходим во все периоды ее роста и развития, но недостаток этого вещества особенно нежелателен во вторую половину вегетации, когда происходит интенсивное накопление сахара. Недостаток калия в это время задерживает синтез белка и способствует накоплению «вредного» азота. Калийное голодание (как и избыток азота) усиливает «цветуху», что резко снижает урожай, сахаристость и другие качественные показатели корнеплода. Под сахарную свёклу лучшим сроком внесения калийного удобрения следует считать основное под зябь. Наряду с этим применяется также внесение калийных удобрений в рядки и в подкормку.

Картофель является типичным «калийным» растением. В момент уборки в клубнях сосредоточено до 96% калия, содержащегося в урожае картофеля. Он крайне чувствителен к хлору: при избытке его снижается крахмалистость клубней. Для картофеля наилучшим калийным удобрением является сульфат калия. Хлорсодержащие удобрения могут вызвать физиологические заболевания картофеля, внешним признаком которых является почернение стебля и листьев, что отрицательно сказывается на продуктивности растения. При осеннем внесении калийных удобрений, вследствие вымывания из почвы хлора, опасность этих заболеваний устраняется. Весьма перспективным удобрением для картофеля является калимаг и калимагнезия, особенно на легких почвах. Калийные удобрения дают дополнительное увеличение урожая при внесении их по унавоженному фону. На черноземе при навозном удобрении необходимость внесения калийных удобрений резко снижается. Дозы удобрений под картофель рекомендуются с учетом планируемых урожаев, причем на унавоженном фоне дозы ниже, без навоза – выше.

Достаточная обеспеченность зерновых калием повышает прочность соломы, уменьшая полегание хлебов. Калий в сочетании с фосфором в заметной степени повышает зимостойкость озимых культур. Формы калийных удобрений для зерновых культур равноценны. Из зернобобовых к хлору чувствителен люпин.

Лен-долгунец отзывчив на внесение калия. Калий повышает качество волокна: увеличивает длину и число элементарных волокон, повышается гибкость и крепость волокна.

Внесение калийных удобрений под плодовые деревья эффективно на всех почвах, особенно на почвах легкого гранулометрического состава: повышается процент цветущих веток у яблони, увеличивается товарная часть урожая плодов, удлиняется период сохранности их.

КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ, СОСТАВ, СВОЙСТВА

Комплексные удобрения содержат два и более основных питательных для растений элементов (азот, фосфор, калий). В их состав могут входить также магний, сера и микроэлементы. В зависимости от способа приготовления комплексные удобрения можно разделить на три основных вида.

1. Сложные удобрения производят в едином технологическом цикле в результате химического взаимодействия исходных компонентов. В каждой молекуле или грануле этого вида удобрения содержатся два и более питательных элементов.

2. Сложносмешанные удобрения получают «мокрым способом» – смешиванием порошкообразных односторонних удобрений с последующим или одновременным введением в смесь аммиакаатов, различных кислот и других азот- и фосфорсодержащих продуктов, а также аммиака, пара и воды.

3. Смешанные удобрения производят путем механического смешивания двух и более простых удобрений в гранулированном (гранулированные тукосмеси) или порошкообразном (порошкообразные тукосмеси) виде.

Кроме этого, промышленность выпускает жидкие (ЖКУ) и суспензированные (СЖКУ) комплексные удобрения, производство которых основано на взаимодействии разных жидких, газообразных и твердых продуктов и различных суспензирующих добавок.

Классификация комплексных удобрений схематично представлена на рис. 5.5.



Рис. 5.5. Классификация комплексных удобрений

СЛОЖНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Сложные удобрения имеют следующие преимущества.

1. Высокая концентрация питательных элементов, отсутствие или небольшое содержание балластных компонентов (Na, Cl и др.).
2. Меньшие расходы на хранение, перевозку и внесение удобрений. Часто эти расходы превышают затраты на приготовление удобрений. По расчетам, затраты на доставку, хранение и внесение в почву сложных удобрений по сравнению с простыми примерно на 10% меньше.
3. Наличие в одной грануле твердых комплексных удобрений нескольких питательных элементов приводит к более равномерному их распределению по поверхности почвы.
4. Отсутствие добавочных компонентов (Cl, Na и др.) позволяет применять эти удобрения в тех условиях, в которых нежелательна повышенная концентрация солей в засушливых условиях или при удобрении культур, чувствительных к повышению осмотического давления почвенного раствора (лен, огурцы).
5. Высокая эффективность удобрений при наличии в общих очагах азотных удобрений, фосфатов и калия.

Производство сложных удобрений в нашей стране организовано в 60-х гг. прошлого столетия. Удельный вес их в общих поставках земледелию страны уже в 1980 г. составил 20,2%.

В ассортименте сложных удобрений нашей страны преобладает *аммофос*. Из трехкомпонентных удобрений с выровненным соотношением питательных веществ (1:1:1) преимущественно применяются *нитрофоска* и *нитроаммофоска*, а из двухкомпонентных – *нитрофос* и *нитроаммофос*. Позже в ассортименте появились *азофоска*, *диаммоний фосфат*, *ЖКУ*, *диаммофоска*, *аммофосфат*, *кристаллин* и др. В различных зонах изучалась эффективность *карбоаммофоски* и *карбоаммофоса*.

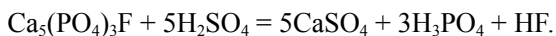
В перспективе расширится ассортимент высококонцентрированных твердых и жидких комплексных удобрений на основе использования полифосфорных кислот. Наиболее распространены ЖКУ марки 10:34:0 и такие формы, как полифосфат кальция, полифосфат аммония и др. С расширением применения высококонцентрированных удобрений повысится роль сложных удобрений с добавлением микроэлементов, магния и др.

Важнейший показатель качества сложных удобрений – растворимость питательных компонентов, входящих в их состав, в воде и других растворах.

Технологические способы получения сложных удобрений условно можно разделить на две основные группы: 1) на основе азотно-кислотного разложения фосфатного сырья (нитрофосы, нитрофоски); 2) получение их с использованием фосфорных кислот (нитроаммофосы, нитроаммофоски, диаммонитрофоски, диаммофосы, карбоаммофосы, карбоаммофоски, аммофосы). Получение сложных удобрений изначально базировалось на основе азотнокислотного разложения фосфатного сырья. Сейчас широко используются технологические схемы с использованием фосфорной кислоты. В качестве азотного компонента применяют аммиачную селитру (нитрат аммония), мочевину (карбамид), сернокислый аммоний (сульфат аммония) в твердом и в жидком виде.

Из фосфорсодержащих компонентов используется в основном фосфорная кислота, получаемая из апатитов и фосфоритов, а также другие фосфорсодержащие продукты. Для производства сложных удобрений используется высококачественное фосфорное сырье с повышенным содержанием фосфора, низким содержанием примесей, особенно полуторных окислов. В фосфорных рудах обычно содержится значительное количество примесей, поэтому практически все они подлежат обогащению. Фосфориты, в которых отношение $Fe_2O_3 : P_2O_5$ превышает 8 - 10, не используются для производства водорастворимых фосфорных и сложных удобрений.

Фосфорную кислоту получают экстракционным и термическим методами. Экстракционную фосфорную кислоту получают при обработке фосфорного сырья серной кислотой при повышенной температуре:



Фосфориты, в которых содержится много окислов алюминия и особенно железа, малопригодны для сернокислотной переработки в целях производства фосфорной кислоты. Это связано с образованием малорастворимых фосфатов железа, в результате чего часть фосфорной кислоты теряется. В практике обычно для получения экстракционной фосфорной кислоты применяют фосфатное сырье с содержанием Fe_2O_3 не больше 8% от массы P_2O_5 . Полученную экстракционную фосфорную кислоту (с содержанием P_2O_5 28 - 32%) для производства сложных удобрений обычно упаривают, чтобы повысить концентрацию P_2O_5 до 52%.

Термическая фосфорная кислота образуется при взаимодействии паров фосфорного ангидрида и воды в специальных башнях. Фосфорный же ангидрид получают при окислении элементарного фосфора кислородом воздуха. Преимущество этого способа заключается в том, что фосфорную кислоту получают практически без примесей (до 100% P_2O_5) и можно использовать любое фосфатное сырье. Недостаток – высокая стоимость производства, поэтому термическая фосфорная кислота применяется в небольших масштабах.

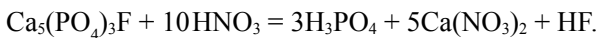
Для производства сложных удобрений используют также полифосфорную кислоту (или суперфосфорную) кислоту, содержащую 75 - 77% P_2O_5 . Более половины фосфора в этой кислоте находится в полифосфорной форме (42% в пиррофосфорной форме $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$, 8% в триполифосфорной $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, 1% в тетраполифосфорной $\text{H}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$), а примерно половина (49% P_2O_5) – в ортофосфорной форме.

Из калийсодержащих компонентов при получении сложных удобрений применяют главным образом хлористый калий.

СЛОЖНЫЕ УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЗОТНО-КИСЛОТНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ

Впервые идея о целесообразном разложении фосфатного сырья азотной кислотой была высказана Д.Н. Прянишниковым в 1908 г. Однако реализация этой идеи стала возможной значительно позже, когда резко возросло производство азотной кислоты из синтетического аммиака.

Процесс разложения природного фосфатного сырья азотной кислотой происходит по реакции



Выделяющийся фтористый водород взаимодействует с двуокисью кремния с образованием фтористого кремния, последний с фтористым водородом образует кремнефтористую кислоту. В результате разложения фосфатного сырья азотной кислотой в вытяжке содержится большое количество нитрата кальция. Последний является крайне нежелательной примесью в готовом удобрении, так как очень гигроскопичен и ухудшает физические свойства получаемого сложного удобрения.

Кроме этого, высокое содержание кальция в фосфорной кислоте приводит к переходу фосфора в труднодоступную для растений форму. Поэтому для получения сложных удобрений на основе азотнокислотного разложения фосфатного сырья важно вывести из системы избыток кальция, т.е. снизить отношение $\text{CaO} : \text{P}_2\text{O}_5$. В этой технологии производства сложных удобрений используется тонко измельченный апатитовый концентрат и 47-55%-я азотная кислота. Схемы образования сложных удобрений различаются по способу выделения из раствора избыточного кальция (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Схемы образования сложных удобрений, различающиеся по способу выделения из раствора избыточного кальция

1. Производство нитрофоски по схеме с вымораживанием избытка нитрата кальция

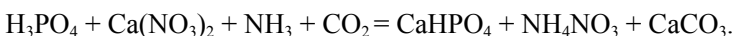
При частичном вымораживании кальциевой селитры и выделении ее из раствора с последующей обработкой его аммиаком при одновременной упарке образуется смесь, содержащая фосфаты аммония, дикальцийфосфат и аммиачную селитру:



Добавление к такой смеси хлористого или сернокислого калия приводит к получению нитрофоски, состоящей из трех основных питательных элементов: азота, фосфора и калия. Конечной продукцией производства являются нитрофоска и кальциевая селитра.

Эта нитрофоска может содержать 40 - 50% питательных веществ. Схема дает возможность изменять соотношение питательных веществ в любых комбинациях и позволяет получать гранулированное удобрение, в котором до 60% общего количества P_2O_5 растворимо в воде. Для получения нитрофоски, содержащей 50 - 60% водорастворимого фосфора, по этому методу из раствора необходимо вывести 70% CaO в виде $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Это удобрение высокоэффективно во всех районах, где растения испытывают недостаток в азоте, фосфоре и калии.

2. Производство нитрофоски связыванием избытка кальция углекислотой (карбонатная схема)



При обработке нитрата кальция и фосфорной кислоты аммиаком и углекислотой получается смесь, в состав которой входят дикальцийфосфат, аммиачная селитра и углекислый кальций. После смешивания с хлористым калием смесь без выделения солей кальция гранулируют, сушат, разделяют на фракции и дробят. Карбонатная нитрофоска содержит 35 - 37% питательных веществ. Эта схема наиболее экономична по производству. Однако с агрохимической точки зрения выпускать карбонатную нитрофоску в гранулированном виде нецелесообразно, так как фосфор в ней находится в цитратно-растворимой форме. Если карбонатную нитрофоску выпускать в порошке, то она может быть использована для основного внесения.

3. Производство нитрофоски и нитрофосов связыванием избытка кальция сульфатом аммония (сульфатная схема)

По этой схеме нитрат кальция и фосфорную кислоту обрабатывают раствором сульфата аммония. В зависимости от нормы сульфата аммония может быть получен продукт с различным содержанием водорастворимой P_2O_5 . Чтобы иметь тройное удобрение, в смесь добавляют калийсодержащий компонент.

Если вместо сульфата аммония используется сульфат калия, то последний растворяют в азотной кислоте и полученным раствором обрабатывают фосфатное сырье. Суспензия нейтрализуется аммиаком, продукт гранулируется и сушится. В настоящее время нитрофоска с 33-36%-м содержанием питательных веществ производится главным образом этим способом.

4. Производство нитрофоски связыванием избытка кальция серной кислотой (сернокислотная схема)

При связывании избытка кальция серной кислотой в процессе азотно-кислотного разложения фосфатов с последующей обработкой раствора аммиаком образуется смесь, которая после добавления хлористого калия перерабатывается в готовый продукт – нитрофоску, содержащую 35% питательных веществ. Избыток кальция, связанный серной кислотой, находится в удобрении в виде балластной примеси сульфата калия.

Способ дает возможность изменять соотношение питательных веществ в довольно широких пределах и позволяет выпускать продукт, в котором до 50-60% P_2O_5 находится в водорастворимой форме. Существенный недостаток метода – расход дефицитной серной кислоты, превращаемой после связывания с кальцием в балласт.

5. Производство нитрофоски связыванием избытка кальция фосфорной кислотой (фосфатная схема)

Фосфатное сырье разлагают смесью азотной и фосфорной кислот в соотношении, определяемом заданным отношением $N : P_2O_5$ в готовом продукте и содержанием водорастворимого фосфора. Полученный раствор после разложения состоит в основном из $Ca(NO_3)_2$ и свободных фосфорной и азотной кислот. Его подвергают аммонизации, при которой почти все количество CaO раствора переходит в дикальцийфосфат ($CaHPO_4$). Далее добавляют хлористый кальций, гранулируют и сушат.

Главное достоинство этой нитрофоски – высокое содержание питательных веществ и водорастворимой фосфорной кислоты. Содержание каждого из элементов (N , P_2O_5 и K_2O) достигает 17%, доля растворимой P_2O_5 – 80%.

Особенностью нитрофосок и нитрофосов является наличие водорастворимого фосфора (не более 50-60% от усвояемого). Это не снижает их агрономической эффективности по сравнению с эквивалентным набором полностью водорастворимых удобрений. Сейчас нитрофоски широко используются как основное удобрение под многие сельскохозяйственные культуры, а также при локальном внесении,

особенно под картофель. Нитрофосы используют как основное удобрение под зерновые и кормовые культуры, а также на лугах и пастбищах, хорошо обеспеченных калием.

Технология производства нитрофосок (нитрофосфатов), основанная на разложении фосфатного сырья азотной кислотой или ее смесью с другими кислотами, широко используется в зарубежных странах, где существует недостаток серосодержащего сырья. Основными производителями таких удобрений являются Германия, Австрия и Франция. В Германии выпускают нитрофоски без хлоридов, некоторые из них содержат магний. Во Франции производят большой ассортимент нитрофосок, предназначенных под различные культуры. Под виноград и плодовые культуры выпускают бесхлорную нитрофоску.

В последние годы разработаны способы получения нитрофосок с 80-95% P_2O_5 в водорастворимой форме, среди которых наиболее распространен норвежский способ, при котором фосфорит обрабатывают избыточным количеством азотной кислоты с последующей кристаллизацией нитрата кальция при температуре $-50^{\circ}C$. Этим способом или его вариантом производят нитрофосфаты в России, Англии, Германии, Франции и Нидерландах. Например, во Франции разработана технология получения 54 видов нитрофосок с соотношением в них азота от 8 до 20%, P_2O_5 – от 7 до 35% и K_2O – до 29%.

СЛОЖНЫЕ УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФОСФОРНОЙ И АЗОТНОЙ КИСЛОТ И АММИАКА

1. Сложные удобрения, получаемые путем нейтрализации фосфорной и азотной кислот аммиаком

Сырьем для получения этих удобрений служат экстракционная или термическая фосфорная кислота, слабая азотная кислота и соли калия. Особенности технологических схем заключаются в методах нейтрализации фосфорной и азотной кислот. По этой технологии получают нитроаммофосы, нитроаммофоски и диаммонитрофоски. Эти соединения хорошо растворимы в воде. Суммарное содержание питательных веществ в нитроаммофоске около 50%, а в нитроаммофосе 46%, в том числе в водорастворимой форме – более 90%.

Нитроаммофоска марки 17:17:17 получается в результате введения хлористого калия как калийного компонента. При введении сернокислого калия получается марка 16:16:16. Эти удобрения универсальны и используются на всех типах почв в качестве основного, а под сахарную свёклу и картофель также и при посеве.

2. Сложные удобрения, получаемые путем нейтрализации фосфорных кислот аммиаком (фосфаты аммония)

1. $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NH}_3 = \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ – моноаммонийфосфат (**аммофос**).

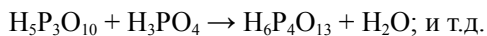
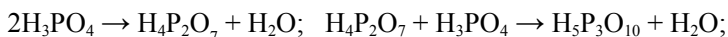
2. $\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{NH}_3 = (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ – диаммонийфосфат (**диаммофос**). Аммофос содержит 10 - 12% N и 46 - 50% P_2O_5 ; диаммофос, производимый из апатитов, – 18% N и 50% P_2O_5 , а из фосфоритов Каратау – 16 - 17% N и 41 - 42% P_2O_5 . Аммофос обладает хорошими физико-химическими и механическими свойствами, не нуждается в применении кондиционирующих добавок при гранулировании. Аммофос и диаммофос – физиологически кислые удобрения, поэтому при внесении они несколько подкисляют почву.

Аммофос преимущественно применяется в качестве рядкового удобрения под различные сельскохозяйственные культуры, можно использовать и как основное удобрение, например под хлопчатник и другие культуры. Это хороший компонент для приготовления туко-смесей, так как характеризуется хорошей совместимостью со всеми стандартными удобрениями. Недостатком его является неуравновешенное содержание в нем азота и фосфора (1:4), что ограничивает его самостоятельное использование.

У диаммофоса лучшее соотношение азота и фосфора (1:2,5), но худшие физические свойства. Его также можно широко использовать для внесения в рядки и в подкормку под технические и овощные культуры. Однако из-за высокой стоимости применение его в качестве удобрения ограничено; используется в животноводстве в качестве кормовой добавки.

При добавлении к аммофосу и диаммофосу хлористого калия производят тройные удобрения. Они преимущественно распространены в США, Англии, Японии и Индии, что связано с широкими возможностями использования больших запасов серы и крупным производством серной кислоты, что обеспечивает получение фосфорной кислоты и сложных удобрений на ее основе. США по производству и применению моно- и диаммонийфосфатов занимают ведущее место в мире. Эти удобрения, обладая рядом положительных качеств (хорошие физические свойства, высокая концентрация питательных веществ, хорошая смешиваемость с другими удобрениями), имеют и существенные недостатки – неудовлетворительное соотношение между азотом и фосфором. Поэтому в США значительный объем этих удобрений используют для получения преимущественно смешанных удобрений с более уравновешенным соотношением между азотом и фосфором.

Полифосфаты аммония получают путем аммонизации полифосфорных кислот аммиаком. В принципе, получение полифосфорных кислот требует нагревания и вакуума. Схематически это можно представить следующим образом:

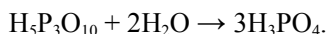


В этих реакциях происходит конденсация (уплотнение) молекул с выделением воды. Поэтому полифосфорные кислоты называют ещё конденсированными. В химической промышленности за ними утвердилось название *суперфосфорной кислоты* (коммерческий термин). Смесь полифосфорных кислот состоит из метафосфорной HPO_3 , пирофосфорной $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$, триполифосфорной $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, тетраполифосфорной $\text{H}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ и др. (общая формула их $\text{H}_{n+2}\text{P}_n\text{O}_{3n+1}$).

Максимальная концентрация P_2O_5 в смеси полифосфорных кислот составляет 83%. При обычном атмосферном давлении и температуре образуется полифосфат аммония с содержанием 13 - 15% NH_3 и 60 - 65% P_2O_5 , полифосфаты аммония хорошо растворимы в воде. Они удерживают в растворе и микроэлементы (цинк, медь, железо), которые дают нерастворяющиеся соли с ортофосфатами. Они хелатируются полифосфорными кислотами, сохраняясь в доступном для растений состоянии. Физические свойства полифосфатов аммония хорошие, гранулы прочные. Они являются хорошим компонентом для туко-смешения. Например, добавив к ним аммиачную селитру и хлорид калия, готовят тройное удобрение с суммарным содержанием 60% д.в. С такой же концентрацией можно выпускать сложное удобрение, смешав полифосфат аммония с мочевиной и хлоридом калия.

В США твердые смеси готовят из полифосфорной кислоты и твердого полифосфата аммония с добавлением калийного компонента, окиси магния, окиси цинка, расплавленной серы. Это позволяет производить удобрения более сложного состава по целевому назначению.

В почве протекают процессы гидролиза полифосфатов, которые тем интенсивнее, чем выше биологическая активность среды. При 7 - 12°C они протекают медленно, с повышением температуры – усиливаются. Оптимальная температура для гидролиза 30 - 35°C. Реакции гидролиза полифосфатов протекают следующим образом:



Растения поглощают фосфор из полифосфатов несколько медленнее, чем из ортофосфатов, в связи с гидролизом последних до ортофосфорной формы. За вегетационный же период некоторое пре-

имущество в поглощении P_2O_5 растениями принадлежит полифосфатам, у которых ретроградация выражена в меньшей степени, чем у ортофосфатов. Полифосфаты аммония могут применяться под все культуры на любых почвах.

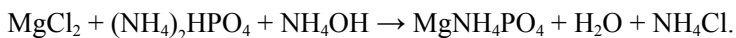
Фосфаты и полифосфаты мочевины. Образуются при взаимодействии фосфорных кислот с мочевиной. Фосфаты мочевины содержат 16-19,6% N и 41-45% P_2O_5 . Кроме этого, полифосфат мочевины – продукт реакции высококонцентрированной термической фосфорной кислоты с мочевиной с последующей аммонизацией продукта. Готовое удобрение состоит из 31-35% N и 24-31% P_2O_5 . Варьируя количеством мочевины и полифосфорной кислоты, можно получить удобрения с заданным соотношением азота и фосфора, а с добавлением в смесь калийных солей – и калия. Фосфаты и полифосфаты мочевины хорошо растворимы в воде, могут применяться под многие сельскохозяйственные культуры. Исключение составляют луга и пастбища, так как при поверхностном внесении происходят потери азота, что снижает эффективность удобрения.

В Японии, США и других странах выпускаются такие удобрения, как мочевина – фосфат аммония, мочевина – двойной суперфосфат с содержанием питательных веществ 52-60%, а также мочевина – полифосфат аммония.

Карбоаммофосы и карбоаммофоски. При взаимодействии полупродуктов синтеза карбамида (аммиака и двуокиси углерода) и фосфорной кислоты получается карбоаммофос с широким соотношением между азотом и фосфором – марок 25:30; 34:17; 33:20 и т.д., а введение в смеси калийсодержащих солей – карбоаммофоска с суммарным содержанием питательных веществ до 60-65% (например, марки 20:20:20). Азот в этих удобрениях представлен в амидной (70-75%) и аммиачной формах, до 90% фосфора – в водорастворимой форме.

В полевых опытах применение этих удобрений одинаково эффективно со смесью простых удобрений. На рис и хлопчатник они влияли лучше, чем смесь простых удобрений на аммиачной селитре. На сенокосах и пастбищах при поверхностном внесении наблюдались потери азота из карбоаммофосов и карбоаммофосок, что снижает их эффективность.

Магний-аммоний-фосфат образуется при взаимодействии раствора моноаммонийфосфата с водной суспензией окиси магния или его солей или фосфорной кислоты, аммиака и гидрата окиси магния или его солей (хлористого, сернокислого или углекислого магния). Например:



Магний-аммоний-фосфат содержит 10,9% N, 45,7% P₂O₅ и 25,9% MgO. Азот в этом удобрении представлен водонерастворимой формой, а фосфор и магний – лимонно-растворимой. Поэтому эти удобрения можно рассматривать как удобрения длительного действия. Их целесообразно использовать на легких песчаных почвах в виде основного удобрения под картофель, корнеплоды и овощные культуры. В связи с наличием в его составе водонерастворимого азота магний-аммоний-фосфат представляет интерес для орошаемого земледелия.

Метафосфат калия (KPO₃) содержит до 60% P₂O₅ и до 40% K₂O. Это предельно концентрированное сложное удобрение. Получен метафосфат калия с содержанием всего фосфора в цитратнорастворимой и водорастворимой формах. Наиболее перспективным является способ его получения путем разложения хлористого или углекислого калия ортофосфорной кислотой при температуре 450°C. При использовании экстракционной фосфорной кислоты получены формы метафосфатов калия, содержащие 54% P₂O₅ (весь фосфор в водорастворимой форме), 35 - 40% K₂O, а также 60% P₂O₅ (весь фосфор в цитратно-растворимой форме) и 40% K₂O.

Калийная селитра (KNO₃) содержит 13% азота и 46% окиси калия. Образование нитрата калия основано на обменном разложении NaNO₃ и KCl:

$$\text{NaNO}_3 + \text{KCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{KNO}_3.$$

В качестве исходного сырья используют упаренные растворы нитрата натрия, которые образуются при щелочной абсорбции отходящих нитрозных газов при производстве разбавленной азотной кислоты, и стандартный хлористый калий. Удобрение негигроскопично, хорошо рассеивается. Применяется под овощные культуры, особенно в закрытом грунте. Ценное удобрение для культур, чувствительных к хлору.

СЛОЖНОСМЕШАННЫЕ УДОБРЕНИЯ

Для получения сложносмешанных удобрений используют готовые порошкообразные удобрения, смесь которых подвергают обработке аммиаком, аммиакатами и кислотами (фосфорной, полифосфорной, азотной и серной). При механическом смешивании этих компонентов происходит их химическое взаимодействие.

Основные технологические операции при получении сложносмешанных удобрений: смешение исходных компонентов, аммонизация смеси, грануляция, сушка и кондиционирование готового продукта. В результате этих операций можно получить самые разнообразные марки удобрений. Так, на основе простого и двойного суперфосфатов, аммиачной селитры, сульфата аммония, аммонизирующего раствора (21,7% NH₃, 65% NH₄NO₃), серной кислоты можно получить удобре-

ния следующих марок: 5:10:20; 5:20:20; 8:16:16; 8:24:0; 8:24:8; 8:24:16; 10:20:0; 10:20:12; 12:12:12; 5:10:10. С использованием раствора, содержащего 26-30% мочевины, 14-24% аммиачной селитры и 25-35% NH_3 , изготавливают удобрения марок 20:10:10; 15:15:15 и др. На основе полифосфорной кислоты с использованием NH_3 , H_2SO_4 , простого и двойного суперфосфатов и KCl получают удобрения марок 6:24:24; 10:45:5; 8:32:16 и другие с содержанием водорастворимого фосфата около 65% от общего.

Примером сложносмешанного удобрения, выпускаемого отечественной химической промышленностью, является растворин, содержащий азот, фосфор, калий, магний, а также микроэлементы (Mn, Zn, Si, Co, I и др.). Удобрение полностью растворяется в воде, успешно применяется в теплицах, а также в открытом грунте. Марки растворина 10:5:20:6; 18:6:18:0; 19:6:6:0; 13:40:13:0; 17:17:6:0; 16:16:16:0; 20:16:20. Аналогичен этому удобрению – кристаллин.

СМЕШАННЫЕ УДОБРЕНИЯ

Эти удобрения представляют собой механическую смесь удобрений, содержащую два и более питательных элементов. Смешивают удобрения в том случае, если необходимо одновременно внести на одно поле несколько видов питательных веществ.

Смеси удобрений разнообразны по составу, и их легко приспособить к требованиям различных сельскохозяйственных культур и почвенно-климатических условий как по концентрации, так и по соотношению питательных веществ. Этим они отличаются от сложных удобрений, имеющих постоянный состав.

Отечественная и зарубежная практика свидетельствует о перспективности создания агрохимических центров в районах и пунктах химизации в хозяйствах. Оснащенные складами и современной техникой для подготовки, смешивания и внесения удобрений и других средств химизации пункты химизации призваны осуществлять комплекс агрохимических работ и квалифицированный контроль над поступлением и эффективным использованием удобрений.

Важным фактором развития производства смесей минеральных удобрений являются их высокое качество, хорошие физико-механические и физико-химические свойства. Для получения однородных по составу смесей и снижения сегрегации (расслоения) при их внесении в почву необходимо, чтобы все гранулированные удобрения имели выровненный и единый для всех форм гранулометрический состав.

В процессе приготовления и хранения компоненты смесей удобрений могут проявлять высокую реакционную способность и

вступать в химическое взаимодействие друг с другом; происходят реакции обменного разложения. Качество получаемых смесей, их химический состав и физические свойства во многом определяются теми химическими процессами, которые имеют место при смешивании удобрений. Поэтому при приготовлении смесей нужно правильно подходить к выбору односторонних удобрений, учитывая их взаимодействие между собой. Можно сформулировать следующие основные правила смешивания удобрений.

1. Нельзя смешивать удобрения, если при этом они теряют питательные вещества или превращаются в плохую по физическим свойствам массу, не поддающуюся механизированному внесению.

2. Ввиду высокой гигроскопичности получающейся смеси не следует смешивать между собой, а также включать одновременно в смесь аммиачную селитру и мочевины.

3. Нельзя смешивать аммиачные формы азотных удобрений (аммиачную селитру, сульфат аммония, фосфаты аммония – аммофос, диаммофос) с удобрениями, обладающими активными щелочными свойствами (фосфатшлаками, термофосфатами, цианамидом кальция, цементной пылью, содержащей калий в карбонатной форме, поташем) во избежание потерь азота в виде аммиака.

4. Содержание влаги в удобрениях не должно превышать предельно допустимую величину. Повышенная влажность удобрений значительно снижает сыпучесть и не обеспечивает равномерного внесения в почву. Предельно допустимое содержание влаги должно быть в аммиачной селитре не более 0,2 - 0,3%, в мочевины – 0,2 - 0,25, в суперфосфатах (простом и двойном) – не более 3,5%. При повышенном содержании влаги в минеральных удобрениях их гранулы теряют прочность. Для аммиачной селитры это состояние наблюдается при влажности 1,7 - 2,0%, мочевины – около 1, хлористого калия – свыше 3%. Содержание влаги в удобрениях резко возрастает с повышением температуры хранения. Например, смесь мочевины с двойным суперфосфатом и хлористым калием при исходной влажности 0,2% через месяц хранения при температуре 4°C содержала 6,6% влаги, при 20°C – 8,3, при 40°C – 24,9%.

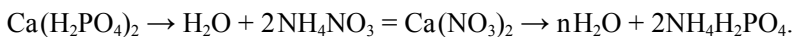
5. Кислотность или щелочность минеральных удобрений, предназначенных для смесей, не должна быть выше показателя, предусмотренного стандартом. Удобрения, содержащие свободную кислоту или обладающие щелочной реакцией, химически активно взаимодействуют как между собой, так и при смешивании с другими удобрениями. Действующими стандартами предусмотрено содержание свободной фосфорной кислоты в простом гранулированном суперфосфате не более 2,5%, в двойном – 5%. Смеси на основе

двойного суперфосфата увлажняются значительно сильнее, чем на основе простого. Отрицательное действие высокой кислотности двойного суперфосфата особенно отчетливо проявляется при хранении смесей в увлажненных условиях. С повышением температуры воздуха окружающей среды влажность смесей возрастает. В связи с этим двойной суперфосфат является нежелательным компонентом смесей, поэтому нецелесообразно их заблаговременное приготовление.

6. При добавлении к смесям нейтрализующих материалов (известняковой, доломитовой муки и др.) отмечаются потери аммиака.

7. Смеси хорошего качества можно приготовить на основе фосфоритной муки. Эффективность смесей, приготовленных на основе суперфосфата и фосфоритной муки в соотношении 1:1 и внесенных в занятый пар или под зябь на кислых дерново-подзолистых почвах и выщелоченных черноземах, не уступает смесям, приготовленным на чистом суперфосфате. Для кислых почв целесообразно готовить смесь калийных удобрений с фосфоритной мукой. Смесь из аммиачной селитры и фосфоритной муки вполне можно готовить и вносить под зяблевую вспашку. Она не слеживается и хранится долгое время. Присутствие NH_4NO_3 и KCl способствует повышению растворимости P_2O_5 фосфоритной муки. При добавлении к фосфоритной муке 10% смеси аммиачной селитры и мочевины благодаря повышенной гигроскопичности последней резко снижается распыляемость фосфоритной муки при сохранении стабильности работы высевающего аппарата разбрасывателя.

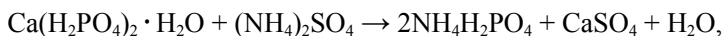
8. Нельзя смешивать суперфосфат, особенно порошковидный, непосредственно с аммиачной селитрой, так как смесь очень быстро превращается в липкую массу из-за образования более гигроскопичной кальциевой селитры. Происходят следующие реакции:



Первая реакция указывает на возможность выделения окислов азота, а вторая – на ухудшение физических свойств смеси в результате образования более гигроскопической кальциевой селитры.

9. Смешивание суперфосфата с мочевиной способствует выделению кристаллизационной воды, которая увеличивает влажность смесей. Так, вследствие взаимодействия компонентов смесей из стандартных форм N_m , $\text{P}_{\text{сд.в.}}$ и K_x выделялось в свободном состоянии от 12,2 до 64,7 г кристаллизационной воды (на 1 кг смеси), а при смешивании подсушенных продуктов количество высвободившейся кристаллизационной воды снизилось до 7,2 - 13,5 г (на 1 кг смеси).

10. Смесь из суперфосфата с сульфатом аммония цементируется в плотную массу, которую перед внесением в почву необходимо измельчать и просеивать. Это создает организационные трудности, требует дополнительных затрат, удорожает работы по внесению удобрений. При смешивании масса сначала разогревается и делается влажной в результате выделения воды:



затем образуется гипс: $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Правила смешивания представлены на схеме (рис. 5.7).

Удобрения	Сульфат аммония, аммофос, диаммофос	Нитрофоски, аммиачная селитра	Натриевая, кальциевая и калийная селитра	Цианамид кальция	Мочевина (карбамид)	Суперфосфат	Фосфоритная и костяная мука	Преципитат	Томасшлак, фосфатшлак	Калийная соль и хлористый калий	Известь, соль	Навоз, помет
Сульфат аммония, аммофос, диаммофос	■	■			■					■		
Нитрофоски, аммиачная селитра	■	■			■					■		
Натриевая, кальциевая и калийная селитра	■	■	■		■					■		
Цианамид кальция			■	■	■					■		
Мочевина (карбамид)	■	■			■					■		■
Суперфосфат	■	■			■	■				■		■
Фосфоритная и костяная мука	■	■			■	■	■			■		■
Преципитат	■	■			■	■	■	■		■		■
Томасшлак, фосфатшлак			■		■			■	■	■		■
Калийная соль и хлористый калий	■	■			■					■		■
Известь, соль			■		■					■	■	■
Навоз, помет					■	■				■		■

□ смешивать нельзя ■ смешивать можно при определенных условиях ■ смешивать можно

Рис. 5.7. Схема смешивания удобрений

Для получения высококачественных смесей целесообразно использовать нейтральные формы фосфорных удобрений (аммофос, аммонизированный суперфосфат). Использование этих компонентов позволяет получать сухие и сыпучие смеси с устойчивыми физическими свойствами. Аммофос же, кроме того, обеспечивает высокую концентрацию питательных веществ в них (свыше 50% NPK вместо 28-31% на суперфосфате). Это дает большую экономию транспортных расходов, расходов на строительство складов, а также удешевляет погрузку, разгрузку и внесение удобрений в почву. Из калийных удобрений основным компонентом для смешивания является хлористый калий – высококонцентрированное калийное удобрение. Однако для некоторых культур (картофель, табак, виноград, цитрусовые и др.) лучше применять бесхлорные формы калийных удобрений (например, сульфат калия).

Качество смесей удобрений в значительной мере определяется соотношением в их составе питательных веществ. Смеси с преобладанием фосфора и калия над азотом, как правило, более сухие и сыпучие, чем смеси аналогичного состава с выравненным соотношением питательных веществ или с преобладанием азота над фосфором и калием.

В связи с ростом производства и применения мочевины в СНГ и в мире обстоятельно изучается возможность использования ее в качестве азотного компонента. Смеси с мочевиной при хранении увлажняются в результате выделения кристаллизационной воды. Устойчивые физические свойства такие смеси сохраняли при введении в их состав щелочной добавки в количестве не менее 15% массы смеси. Мочевина проявляет высокую реакционную способность и быстро вступает в химическое взаимодействие с составными частями смеси. Особенно активна мочевина в смеси с хлористым калием. При его включении в состав смеси влажность ее резко возрастает по сравнению со смесью без калия. Для снижения гигроскопичности смесей на мочеvine не рекомендуется включать в их состав хлориды, так как образующиеся в результате химического взаимодействия продукты, главным образом CaCl_2 и NH_4Cl , отличаются гигроскопичностью, при этом увеличиваются потери азота.

Для приготовления однородных по химическому составу смесей гранулированных удобрений смешиваемые компоненты (мочевина, аммиачная селитра, простой и двойной суперфосфаты, аммофос, хлористый калий и др.) должны быть одинаковыми или близкими по гранулометрическому составу. В смесях более равномерно распределяются гранулы размером 2-3 мм и очень неравномерно – частицы менее 1 или более 3 мм.

Важно, чтобы приготовленные смеси до внесения не расслаивались. В смесях удобрений с размером гранул 1 - 3 мм наименьшее расслоение (сегрегация) бывает при содержании гранул фракции 2 - 3 мм в пределах 50 - 60%.

Технология приготовления смесей в хозяйствах заключается в подготовке удобрений, дозировании по массе или объему, смешивании удобрений, погрузке смесей в транспортные средства. Метод сухого механического смешивания удобрений широко распространен и за рубежом.

Смешанные удобрения по эффективности не уступают сложным. При приготовлении смесей можно оперативно изменять дозирование компонентов в зависимости от культуры, плодородия конкретного поля, формы удобрений и т.д. Поэтому приготовление смесей минеральных удобрений – это резерв повышения их эффективности. Увеличение объемов смешивания предъявляет более жесткие требования к качеству удобрений, особенно их гранулометрическому составу и прочности гранул, наличию типовых складов, комплексу машин для механизации всех технологических процессов.

ЖИДКИЕ КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ (ЖКУ)

Это водные растворы или суспензии, содержащие два или более основных питательных элемента. Они обладают рядом преимуществ.

1. Применение ЖКУ позволяет механизировать трудоемкие процессы погрузки, разгрузки и внесения в почву; при этом полностью исключается ручной труд и существенно снижаются затраты.

2. ЖКУ не имеют в своем составе свободного аммиака, поэтому их транспортирование не обязательно в герметически закрытой таре.

3. ЖКУ можно вносить не только на определенную глубину в почву, но и разбрызгивать по поверхности поля с последующей заделкой любым почвообрабатывающим орудием, а также вносить местно, лентами.

4. При необходимости в ЖКУ можно вводить микроэлементы, некоторые пестициды и стимуляторы роста.

5. ЖКУ просты в обращении, не воспламеняются, не взрывоопасны, не ядовиты.

Отмеченные преимущества ЖКУ делают их весьма перспективными для отечественного земледелия. Быстрое наращивание производства и поставок ЖКУ свидетельствует об их высокой технологической и агроэкономической эффективности.

Принципиальная схема получения ЖКУ заключается в нейтрализации аммиаком фосфорной кислоты (экстракционной или терми-

ческой) до pH около 6,5. Нейтрализующим агентом в зависимости от схемы получения служит водный или безводный аммиак. В качестве источника азота для ЖКУ можно применять нитрат аммония, мочевины или смесь нитрата аммония с мочевиной. При использовании мочевины как азотного компонента получается удобрение более концентрированное, чем нитрат аммония, особенно при наличии в растворе калия, так как в результате реакции образуется нитрат калия – наименее растворимая соль в жидких удобрениях.

При использовании термической ортофосфорной кислоты (ТОФК) получают прозрачные ЖКУ с соотношением питательных веществ 9:9:9, или суммарно 27% N, P₂O₅ и K₂O. Кристаллизация раствора лимитирует повышение содержания питательных веществ в жидком удобрении. Типичный состав марки 9:9:9 выглядит следующим образом: (NH₄)₂HPO₄ – 12-15%, NH₄P₂O₄ – 2-4, (NH₂)₂CO – 12-13, KCl – 13-14%. На долю амидного азота приходится 61-66% общего азота. Эти удобрения можно получать и на экстракционной фосфорной кислоте. Из-за низких концентраций питательных веществ в ЖКУ (не более 27%) по экономическим соображениям они рекомендуются для местного использования. С высоким экономическим эффектом ЖКУ могут использоваться для внесения с оросительной водой, в том числе и в садах, ягодниках, виноградниках и под другие культуры.

При применении полифосфорной кислоты благодаря высокой растворимости полифосфатов аммония можно получать основные (базисные) растворы и уравновешенные удобрения значительно более высокой концентрации, чем на ортофосфате. В ЖКУ на полифосфорной кислоте можно вводить значительное количество микроэлементов, в то время как большинство из них (за исключением бора) в присутствии только ортофосфатов переходят в малорастворимое состояние. Микроэлементы предпочтительнее вносить в форме окислов, так как они обеспечивают более высокую растворимость и стабильность растворов. Микроэлементы вводятся в основные растворы (8:24:0; 10:34:0; 11:37:0) при температуре 50-90°, при этом растворимость соединений цинка, меди, железа в растворах полифосфатов аммония в несколько раз выше, чем в растворе ортофосфата. Основные растворы, полученные на основе полифосфорной кислоты путём ее аммонизации, могут вноситься в почву непосредственно в качестве удобрения или использоваться для дальнейшего смешивания с азотным и калийным компонентами.

Практически единственным источником калия для ЖКУ является хлористый калий. В связи с недостаточной растворимостью он уменьшает концентрацию жидкого удобрения. Еще менее растворим

нитрат калия, который образуется, если в качестве дополнительного азотного компонента для ЖКУ используются нитрат аммония или мочевины - нитрат аммония (МНА). Мочевина в этом отношении несколько улучшает общую растворимость системы. Все это сдерживает использование калия в ЖКУ.

В США поощряются раздельное внесение твердого калийного удобрения с осени или повышение концентрации ЖКУ за счет использования суспензий. Поэтому на первом этапе ЖКУ состава 10:34:0 лучше применять на почвах, достаточно обеспеченных доступным для растений калием. В этом случае и калийные удобрения в севообороте можно вносить один раз в 2 года под калиеволюбивую культуру. С развитием технологии производства и применения суспензий калий также можно будет вводить в состав ЖКУ, увеличивая тем самым ассортимент жидких удобрений без снижения их концентрации.

Введение в раствор стабилизирующих добавок коллоидной глины или кремниевой кислоты, предохраняющих пересыщенный раствор от выпадения твердой фазы, – один из кардинальных способов повышения суммы питательных веществ ЖКУ. На приготовление 1 т удобрения расходуется 9 - 22 кг сухой глины. Рекомендуется 28%-я суспензия глины в чистом виде, в которую вводят вначале раствор 10:34:0, а затем мочевины - нитрат аммония, и в последнюю очередь – хлористый калий. Для приготовления суспензий пригоден красный флотационный хлористый калий с размером частиц 0,8 - 1 мм. Сумма питательных веществ в суспензированных СЖКУ составляет 40% и более.

Для применения суспензий необходим специальный комплекс машин, отличающийся от механизированных средств для внесения обычных ЖКУ. При определении емкости складов, потребности в машинах для транспортирования и внесения важное значение имеет плотность удобрения, поэтому оценивать ЖКУ целесообразно по концентрации питательных веществ в единице объема (табл. 5.11). Отечественной промышленностью выпускаются ЖКУ 8:24:0 и 10:34:0,

5.11. Характеристика некоторых свойств ЖКУ

Марка удобрения	Сумма питательных веществ, %	Удельная масса, г/см ³	Количество питательных веществ, кг/м ³
9:9:9	27	1,24	335
10:34:0	44	1,35	594
11:37:0	48	1,40	672
12:12:12 (суспензия)	36	1,35	486

освоено производство более концентрированного раствора – 11:37:0. Разработана технология производства марок 9:9:9 и 18:18:0.

Жидкие удобрения взаимодействуют с почвой полнее по сравнению с гранулированными. Скорость взаимодействия удобрений с почвой в значительной мере определяет характер образующихся соединений, их растворимость и доступность растениям.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ

Сложные удобрения. Действие сложных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур определяется многими факторами:

- 1) наличием в их составе водорастворимых соединений фосфора;
- 2) видом и биологическими особенностями сельскохозяйственных культур;
- 3) почвенно-климатическими условиями;
- 4) агрономической технологией применения удобрений (оптимальные сроки и способы их внесения);
- 5) соотношением питательных веществ (N, P, K) в удобрении;
- 6) формами компонентов азота, фосфора и калия, входящих в состав сложных удобрений;
- 7) комплексом приемов агротехники, на фоне которых используются сложные удобрения.

Все эти факторы тесно взаимосвязаны. Например, на дерново-подзолистых почвах цитратно-растворимая форма P_2O_5 при прямом действии и последствии также доступна растениям, как и водорастворимая, а на черноземах, каштановых почвах и сероземах более доступна водорастворимая форма. В сложных гранулированных удобрениях оптимальное содержание водорастворимой P_2O_5 от усвояемой должно быть не менее 50%, а на черноземах и сероземах – не менее 60 - 70%.

Сернокислотная нитрофоска, а также нитроаммофоски и диаммонитрофоски с наибольшим содержанием водорастворимого фосфора обеспечивают и максимальную эффективность на дерново-подзолистых почвах. Действие карбонатных гранулированных нитрофосок, практически не содержащих водорастворимый фосфор, ниже действия эквивалентных смесей простых удобрений, особенно на черноземе. С увеличением в составе сложного удобрения содержания водорастворимого фосфора возрастает и коэффициент его использования растениями. Такая же закономерность сохраняется и при оценке

способов внесения удобрений. Так, при локальном внесении более эффективны сложные удобрения с большим содержанием водорастворимого фосфора.

Эффективность трехкомпонентных сложных удобрений в различных почвенно-климатических условиях высокая. Наличие нескольких питательных элементов в одной грануле облегчает усвоение их корневой системой, способствует увеличению использования всех элементов, улучшает деятельность корневой системы.

В зональном аспекте с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных культур отмечены следующие закономерности действия сложных удобрений по сравнению со смесями стандартных простых удобрений.

1. В лесолуговой и лесостепной зонах на дерново-подзолистых почвах и черноземах трех- и двухкомпонентные удобрения (нитрофоска, нитроаммофоска, аммофос и нитроаммофос) в посевах зерновых, сахарной свеклы, льна и картофеля при основном внесении по эффективности близки смесям односторонних удобрений, а в ряде случаев и превосходят их. На картофеле более эффективна бесхлорная нитрофоска по сравнению со смесями удобрений, включающих хлористый калий.

2. В степной зоне (черноземы обыкновенные, карбонатные, южные) эффективность сложных удобрений ниже, чем в лесолуговой зоне, где более влажно. В этой зоне несколько больше и прибавки урожая зерновых культур от внесения нитроаммофоски в сравнении с нитрофоской.

3. На каштановых почвах и сероземах орошение значительно повышает эффективность удобрений, в том числе и сложных. На зерновых культурах, кукурузе, хлопчатнике действие двух- и трехкомпонентных сложных удобрений эффективнее смесей простых удобрений.

4. В условиях возделывания риса как затопляемой культуры эффективность сложных удобрений, содержащих нитратные формы азота, была ниже эффективности смесей удобрений, содержащих азот в аммиачной или амидной форме.

5. Сложные удобрения весьма эффективны при припосевном их внесении под зерновые, технические, силосные культуры и однолетние травы.

На дерново-подзолистых, серых лесных почвах и черноземах локальное внесение нитроаммофоски эффективнее суперфосфата. На фоне основного внесения и повышенного содержания фосфора в почве при рядковом внесении действие всех форм минеральных удобрений снижается. Биологические особенности сельскохозяйственных культур

и большое разнообразие почв обуславливают необходимость иметь сложные удобрения с различным соотношением в них азота, фосфора и калия. Важное значение имеют форма удобрения и сроки внесения.

На дерново-подзолистых почвах эффективность фосфорных и калийных удобрений при внесении их осенью и весной примерно одинакова. Более высокое положительное действие азотных удобрений отмечено при их внесении весной по сравнению с осенью. В последнем случае азот, особенно в нитратной форме, за зимне-весенний период вымывается в нижележащие слои почвы, что приводит к азотному голоданию озимых и яровых культур весной. Поэтому на рыхло-песчаных почвах все виды сложных удобрений (НАФК, НФК) и эквивалентные смеси простых удобрений при внесении в полной дозе с осени малоэффективны. На озимых культурах заметно возрастает действие сложных удобрений, в которых половина дозы азота вносится весной. Снижение эффективности сложных и простых удобрений на этих почвах объясняется потерей именно азота из-за миграции его по профилю почвы, а эффективность фосфорного компонента одинакова при внесении удобрений как осенью, так и весной.

Таким образом, на дерново-подзолистых почвах сложные удобрения с преобладанием фосфора и калия над азотом при осеннем их внесении под озимые (пшеницу и рожь) и яровые (ячмень) и внесении азота (до полной дозы) весной более эффективны по сравнению со всей дозой удобрений с выровненным соотношением питательных веществ, внесенной осенью.

В зоне достаточного увлажнения, особенно на легких дерново-подзолистых почвах, рекомендуется применение осенью сложных удобрений с меньшим содержанием азота (1:2:2, 1:2:1, 1:4:0) с последующим внесением дополнительного азота до оптимального содержания весной. На этих почвах под яровые культуры внесение азотных удобрений более эффективно весной. На выщелоченных чернозёмах и дерново-подзолистых глинистых почвах разовое внесение всей дозы сложных и смесей простых удобрений часто не уступает дробному внесению в процессе вегетации растений.

Сложные удобрения на основе мочевины (карбоаммофоски, карбоаммофосы, фосфаты мочевины) при основном внесении под зерновые, картофель, сахарную свеклу, кукурузу и другие культуры на почвах лесолуговой и лесостепной зон эффективны так же, как нитроаммофоска и смеси простых удобрений. При удобрении риса на лугово-черноземной почве карбоаммофоска и смесь удобрений с сульфатом аммония оказывали большее положительное действие

на урожай, чем нитроаммофоска, что объясняется наличием в последней азота в нитратно-аммиачной форме.

На лугах и пастбищах в условиях дерново-подзолистых и горнолуговых почв действие карбоаммофоски и карбоаммофоса несколько уступает удобрениям с нитратно-аммиачной формой азота. Это связано с потерей части азота в виде аммиака в результате гидролиза мочевины, входящей в состав карбамидсодержащих удобрений, что имеет место при поверхностном их внесении, без заделки в почву. На хлопчатнике и зерновых культурах при орошении на каштановых почвах и сероземе карбамидсодержащие удобрения эффективнее смесей на аммиачной селитре.

Полифосфаты различных катионов (полифосфат аммония, калия, кальция и метафосфаты калия) по эффективности не уступают стандартным удобрениям на ортофосфатной основе и поэтому могут применяться под многие сельскохозяйственные культуры в различных почвенно-климатических условиях.

Сложные удобрения, систематически применяемые в севооборотах на всех типах почв, по эффективности, как правило, не уступают смесям односторонних удобрений.

В порошковидном полифосфате кальция весь фосфор находится в цитратнорастворимой форме, что в ряде случаев снижает действие этого удобрения. Этим можно объяснить и несколько худшее действие полифосфата кальция на картофель – культуру, которая лучше отзывается на внесение водорастворимых фосфорных удобрений.

Включение в макроудобрения микроэлементов улучшает питание растений, оптимизирует действие удобрений. В этом случае возрастает эффективность как макро-, так и микроэлементов. Разработан ассортимент минеральных удобрений, в том числе и сложных, с включением микроэлементов. Так, аммофос, содержащий N – 12% и P₂O₅ – 51%, содержит B – 0,4%, Zn – 1,0 и Mn – 3,0%; нитроаммофоска, содержащая N – 17%, P₂O₅ – 17 и K₂O – 17%, содержит B – 0,17%, Mo – 0,05, Mn – 1,5, Co – 0,05 и I – 0,003%; карбоаммофоска – N – 21%, P₂O₅ – 21 и K₂O – 21%, содержит I – 0,2%.

Жидкие комплексные удобрения. Установлены закономерности в действии ЖКУ в зависимости от фосфорного и азотного компонентов, типа почвы и других условий. Так, если ЖКУ приготовлены на основе ортофосфорной кислоты, они имеют свои особенности в превращении питательных элементов в почве, в их влиянии на урожай и качество продукции. Все это находится в прямой зависимости от почвы.

1. При использовании ЖКУ на основе ортофосфорной кислоты на кислой, активно фиксирующей фосфор почве (красноземе) при низком исходном фосфатном уровне, а также на бедных кислых почвах дерново-подзолистого типа действие ЖКУ слабее, чем гранулированных форм. Обычно это отмечается при применении полного ЖКУ, содержащего азот, фосфор и калий в соотношении, близком к 1:1:1, и дополнительном азотном компоненте (нитрат аммония). Если же применяется неуравновешенный раствор ЖКУ с соотношением N : P₂O₅ 1:4,5 или 1:3, снижения действия фосфатного компонента на кислой дерново-подзолистой почве не наблюдается.

2. На известкованной дерново-подзолистой почве и чернозёмах эффективность ЖКУ и гранулированных удобрений примерно одинакова.

3. На карбонатных почвах со щелочной реакцией (карбонатные черноземы, каштановые почвы, сероземы) агрохимическая ценность жидких форм, как правило, выше, чем гранулированных.

4. На кислой дерново-подзолистой почве происходит кратковременное снижение содержания легкоподвижного фосфора при внесении раствора, что связано с большей фиксацией фосфатов полуторными окислами. На черноземе этого не наблюдается. На сероземе после внесения ЖКУ количество подвижного фосфора больше, чем при использовании гранулированного удобрения.

5. Эффективность ЖКУ определяется не только входящим в его состав фосфорным, но и азотным компонентом. Так, ЖКУ с нитратом аммония на кислой дерново-подзолистой почве и особенно на краснозёме менее эффективно, чем твердое гранулированное удобрение, а на мочеvine – равноценно с твердым удобрением. На типичном черноземе со слабокислой реакцией форма азотного компонента не оказывает влияния на действие удобрения: эффективность растворов и гранулированных удобрений равноценна. На сероземе форма азотного компонента также не влияет на эффективность ЖКУ. Растворы – лучший источник фосфора для растений, чем гранулированные удобрения. Эти закономерности подтверждаются превращением в почвах ЖКУ с различным азотным компонентом. Наличие в удобрении мочевины положительно сказывается на накоплении подвижного фосфора в кислых почвах и не имеет значения на чернозёме и серозёме. Это связано с временным подщелачиванием среды при превращении мочевины в почве.

Качество продукции (зерна, картофеля, сена) при использовании жидких и твердых удобрений также примерно одинаково.

Действие суспензированных удобрений полностью совпадает с действием соответствующих аналогов прозрачных ЖКУ и зависит от свойств азотного и фосфорного компонентов. Наличие суспензированного агента не влияет на эффективность жидких удобрений.

В ЖКУ на полифосфорной кислоте около половины фосфора находится в полиформе. Эффективность удобрений, содержащих полифосфаты, определяется наличием ортоформы, темпами гидролиза полифосфатов до ортоформы и свойствами соединений, которые образуются при внесении в почву полифосфатов. Выявлены закономерности действия такого ЖКУ – растворов 10:34:0 и 11:37:0 с содержанием 45 - 65% фосфора в полиформе.

1. На дерново-подзолистых почвах жидкие полифосфаты аммония формируют фосфатный режим в общем такой же, как и ортофосфаты. Они одинаково влияют на урожай в прямом действии и последствии. Известкование таких почв не меняет данной закономерности. На сильно кислом, бедном фосфором краснозёме действие жидких полифосфатов обычно несколько слабее, чем гранулированных ортофосфатов.

2. На типичном и выщелоченном черноземах действие жидких полифосфатов на зерновых культурах равноценно действию как жидких, так и гранулированных ортофосфатов.

3. На карбонатных чернозёмах ЖКУ, особенно полифосфаты, оказывали лучшее действие на урожай ряда сельскохозяйственных культур в сравнении с гранулированными фосфорными удобрениями. Это объясняется тем, что при внесении полифосфатов в почву длительное время сохраняется значительно большее количество легкоусвояемой ортоформы, формируется больший запас растворимых фосфатов, чем на фоне ортофосфорных удобрений. На карбонатных почвах полифосфаты улучшают снабжение растений цинком.

4. На серозёмах жидкие полифосфаты аммония усваиваются лучше, чем ортофосфаты. Действие полифосфатов на урожай сельскохозяйственных культур равноценно ортофосфатам или превосходит их. В последствии полифосфаты оказывались лучшим источником фосфора, чем ортофосфаты.

5. Весьма эффективны полифосфаты с микроэлементами, введенными в состав раствора.

Таким образом, эффективность комплексных удобрений определяется в значительной мере характером входящих в них компонентов.

МАГНИЕВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Основным источником для производства магнийсодержащих удобрений являются природные соединения этого элемента. Свыше 200 минералов представлены типично магниевыми соединениями. Многие из них используются непосредственно как источник магния или перерабатываются на магнийсодержащие удобрения: сульфаты, хлориды, карбонаты, силикаты, гидроксилы, алюмосиликаты. Разнообразие сырьевых ресурсов позволяет получать различные формы магнийсодержащих удобрений и использовать их с учетом биологических требований культур и почвенно-климатических условий.

Существует несколько путей обеспечения растений магнием.

1. Известкование почв магниесодержащими известковыми удобрениями: в один прием в больших дозах вносятся известковые удобрения, обеспечивающие питание всех культур севооборота магнием и устраняющие кислотность почвы.

2. Применение магниевых и магниесодержащих минеральных удобрений под каждую культуру севооборота с учетом ее биологической потребности в этом элементе.

3. Использование органических удобрений, в химическом составе которых имеется магний в пределах 0,01 - 0,09%.

Наибольший удельный вес в ассортименте магниевых удобрений приходится на известково-магниевые и калийно-магниевые удобрения. Магниевые удобрения различаются по степени их растворимости на:

1) нерастворимые в воде – тонко размолотые природные материалы или породы (дунит, серпентинит, вермикулит, доломит, магнезит, брусит и доломитизированные известняки), которые при взаимодействии с кислой почвой выделяют в почвенный раствор магний;

2) растворимые в воде – сырые соли и продукты их переработки – эпсомит (сульфат магния), каинит, карналлит;

3) растворимые в лимонной кислоте и усвояемые растениями – магниевый плавленный фосфат.

По составу магниевые удобрения делят на простые (магнезит, дунит) и сложные, содержащие два и более питательных элемента: азотно-магниевые (аммошениит, доломит-аммиачная селитра); фосфорно-магниевые (магниевый плавленный фосфат); калийно-магниевые (калийно-магниевый концентрат, калимагнезия, полигалит, каинит, карналлит); бормагниевые (борат магния); известково-магниевые (доломит, доломитизированные известняки и продукты их переработки); содержащие азот, фосфор и магний (магний-аммонийфосфат).

Применение магнийсодержащих известковых удобрений для химической мелиорации кислой почвы (рис. 5.8) приводит к обогащению ее подвижными соединениями магния и является практически самым действенным и дешевым способом решения проблемы снабжения магнием песчаных и супесчаных почв.

Доломитовая мука ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) содержит около 20% MgO и 30% CaO; содержание углекислых кальция и магния не менее 85%. Применяется для известкования кислых почв в дозе 3–4 т/га. При этом почва обогащается магнием в количестве, достаточном для питания растений в течение одной-двух ротаций севооборота. Лучше применять на легких почвах.

Доломиты нерастворимы в воде, поэтому их эффективность зависит от тонины помола. Наибольшие прибавки урожаев сельскохозяйственных культур обеспечивает доломитовая мука с размером частиц менее 1 мм; увеличение крупности помола доломита до 1–3 мм снижает его эффективность.

Полубоженный доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) – продукт обжига доломита. Содержит около 27% MgO, 2% CaO, 57% CaCO_3 . Магний этого удобрения хорошо доступен растениям. Используют его для известкования почв.

МАГНИЙСОДЕРЖАЩИЕ ИЗВЕСТКОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Доломитовая мука

$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ (85%)
20% MgO, 30% CaO

При известковании кислых почв дозой 3–4 т/га, почвы обогащаются Mg в количестве, достаточном для питания, в течение 1–2 ротаций севооборота. Высокоэффективен на легких почвах

Полубоженный доломит

$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$
27% MgO, 2% CaO,
57% CaCO_3

Продукт обжига доломита.
Mg хорошо доступен растениям.
Используется при известковании почв

Карбонат магния (магнезит)

MgCO_3 , 45% MgO.

Щелочное удобрение с высокой нейтрализующей способностью, превосходящей известь. Высокие дозы магнезита могут вызывать борное и кальциевое голодание, поэтому применение его необходимо сочетать с внесением бора, а при нейтрализации почвенной кислотности сочетать с карбонатами кальция

Рис. 5.8. Магнийсодержащие известковые удобрения

Карбонат магния (магнезит) содержит 45% MgO. Это самое концентрированное магниевое удобрение, представляющее собой природный минерал и обожженный магнезит (до 89% MgO), получаемый в производстве огнеупоров. Это щелочные, сильно действующие формы с высокой нейтрализующей способностью, превосходящей действие извести. Однако высокие дозы магнезита обостряют кальциевое и борное голодание растений, что может привести к снижению урожая. Поэтому применение этого удобрения необходимо сочетать с внесением бора под требовательные к нему культуры (подсолнечник, свёклу, клевер), а при нейтрализации почвенной кислотности сочетать с карбонатами кальция.

Жженую магнезию упаковывают в специальные мешки из водонепроницаемого материала, хранят в сухом помещении.

Дунитовая мука и магниевый змеевик (серпентинит) – отходы горнорудной и асбестовой промышленности. По химическому составу они представлены силикатами магния в труднорастворимой форме, поэтому их рекомендуют применять заблаговременно в высоких дозах. Эти магнийсодержащие удобрения можно использовать как сырьё для получения сложных магнийсодержащих удобрений и как местное удобрение для непосредственного внесения. В воде не растворяются, но медленно разлагаются под воздействием почвенных кислот. Тонкоразмолотый дунит содержит 41 - 47% MgO. Серпентинит состоит в основном из метасиликата магния с содержанием 32 - 43% MgO.

Вермикулит (гидрослюда) содержит 14 - 30% MgO и до 5% K₂O. Небольшая часть магния (1,3 - 1,7% от массы минерала) находится в обменном виде и доступна для растений, остальная часть разлагается под воздействием почвенной кислоты.

Аммошениит ((NH₄)₂SO₄ · MgSO₄ · 6H₂O) – двойная соль сульфата аммония и сульфата магния. Представляет собой кристаллический минерал от светло-коричневого до серого цвета. Применяется как азотно-магниевое удобрение; содержит не менее 7% N и 10% MgO. Магниевые удобрения хорошо усваиваются растениями. Перевозят аммошениит в многослойных мешках, пропитанных битумом.

Для наиболее полного и своевременного обеспечения культур магнием наряду с широким использованием доломитов для известкования кислых, бедных магнием супесчаных почв необходимо применение магнийсодержащих удобрений, производимых туковой промышленностью. В качестве источника магния для растений используют как односторонние, так и сложные магнийсодержащие удобрения, в том числе калийно-, фосфорно-, азотно-магниевые и другие многокомпонентные комплексные удобрения.

Из односторонних магниевых удобрений наиболее распространены **сульфат магния (эпсолит)** – содержит не менее 84% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ и не более 6% $NaCl$ (17,7% MgO) – и кизерит (25-30% MgO). Это водорастворимые быстродействующие сернокислые соли магния. Рекомендуется их применять в интенсивном земледелии в условиях дефицита магния на слабокислых и нейтральных почвах. В этом случае при высоком уровне урожайности наблюдается постоянная потребность в легкорастворимых источниках магния. Можно применять также на интенсивных лугах, в тепличных хозяйствах, в овощеводстве открытого грунта. Удобрение имеет большое значение в устранении острого (определяемого визуально по признакам магниевое голодания) недостатка этого элемента путем проведения некорневой подкормки растений. При внесении этих удобрений в почву большая часть магния переходит в обменное состояние.

Калимагнезия ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$) – полупродукт, получаемый при переработке сульфата калия из каинита. Удобрение содержит в основном минерал шенит, поэтому его называют иногда также шенитом. В гранулированном виде удобрение выпускается двух сортов, в которых содержание веществ в пересчете на сухой продукт следующее (%):

	1-й сорт	2-й сорт
окись калия	> 30	> 28
окись магния	> 10	> 8
хлор	< 5	не нормируется
влажность	< 2	< 2

Калийно-магниевый концентрат получают из каинитолангбейнитовой руды методом флотации. В состав удобрения входит в основном минерал лангбейнит $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$, а также в небольшом количестве полигалит, галит, гипс и др. В среднем он содержит 30 - 38% K_2SO_4 , 39 - 40 – $MgSO_4$, 4 - 5 – KCl и 8 - 10% $NaCl$.

Калийно-магниевый концентрат выпускают двух сортов: в первом содержится не менее 19% K_2O и 9% MgO , во втором – не менее 17,5% K_2O и 8% MgO , с влажностью не более 5%. Количество хлора не нормируется, но в удобрении первого сорта – не более 8%.

Полигалитовые соли ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot CaSO_4 \cdot 6H_2O$) – низкопроцентные удобрения (10 - 11% K_2O , 8 - 12% MgO), в воде растворяются медленно, но калий и магний их доступны растениям. Применение полигалитовых солей давало положительные результаты на разных культурах, и особенно на лугах и пастбищах.

Каинит ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$) – минерал с большой примесью $NaCl$ (составляет 45–47% от общей массы). В нем содержится 10 - 12% K_2O ,

22-25 – Na₂O; 6-7 – MgO, 15-17 – S₂O₃ и 32-35% – Cl. Удобрение низкопроцентное, поэтому в настоящее время применяется в основном на лугах и пастбищах, где оно часто имеет преимущества перед хлористым калием благодаря наличию в нем магния.

В Российской Федерации промышленно выпускают калимагнезию (8-10% MgO) и каинит (6-7% MgO). В общем ассортименте калийно-магниевого удобрения имеют незначительный удельный вес. Калимагнезия как легкорастворимое и достаточно сбалансированное по калию и магнию удобрение высокоэффективно на песчаных дерново-подзолистых почвах. В интенсивных кормовых севооборотах на супесчаных почвах внесение калимагнезии в отличие от концентрированных калийных удобрений позволяет поддерживать в растениях оптимальный состав одно- и двухвалентных катионов, соотношение которых является важным показателем качества приемов.

Применение калийно-магневых удобрений может быть расширено за счет отходов калийных комбинатов и магниевых заводов – обезвоженного карналлита (23-24% K₂O, 18-20 – MgO, 0,9 – Na₂O, 50-51% Cl) и хлор-калий-электролита (39-42% K₂O, 4 – MgO, 50% – Cl). Отрицательное влияние на растения избытка хлора, содержащегося в них, устраняется заблаговременным внесением удобрений, поскольку хлор легко вымывается из почвы. Эффективен обезвоженный карналлит под различные культуры на супесчаных почвах.

Из фосфорно-магневых удобрений в практике сельского хозяйства находят применение магниесодержащие фосфорные удобрения типа термофосфатов и томасшлак – побочный продукт металлургии. Питательные вещества в этих удобрениях представлены лимоннорастворимыми формами и хорошо усваиваются растениями. Представителем этой группы удобрений является **плавленный магниевый фосфат (ПМФ)**, содержащий усвояемые растениями фосфор и магний (Ca₃(PO₄)₂ + MgSO₄·SiO₃). Получают сплавлением природных фосфатов с магниевым сырьем (дунитом, кизеритом, серпентинитом, оливинитом) при температуре 1350-1400°С с последующим быстрым охлаждением плава водой. Он состоит из стекловидных прозрачных гранул разной формы и величины. Цвет гранул изменяется от ярко-зеленого до почти черного в зависимости от исходного сырья. Плавленный магниевый фосфат содержит 19-21% усвояемой лимоннорастворимой P₂O₅ и 8-14% MgO. Фосфор в плавленном магниевом фосфате находится в виде модификации трикальцийфосфата, хорошо растворимой в 2%-й лимонной кислоте. Производство его не требует применения дефицитной серной кислоты, не связано с большим расходом энергии и воды, позволяет использовать низкопроцент-

ные природные фосфаты без предварительного их обогащения. Удобрение обладает хорошими физическими свойствами, не слеживается, не содержит свободной кислотности.

Тонко размолотый ПМФ – высокоэффективное удобрение при основном внесении на всех типах почв. На кислых песчаных и супесчаных почвах, нуждающихся в магниевых удобрениях, ПМФ не только фосфорное, но и магниевое удобрение, в некоторой степени нейтрализующее почвенную кислотность. В условиях влажного тропического климата удобрение выгодно отличается от водорастворимых форм тем, что не слеживается и меньше теряет питательных веществ от вымывания атмосферными осадками.

Поскольку слаборастворимые термические фосфаты эффективны в тонко размолотом виде, необходимо решать проблему запыленности при их внесении. Одним из путей являются гранулирование тонко-размолотого ПМФ с хлористым калием и внесение смеси в зернистом виде.

Магний-аммонийфосфат (МАФ) ($MgNH_4PO_4 \cdot nH_2O$) – концентрированное удобрение, содержащее три питательных элемента: фосфор, азот и магний. Производят его из фосфорной кислоты, аммиака и гидрата окиси магния или солей магния – хлористой, серно-кислой или углекислой. Он может быть в виде кристаллогидрата, содержащего одну ($MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$) или шесть ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) молекул воды; $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ очень неустойчив при хранении, при 30-50° выделяет аммиак. Разработана технология получения одноводного магний-аммонийфосфата, который резко отличается от шестиводного, – он негигроскопичен, устойчив до 230°C, не выделяет аммиака при хранении. Благодаря меньшему количеству кристаллизационной воды одноводная соль содержит на 35% больше питательных элементов, чем шестиводная. МАФ содержит азот в водонерастворимой форме, что уменьшает его вымывание на легких почвах и не повышает осмотическое давление почвенного раствора. В одноводном МАФ содержится 45,7% P_2O_5 , 10,9 – N и 25,9% MgO.

В МАФ фосфор содержится в лимонно-растворимой форме, поэтому это удобрение следует вносить в виде порошка. При использовании его в дозе 45-60 кг P_2O_5 /га с ним вносится такое количество магния, которое может обеспечить потребность в этом элементе всех культур на песчаных и супесчаных оподзоленных почвах, нуждающихся в магниевых удобрениях. МАФ на таких почвах целесообразно применять как основное допосевное удобрение.

Магний-аммонийфосфат можно использовать и как концентрированное азотно-фосфорное удобрение. В этом случае его применяют

в условиях орошаемого земледелия, где до посева рекомендуется вносить фосфор и азот малыми дозами, а затем в виде подкормок. Наличие в МАФ нерастворимого в воде азота предотвращает его от вымывания.

Магний-аммонийфосфат благодаря его хорошим физическим свойствам можно использовать в качестве компонента для приготовления концентрированных тукосмесей или сложных удобрений. При этом его обогащают азотом и калием до обычных соотношений между азотом и фосфором.

Важным источником пополнения содержания обменных форм почвенного магния, а следовательно, улучшения питания растений этим элементом являются органические удобрения. Систематическое их внесение заметно увеличивает накопление поглощенного магния в почве, что приводит к росту урожаев сельскохозяйственных культур севооборота, особенно на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах. Применение навоза снижает эффективность минеральных форм магниевых удобрений, что подтверждает важную роль его как источника магниевых питательных веществ для растений. На супесчаных почвах в условиях дефицита магния максимальные урожаи могут быть получены при совместном применении органических удобрений и минеральных форм магния.

УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИЕВЫХ УДОБРЕНИЙ

Интенсивная система земледелия с введением наиболее продуктивных сортов и культур, мелиорацией земель, увеличением доз минеральных удобрений приводит к повышению продуктивности сельскохозяйственных культур, а одновременно к снижению содержания доступных форм магния в почве и, как следствие, к необходимости широкого использования магнийсодержащих удобрений. За последние годы отмечается высокая эффективность магниевых удобрений при низкой обеспеченности почв магнием не только для сельскохозяйственных культур с высокой потребностью в нем (картофель, овощные), но и зерновых, технических культур, чая и др.

Прибавки урожая зерновых от применения магниевых удобрений достигают 0,2 - 0,6 т/га, клубней картофеля – 1,5 - 3, корнеплодов сахарной свёклы – 2 - 4, зеленой массы кукурузы – 2 - 6, сена многолетних трав – 0,4 - 0,7, чайного листа – 0,5 - 1,0 т/га. Магнийсодержащие удобрения обычно не только повышают уровень, но и улучшают качество урожая. Увеличивается в растительной продукции содержание крахмала, сахара, белка, витамина С. Отмечается при этом

улучшение семенного качества урожая – повышение всхожести и энергии прорастания получаемых семян и усиление устойчивости выращиваемых растений к неблагоприятным условиям внешней среды, различным грибным заболеваниям.

Для оптимизации магниевого питания сельскохозяйственных культур в севообороте и применения рациональных доз удобрений важно знать следующее: 1) потребность сельскохозяйственных культур в магнии на планируемый урожай; 2) обеспеченность почвы доступными для растений формами магния; 3) наиболее надежные методы диагностики необходимости применения магниевых удобрений (хорошо коррелирующие с урожайностью культур); 4) состояние баланса магния в системе почва–растение конкретного севооборота.

Потребность растений в магнии зависит от вида культуры и величины урожая. В табл. 5.12 представлены средние многолетние данные по выносу магния с урожаями сельскохозяйственных культур, полученные на дерново-подзолистых супесчаных почвах, где недостаток магния проявляется наиболее часто.

Общий вынос магния культурами за ротацию севооборота существенно колеблется в зависимости от его специализации. При увеличении в структуре посевных площадей зернобобовых, овощных, картофеля и других пропашных вынос магния из почвы возрастает. Между потребностью сельскохозяйственных культур в магнии и отзывчивостью их на магниевые удобрения наблюдается определенная связь: более требовательные к магнию культуры дают более высокий относительный прирост урожая при его внесении.

Зерновые культуры отличаются меньшей требовательностью к магнию в сравнении с овощными, техническими и другими пропашными. Однако при недостатке магния, особенно в начале вегетации, на хлебных злаках заметно проявляется магниевое голодание. Это объясняется характером корневой системы зерновых культур, которая

5.12. Вынос магния с урожаем сельскохозяйственных культур, кг/т основной продукции

Культура	MgO	Культура	MgO
Ячмень	3,8	Озимая рожь	2,7
Клевер	4,5	Яровая пшеница	3,8
Лён-долгунец (соломка)	3,2	Овёс	3,0
Озимая пшеница	3,3	Сахарная свёкла	3,0
Вико-овсяная смесь	1,0	Люпин (зерно)	14,7
Картофель	0,9		

располагается на небольшой глубине и, особенно в начале вегетации, не может использовать питательные вещества, в том числе и магний, из более глубоких слоев почвы. На недостаток магния особенно реагирует овес, менее чувствительны – пшеница и ячмень.

Об обеспеченности растений магнием можно судить визуально, по внешнему виду растений, который как при недостатке, так и при избытке этого элемента в питательной среде существенно изменяется вследствие нарушения биохимических процессов в растении. Основным визуальным признаком магниевого голодания является пятнистый некроз, при котором листья становятся пестрыми: участки между жилками бледнеют, а жилки сохраняют свою окраску. Это связано с тем, что ткани, прилегающие к проводящей системе, богаче хлорофиллом и имеют более интенсивную зеленую окраску. А так как магний передвигается из нижних листьев к верхним, то и признаки голодания от недостатка этого элемента появляются прежде всего на нижних листьях. При избытке магния листья растений становятся более темными, наблюдается ненормальное их скручивание и сморщивание.

Для объективной оценки состояния магниевого питания растений и оптимизации магниевого удобрения необходимо использовать методы диагностики по химическому анализу почв и растений. Определение степени обеспеченности почв доступным магнием вместе с данными по содержанию его в индикаторных органах растений позволяет надежно оптимизировать магниевое питание и применение удобрений под ту или иную культуру.

Низким содержанием магния отличаются легкие почвы. Размеры плодородия песчаных почв по запасам магния определяются степенью выветривания основных первичных магниесодержащих минералов – полевых шпатов, биотита, серпентина, авгита и др.

Потребность в магниевых удобрениях определяется по содержанию доступного растениям магния; эту форму магния в РФ определяют в вытяжке почвы 1 н. КС1.

Для многих сельскохозяйственных зон предложено простое подразделение почв по обеспеченности магнием (мг/100 г почвы): < 1,0 – очень низкая, 1,1 - 2,5 – низкая, 2,6 - 5,0 – средняя, > 5,0 – хорошая.

Для одновременного определения магния и других катионов, что удобно при серийном анализе почв, используют также вытяжки хлористого натрия, 1 н. уксуснокислого аммония. Однако для каждой вытяжки и элемента требуется разработка своей шкалы обеспеченности почв данными элементами, чтобы судить о степени нуждаемости культуры в данном удобрении.

О степени обеспеченности растений магнием в течение вегетации можно судить и по растительной диагностике, по содержанию магния в отдельных органах растения (табл. 5.13).

Для некоторых культур установлен избыточный уровень магния с визуальными признаками токсичности: для кукурузы он составляет > 0,55% (припочатковый лист), для люцерны – > 2,0% (перед началом цветения), для сливы – > 1,1% (листья, июль), для сои – 1,5%.

Для объективной оценки режима магния в почве, а следовательно, и решения проблемы магниевое питания растений необходимо учитывать целый ряд факторов, определяющих количество, состояние

5.13. Уровни содержания магния в растениях, % / сухое вещество

Культура	Недостаточный	Низкий	Оптимальный	Высокий	Фаза отбора пробы, часть растения
Овёс	< 0,07-0,08	0,08 - 0,17	0,18 - 0,37	> 0,37	трубкование (надземная часть)
Ячмень	< 0,05	0,05 - 0,20	> 0,20	–	то же
Озимая рожь	< 0,09	0,09 - 0,29	0,30 - 0,60	> 0,60	то же
Озимая пшеница	< 0,10	0,10 - 0,20	0,21 - 0,40	> 0,40	кущение (надземная часть)
Кукуруза	< 0,13	0,13 - 0,30	0,31 - 0,50	> 0,50	молодые растения
Картофель	< 0,15	0,15 - 0,20	0,25 - 1,0	–	цветение (верхние листья)
Клевер красный	< 0,16	0,16 - 0,20	0,21 - 0,60	> 0,60	начало цветения (надземная часть)
Сахарная свекла	< 0,05	0,05 - 0,24	0,25 - 1,0	> 1,00	смыкание рядков (листья)
Томаты	< 0,30	0,30 - 0,59	0,60 - 0,90	> 0,90	начало плодоношения (листья)
Огурцы	< 0,13	0,13 - 0,77	>0,77	–	плодоношение (листья)
Хлопчатник	< 0,44	0,46 - 0,48	0,68 - 0,77	–	цветение (средние листья)
Яблоня	< 0,06 - 0,08	0,10 - 0,20	0,24 - 0,45	> 0,45	окончание роста побегов (листья)
Чёрная смородина	–	<0,18	0,18 - 0,30	> 0,30	созревание ягод (листья)
Цитрусовые	< 0,16	0,16 - 0,25	0,25 - 0,42	0,42 - 0,66	листья в возрасте 4 - 6 месяцев
Чай	–	–	0,35 - 0,40	–	старые листья во второй половине вегетации

и подвижность этого элемента в почве. Ориентировочную модель этих составляющих предложили венгерские ученые (рис. 5.9).

Для определения перспективной потребности земледелия региона, республики, области и даже отдельного хозяйства в магниевых удобрениях, как и в других элементах, необходимо проводить балансовые расчеты с учетом всех статей прихода (поступление с известковыми, минеральными и органическими удобрениями, осадками и семенами) и расхода (вынос с урожаем, потери при инфильтрации, потери от эрозии).

Интенсивная химизация, в частности применение высоких доз минеральных удобрений, усиливает напряженность баланса магния, особенно на легких дерново-подзолистых и торфяно-болотных почвах, за счет снижения содержания магния в почве в результате его выноса и усиления миграции по профилю почвы. На легких почвах со средним содержанием магния рекомендуется вносить 30 - 40 кг MgO/га под зерновые культуры и 60 - 70 кг/га под картофель, кукурузу и корнеплоды. На почвах со слабой и очень слабой обеспеченностью магнием эти дозы увеличивают, а при повышенной и высокой обеспеченности уменьшают на 15 - 25%. Чем меньше содержание магния в почве и чем кислее почва, тем больше должна быть доза магниевых удобрений. При известковании почвы доломитами растения полностью обеспечиваются магнием.



Рис. 5.9. Схема трансформации магния в почве

Калимагнезия, калийно-магниевый концентрат, калийная соль на каините, внесенные по дозам калийных удобрений, обеспечивают одновременно и потребность растений в магнии. Под корнеплоды – натриелюбивые культуры – в качестве калийных удобрений применяют каинит и калийную соль на этой породе. При этом растения одновременно обеспечиваются калием, магнием, натрием и серой.

Растворимые магнийсодержащие удобрения рекомендуется вносить при весенней обработке почв. При выпадении обильных осадков и при орошении малорастворимые магнийсодержащие удобрения имеют преимущество перед удобрениями, растворимыми в воде. Перспективным для гидропоники является такое удобрение, как магний-аммоний-фосфат. В закрытом грунте широко применяется сульфат магния.

В случае если магниевые удобрения не были внесены весной перед посевом и было обнаружено магниевое голодание, проводят подкормку. При этом используют только растворимые в воде магниевые удобрения. При подкормке дают примерно половину дозы основного удобрения, а если она проводится рано и при сильном магниевом голодании, применяют полные дозы магниевого удобрения.

Имеющийся опыт применения магниевых удобрений позволяет отметить некоторые особенности их действия в зависимости от вида культуры.

При применении магниевых удобрений *под зерновые культуры* должны учитываться следующие условия.

1. Культуры должны хорошо отзываться на магнийсодержащие и известковые удобрения, применяемые для известкования кислых почв. Превышение дозы магния под озимые зерновые культуры более 40-60 кг/га обычно не ведет к дальнейшему росту урожая.

2. Признаки магниевой недостаточности у яровых зерновых проявляются в начале роста, по мере развития корневой системы и лучшего обеспечения растений магнием они исчезают. Однако вследствие малой реутилизации магния недостаток его в начале вегетации может отрицательно сказаться на конечном урожае и качестве зерна.

3. При применении высоких доз калийных удобрений, известкования почв важно соблюдать правильное соотношение между Ca, K, Mg. Нарушение этого соотношения может привести к повышенной потребности культур в магнии.

4. Применение магниевых удобрений не только повышает урожай зерна, но и улучшает его качество (повышает белковость зерна, выполненность, массу 1000 зёрен).

При обеспечении магнием растения становятся более устойчивыми к полеганию, к поражению грибными заболеваниями, например ржавчиной.

При удобрении *картофеля* установлено следующее.

1. На лёгких почвах, особенно в дерново-подзолистой зоне, картофель хорошо отзывается на внесение магниевых удобрений.

2. Для картофеля лучшими формами являются сульфат магния, магниесодержащие калийные и фосфорные удобрения. При применении карбонатов магния возможно борное голодание растений. В этом случае необходимо внесение борных удобрений.

3. Магниевые удобрения под картофель вносят вместе с основным удобрением в рядки при посадке (на 8 - 10 см) ниже клубней, в запас на ряд лет (на звено севооборота или севооборот) и в подкормку в процессе вегетации картофеля (опрыскивание ботвы в период бутонизации).

При удобрении *сахарной свёклы*, которая при недостатке магния в почве хорошо отзывается на магниевые удобрения, желательно учитывать следующее.

1. При установлении доз магниевых удобрений, особенно на лёгких почвах, исходить из количества магния, необходимого для формирования определенного урожая, и потерь его в связи с миграцией по профилю почвы.

2. Лучшей формой известкового удобрения является доломит. Из минеральных магниесодержащих удобрений предпочтительнее те, которые в своем составе имеют натрий, так как свекла является натриеволюбивой культурой.

3. При слабой обеспеченности почв магнием магниевые удобрения не только существенно повышают урожай сахарной свеклы, но и содержание сахара в корнеплодах.

Кукуруза на силос хорошо отзывается на магний, если его недостаточно содержится в почве в усвояемой для растений форме. Это обычно наблюдается на легких почвах, несмотря на хорошо развитую корневую систему кукурузы, способную потреблять магний из подпахотных слоев почвы. При удобрении кукурузы магнием рекомендуется учитывать следующие особенности.

1. Для кукурузы на легких супесчаных почвах более эффективны, как и для свеклы, магниесодержащие углекислые известковые удобрения в сравнении с чистой известью.

2. Кукуруза на силос является ценной, широко распространенной кормовой культурой. Поэтому при применении удобрений качество

массы имеет не меньшее значение, чем величина урожая. Между тем установлено, что систематическое применение удобрений ухудшает катионный состав зеленой массы кукурузы. Это сказывается на качестве кормов, их питательной ценности, усвояемости животными. Наряду с обычными приемами внесения магниевых удобрений в почву положительный эффект получается при опрыскивании листьев кукурузы 2%-м раствором сульфата магния в сочетании с другими приемами современной технологии выращивания этой культуры.

В связи с интенсификацией технологии возделывания сеяных трав и естественных луговых сенокосов и пастбищных угодий (полив, применение удобрений, особенно азотных и калийных, и др.) возникла необходимость применения магнийсодержащих удобрений и на этих угодьях. При удобрении многолетних трав особенно важно сбалансированное содержание питательных элементов в зелёной массе. Например, пониженное содержание магния в кормах вызывает заболевание животных пастбищной тетанией, так как задерживаются процессы метаболизма минерального азота в органические формы. Высокие дозы калийных удобрений усугубляют этот процесс, препятствуя поступлению магния в растения вследствие антагонизма ионов.

СЕРОСОДЕРЖАЩИЕ УДОБРЕНИЯ

При разработке системы удобрения отдельных сельскохозяйственных культур и в севообороте сере как питательному элементу для растений ранее не уделялось особого внимания, поскольку в ассортименте минеральных удобрений, выпускаемых отечественной химической промышленностью, содержится большое количество серы как сопутствующего элемента, что обеспечивает питание им растений. Кроме этого, значительное количество серы выпадет на почву в результате техногенного загрязнения, особенно в промышленных районах, а также при вулканических извержениях и т.д. Из атмосферы сера попадает в почву с осадками: от 100 кг и более в крупных промышленных районах до 2-3 кг/га в сельской местности. В европейской части России с атмосферными осадками серы выпадает 5-10 кг/га, а в отдельных районах – до 15-17, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке – 2-3 кг/га, а вблизи крупных промышленных центров до 25-45 кг/га. В Предуралье с осадками поступало 16 кг/га, в Донбассе – 54, в Подмосковье – 17-136 кг/га в год. При выпадении с осадками более 10 кг/га серы в год растения обычно обеспечены этим элементом, поэтому, по расчетам, общий баланс серы в земледелии положительный.

Растения могут поглощать также газообразную серу из атмосферы через листья. Доля такого некорневого поглощения может достигать 30% и более от общего ее поглощения растениями.

В перспективном земледелии сера может оказаться элементом, сдерживающим рост урожая и качество продукции. Этому способствует широкое применение прогрессивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур с применением высоких доз минеральных удобрений, направленных на реализацию потенциальной продуктивности растений, что сопровождается значительным увеличением выноса из почвы питательных элементов, в том числе серы. Значительное количество серы может вымываться с дренажными водами, мигрировать по профилю почвы до грунтовых вод, так как анион SO_4^{2-} слабо поглощается почвой, особенно легкой по гранулометрическому составу.

Преобладающее количество серы попадает на поля с *простым суперфосфатом*. Такие удобрения, как сульфат аммония (20-21% N, 24% S), сульфат калия (50% K_2O , 17,6% S), калимагнезия (26% K_2O , 18,3% S), шенит (23,3% K_2O , 15,9% S), в обеспечении дерново-подзолистых почв серой играют незначительную роль, так как применяются в сельском хозяйстве в ограниченных количествах. В сульфате магния (MgSO_4) содержится 28-30% S. Сера входит и в состав нитрофоски сульфатной.

Фосфогипс (22% S) – отход химических заводов, выпускающих двойной суперфосфат, по составу подобен гипсу, но содержит примеси фосфора и других элементов. Может служить серосодержащим удобрением местного значения. Недостаток удобрения – высокая влажность (30-35%), значительная примесь фтора, стронция. Поэтому при применении фосфогипса необходимо постоянно контролировать накопление этих элементов в почве, растениях и продукции, не допуская превышения предельно допустимой концентрации (ПДК).

Гипс (18,6% S) – быстродействующая, хорошо доступная растениям нейтральная серноокислая соль кальция. Используется в основном для мелиорации солонцовых почв.

Элементарная сера как удобрение в стране применяется мало. Она становится доступной растениям после перевода ее микроорганизмами в сульфатную форму. Скорость этого процесса зависит от тонины помола удобрения, температуры и влажности почвы, активности микрофлоры, типа почвы, содержания других ионов. Элементарная сера слабее выщелачивается из пахотного слоя почвы и отличается более длительным последствием по сравнению с гипсом и другими удобрениями, содержащими сульфаты.

Помимо минеральных удобрений сера содержится в навозе (1 кг SO_2 в 1 т). Однако удельный вес площадей, удобренных навозом, невелик.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ

Действие серосодержащих удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и качество продукции зависит от содержания серы в почве, плодородия почв, уровня удобренности, биологических особенностей культуры, условий погоды и других факторов. Отметим важнейшие из них.

1. Сера в почве находится в органической форме (85-90%) в составе гумуса и других органических соединений и 10-15% в форме SO_4^{2-} , которую могут усваивать корни растений. Сера органических соединений почвы в результате микробиологической деятельности превращается в минеральную, доступную растениям. Этот процесс называется сульфификацией. Оба этих процесса имеют сезонный характер с минимумом весной, максимумом летом, а к осени затухают. Высвобождение азота и серы идет в том же соотношении, в котором они находятся в гумусе и органических остатках. В настоящее время нет дифференцированных индексов степени обеспеченности почв доступной для растений серой.

Бобовые и крестоцветные не испытывают недостатка в сере при содержании в почве сульфатов более 11-14 мг/кг, злаковые – более 7 мг/кг.

2. При использовании серосодержащих удобрений следует учитывать критические уровни содержания серы в растениях и отношение N:S, по которому можно судить о недостатке серы. Критическое содержание серы в зерне пшеницы 0,17%, клубнях картофеля – 0,11, в люцерне – 0,2, в хлопчатнике в фазу бутонизации – 0,5%. Критическое отношение N:S в зерне пшеницы 14,8, ячменя – 13,1-16,4, в клевере – 15-18,5.

3. На эффективность удобрений оказывают влияние погодные условия, особенно в ранневесенний период. Прибавки от серы были выше в годы с низкими температурами весной и обильно выпадающими осадками, когда процессы сульфификации замедлялись, а минеральные запасы серы промывались в нижние слои почвы и становились недоступными растениям. Поэтому ранней весной на всех дерново-подзолистых почвах минеральная (сульфатная) сера, как и минеральный азот, находится в дефиците. Независимо от содержания в почве общей серы все яровые культуры отзываются на серные удобрения, внесенные перед посевом. А зимующие растения, особенно клевер, люцерна, хорошо отзываются на весенние подкормки серными удобрениями.

4. Наиболее эффективны на дерново-подзолистых почвах нейтральные формы серосодержащих удобрений – гипс, фосфогипс и простой суперфосфат. Действие гипса и фосфогипса равноценно. Сульфатные формы азотных, калийных удобрений и элементарная сера уступают им по эффективности из-за подкисляющего действия на почвенный раствор.

Фосфогипс существенно повышает урожай таких интенсивных культур, как кукуруза, кормовая брюква, кормовая капуста, выносящих из почвы большое количество питательных веществ, в том числе и серы, а также бобовых трав, люпина. Прибавки урожая от фосфогипса и других серных удобрений возрастают в годы с высокими урожаями культур и в годы с холодными веснами, когда сульфатация замедляется и растениям недостает минеральной серы.

5. Важное значение имеют сроки и способы применения серных удобрений, которые зависят от биологических особенностей культуры: под озимые зерновые – допосевное внесение, под яровые зерновые – под предпосевную культивацию, под клевер – ранней весной по отрастающим растениям, пропашные культуры (турнепс, кормовая капуста, картофель) примерно одинаково реагируют на допосевное и послепосевное внесение серных удобрений.

6. Большинство сельскохозяйственных культур хорошо отзывается на серу на достаточно удобренном другими макроэлементами фоне при систематическом внесении в севообороте азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Прибавки урожая от серосодержащих удобрений составляют (т/га): зерна озимой пшеницы – 0,2-0,4, озимой ржи – 0,15-0,3, ячменя – 0,2-0,3, овса – 0,15, сена клевера – до 1,5, клубней картофеля – до 3,0, корней брюквы – 3,0-5,0, турнепса – до 3,0, зелёной массы кормовой капусты – до 4,0. От применения серосодержащих удобрений повышается качество растительной продукции – увеличивается содержание белка, сухого вещества, крахмала в клубнях картофеля, доля товарной продукции.

7. Применение серосодержащих удобрений способствует большему усвоению других питательных веществ.

Оптимальной дозой серы для большинства культур является 50-60 кг/га на песчаных почвах, а под крестоцветные на суглинистых почвах – 100-120 кг/га серы. Вносят серосодержащие удобрения осенью – под зяблевую вспашку, ранней весной – под предпосевную культивацию, весной – в период отрастания трав. При дефиците серы эти удобрения можно вносить в рядки при посеве и провести некорневую подкормку 0,5-2%-м раствором сульфатов.

МИКРОУДОБРЕНИЯ И УСЛОВИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В ряде почвенно-климатических зон сельскохозяйственные культуры отзывчивы на различные микроудобрения. Чаще всего это проявляется при длительном применении высоких доз минеральных удобрений – азотных, фосфорных и калийных, особенно на осушенных торфянистых почвах, орошаемых землях и на почвах легкого гранулометрического состава. Наибольшее применение в земледелии нашей страны получили борные, марганцевые, молибденовые, медные и цинковые микроудобрения (рис. 5.10).

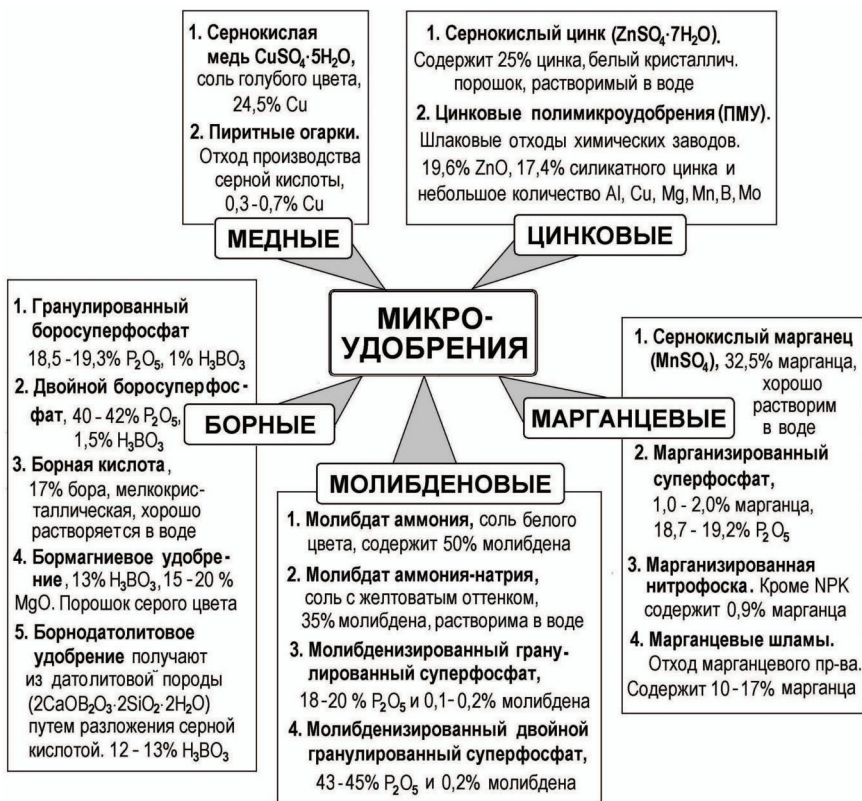


Рис. 5.10. Схема классификации микроудобрений

БОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Борные удобрения содержат бор в форме хорошо растворимой в воде борной кислоты. Наиболее широко применяются следующие удобрения.

Гранулированный боросуперфосфат – светло-серые гранулы, содержащие 18,5 - 19,3% P_2O_5 и 1% борной кислоты (H_3BO_3).

Двойной боросуперфосфат содержит 40 - 42% P_2O_5 и 1,5% борной кислоты.

Борная кислота – мелкокристаллический порошок белого цвета. Содержит 17% бора. Легко растворяется в воде.

Бормагниевое удобрение – тонкий порошок серого цвета, отход производства борной кислоты. Содержит до 13% борной кислоты и 15-20% окиси магния.

Кроме перечисленных, применяется также **борнодатолитовое удобрение**, которое получают из датолитовой породы ($2CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) путем разложения ее серной кислотой. В результате бор переходит в водорастворимую форму (H_3BO_3). В этом удобрении содержится около 2% бора или 12-13% борной кислоты. Борнодатолитовое удобрение представляет собой порошок светло-серого цвета, обладающий хорошими физическими свойствами. В большинстве случаев применяется для внесения в почву, но может использоваться и для обработки семян.

Борацитовая мука ($CaO \cdot MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 6H_2O$ содержит около 10% В) – размолотые борные руды без предварительной переработки. При мелком размолу бор в этом удобрении переходит в доступное для растений состояние.

Чаще всего нуждаются в борных удобрениях дерново-подзолистые, дерново-глеевые, красноземные, перегнойно-карбонатные почвы, выщелоченные черноземы, сероземы, торфянистые и другие почвы с низким содержанием подвижного бора. Особенно высокая эффективность борных удобрений наблюдается на дерново-глеевых и известкованных дерново-подзолистых почвах. Объясняется это, по-видимому, тем, что при известковании почв бор переходит в труднодоступную форму. Частично он закрепляется биологическим путем, так как после известкования биологические процессы усиливаются.

На легких почвах потребность многих культур в борных удобрениях проявляется при содержании бора 0,2, а на суглинистых – 0,3 мг/кг почвы. В засушливые годы она усиливается, во влажные – снижается.

Наиболее отзывчивы на бор сахарная свекла, кормовые корнеплоды, лен, клевер, люцерна, подсолнечник, гречиха, зернобобовые, хлопчатник, овощные и плодово-ягодные культуры. Слабо отзываются на борные удобрения зерновые колосовые культуры. Борные удобрения, внесенные под семенники сахарной свеклы, способствуют значительному повышению урожая семян, улучшают их качество, повышают всхожесть и энергию прорастания. Во всех опытах с внесением борных удобрений под сахарную свеклу не только повышался урожай корней, но и увеличивалась их сахаристость на 0,3 - 2,15%.

На дерново-подзолистых, дерново-глеевых, торфяно-болотных и серых лесных почвах в среднем урожай семян льна от применения борных удобрений повышается на 0,8 - 1,0, а волокна – на 0,7 - 0,8 ц/га. Качество волокна значительно улучшается.

Положительное действие борных удобрений отмечается на семенниках многолетних бобовых трав, особенно на произвесткованных дерново-подзолистых почвах. Это объясняется тем, что при известковании в сочетании с навозом и минеральными удобрениями хорошо развивается вегетативная масса, при этом даже на хорошо произвесткованных почвах не хватает бора для развития бутонов и цветков. Вот почему при недостатке бора буйное развитие массы затягивается. Борные удобрения увеличивают урожай семян клевера на 0,5 - 1,0 ц/га.

Борные удобрения могут быть использованы для внесения в почву, предпосевной обработки семян и некорневых подкормок растений. Для внесения в почву применяют борный суперфосфат и бормагние-вые удобрения. Последние можно использовать также и для опудривания семян. Для предпосевного внесения в почву под сахарную свёклу, гречиху, овощи, горох, кукурузу, хлопчатник, семенные посевы клевера, люцерны, овощных и других культур рекомендуется доза бора 1 кг/га, под лен, землянику и огурцы – 0,5 кг/га.

Бормагниеовое удобрение лучше применять на легких песчаных почвах, на которых культуры бывают весьма отзывчивы на магний. При внесении этого удобрения вразброс с заделкой в почву перед посевом доза составляет до 100-150 кг/га. Лучше смешивать это удобрение и вносить вместе с минеральными туками. При внесении в рядки при посеве сельскохозяйственных культур доза бормагниеового удобрения составляет 30 - 35 кг/га.

Обработку семян перед посевом проводят путем их опрыскивания или опудривания. Опрыскивание проводится раствором борной кислоты с концентрацией не более 0,05%. Для его приготовления

растворяют 1 г борной кислоты в 2 л воды. Этим раствором опрыскивают 1 ц семян. Опудривание семян проводят бормагниевым удобрением из расчета 300 - 500 г на 1 ц семян. Целесообразно этот прием совмещать с протравливанием семян ядохимикатами.

Некорневую подкормку растений проводят раствором борной кислоты (100 - 150 г на 300 - 400 л воды) при использовании наземных тракторных опрыскивателей. При авиаподкормках эта же доза борной кислоты растворяется в 100 л воды. Лучше борную кислоту предварительно растворять в небольшом объеме воды. Проводить подкормку сельскохозяйственных культур раствором борной кислоты необходимо при хорошо развитой вегетативной массе: сахарной свеклы – до смыкания ботвы в рядках, кукурузы – в фазе выметывания метелок; клевера, люцерны, гороха и других культур – в период бутонизации – начала цветения растений. Опрыскивать растения следует в безветренную сухую погоду, лучше в утренние и вечерние часы.

Для растений большое значение имеет содержание подвижного, водорастворимого бора, наличие которого зависит от почвообразующей породы и от гранулометрического состава почвы. Наибольшее количество бора содержится в почвах с тяжелым гранулометрическим составом, наименьшее – в песчаных и супесчаных. Усвояемая форма бора представлена в основном борной кислотой, которая слабо фиксируется почвой и может вымываться осадками. Поэтому почвы районов большого увлажнения бедны подвижными формами бора. На содержание усвояемых форм бора оказывают влияние гидраты окисей алюминия и железа. Известкование уменьшает доступность бора для растений. При недостатке бора средняя прибавка урожая корнеплода сахарной свеклы от борных удобрений составляет 2,5 - 5,0 т/га, а увеличение сбора сахара – 0,4-0,8 т/га. Прибавка урожая семян льна составляет в среднем 0,08-0,15 т/га. На серозёмных почвах Средней Азии борные удобрения на 0,15-0,45 т/га повышают урожай хлопка-сырца.

Наряду с повышением урожая бор значительно улучшает и качество продукции: в растениях увеличивается содержание белка, сахаров, крахмала, витаминов, повышается масличность семян, улучшается их всхожесть и энергия прорастания. В связи с тем что борные удобрения улучшают фотосинтез и углеводный обмен, способствуют оттоку сахаров из листьев и притоку их к репродуктивным органам, потребность в боре особенно сильно возрастает в период бутонизации – цветения растений.

МОЛИБДЕНОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Молибдат аммония – мелкокристаллическая соль белого цвета, содержит около 50% молибдена, хорошо растворяется в воде.

Молибдат аммония-натрия – соль с желтоватым оттенком, содержит около 35% молибдена, растворима в воде.

Молибденизированный гранулированный суперфосфат содержит 18 - 20% P_2O_5 и 0,1 - 0,2% молибдена.

Молибденизированный двойной гранулированный суперфосфат содержит 43 - 45% P_2O_5 и 0,2% молибдена.

Молибден содержится также в ряде промышленных отходов. Например, в шлаках заводов ферросплавов 0,2 - 0,6% молибдена, в отходах молибденовых обогатительных фабрик – 0,002 - 0,05%, а отходы, получаемые на электроламповых заводах, часто содержат 5 - 6% молибдена. Это порошок бледно-розового цвета.

Молибденовые удобрения применяют на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, осушенных торфяниках, выщелоченных чернозёмах и других почвах, бедных усвояемыми формами молибдена. Внесение молибденовых удобрений на известкованных дерново-подзолистых почвах менее эффективно, так как известь переводит содержащийся в почве молибден в легко доступные для растений формы. Эффективность молибдена возрастает на хорошем фосфорно-калийном фоне.

Наибольшую потребность в молибденовых удобрениях испытывают бобовые культуры – клевер, люцерна, соя, горох, фасоль, вика, люпин, а также некоторые овощные, и прежде всего салат, шпинат, цветная капуста, томаты. Кроме опытов с молибденом на бобовых и овощных культурах эффективность его изучалась также на сахарной свёкле, кукурузе, картофеле и других небобовых растениях. Молибденовые удобрения повышают урожай небобовых культур в меньшей мере, чем бобовых.

Молибденовые удобрения можно применять путем внесения в почву, предпосевной обработки семян, некорневой подкормки растений. Это зависит от вида удобрения, культуры и других условий. При внесении в почву дозы рассчитывают так, чтобы на 1 га приходилось около 1 кг молибдена. Например, шлаки заводов ферросплавов в тонкоизмельченном виде вносят в почву в количестве 50 - 60 кг/га, а шлаки, образующиеся при переработке окисленных руд и бедных концентратов с содержанием 3 - 8% молибдена, также вносят в почву в тонкоразмолотом виде в дозе 12 - 30 кг/га. Низкопроцентные отходы

молибденовых обогатительных фабрик целесообразно применять в районе их расположения из-за недостаточной транспортабельности.

Молибденизированный гранулированный суперфосфат целесообразно вносить в почву в рядки с семенами клевера, люцерны, гороха и других, прежде всего бобовых, культур в дозе 50 кг/га. При рядковом внесении повышается коэффициент использования фосфора и молибдена, так как они, улучшая рост растений, способствуют более полному взаимному их использованию. Молибден на фоне фосфора повышает урожай растений больше, чем без него.

Семена перед посевом опудривают или смачивают. Этот приём использования молибденовых удобрений является наиболее перспективным, так как он менее трудоемкий и требует значительно меньше препарата. Кроме этого, предпосевная обработка семян является наиболее эффективным приемом внесения молибдена. Обработку семян раствором молибдена можно проводить в канун сева или заблаговременно за несколько дней и даже месяцев. Семена после обработки необходимо хорошо просушить. Предпосевную обработку семян молибденом рекомендуется совмещать с их протравливанием. В этот приём используется около 25 г молибдена на 1 ц семян. Например, берется 50 г молибденовокислого аммония или 80 г молибденовокислого аммония-натрия, растворяется в 1,2-2 л воды и обрабатывается 1 ц семян гороха, вики, сои и других крупносеменных культур. На 1 ц семян клевера и люцерны берется 500-800 г молибденовокислого аммония, который растворяется в 3-5 л воды. Важно обработку семян провести равномерно и так, чтобы весь раствор впитался семенами. На гектарную норму семян овощных культур в зависимости от их размера и нормы высева используют от 60 до 100 г молибденовокислого аммония, причем доза 100 г относится к культурам с мелкими семенами.

Для проведения некорневой подкормки на 1 га посева расходуется 100 - 150 г молибдена. Для опрыскивания с самолета гектарную норму удобрений растворяют в 100 л воды, а при наземном опрыскивании пропашных культур – в 300-400 л. Некорневую подкормку семенников бобовых трав, гороха и других культур, возделываемых на семена или зерно, проводят в период бутонизации - начала цветения. Подкормку многолетних трав – клевера и люцерны, возделываемых на сено, проводят осенью в год посева после снятия покровной культуры, когда хорошо разовьется листовая поверхность. На естественных лугах, если в травостое содержится бобовый компонент, некорневая подкормка растений проводится в начале отрастания трав. При отсутствии бобовых в травосмеси или незначительном количестве их хороший ре-

зультат может быть получен при подсеве на лугах небольшой дозы клевера (6 - 8 кг/га) семенами, предварительно обработанными молибденом. В этом случае некорневую подкормку проводить не следует.

При применении молибдена на семенных посевах бобовых культур рекомендуется совместное внесение его с бором, которое обычно бывает более эффективным, чем раздельное их применение.

В садах, ягодниках и виноградниках растения опрыскивают весной 0,01 - 0,05%-м раствором молибденовокислого аммония.

Усвояемый растениями молибден в кислых почвах представлен в основном анионами MoO_4^{2-} , находящимися в поглощенном состоянии, и в очень небольшой степени водорастворимыми формами. Подвижность молибдена в почве и его доступность растениям определяются рядом факторов, важнейшим из которых является реакция среды. В кислой среде молибден переходит в состояние, недоступное для растений. Молибдат-ион образует с ионами железа или его гидроокисями труднорастворимые соли. Таким же образом на поведение молибдена в кислой среде действуют алюминий и марганец. Известкование способствует переходу молибдена из запасов почвы в подвижное состояние, поэтому молибденовые удобрения на известкованных дерново-подзолистых почвах менее эффективные.

Внесение фосфорных удобрений способствует увеличению подвижности молибдена в почве и доступности его растениям, так как происходит замещение ионов MoO_4^{2-} на анион фосфорной кислоты. Все процессы, усиливающие разложение органического вещества, увеличивают подвижность почвенного молибдена.

Молибденовые удобрения способствуют значительному повышению урожая. Средняя прибавка урожая зерна гороха составляет 0,2 - 0,3 т/га, сена клевера – 0,8 - 1, сена вики – 0,7 - 0,9, капусты цветной – до 3, помидоров – 7, картофеля – 2,5, свёклы кормовой – 5 т/га. Молибден значительно улучшает качество продукции: возрастает содержание белка в горохе, в сене клевера, вики, люцерны, повышаются сахаристость и содержание витаминов в овощах.

МЕДНЫЕ УДОБРЕНИЯ

В качестве медных удобрений широко используют сернокислую медь (медный купорос) и отходы промышленности, содержащие медь.

Сернокислая медь ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) – мелкокристаллическая соль голубовато-синего цвета, содержит 25,4% меди, хорошо растворима в воде.

Пиритные огарки представляют собой отход промышленности при производстве серной кислоты с содержанием меди 0,3 - 0,7%.

В их состав входят также железо и некоторые микроэлементы (марганец, кобальт, цинк, молибден и др.). Серьезным недостатком пиритных огарков является наличие в них мышьяка, свинца и других токсических элементов. Поэтому при их применении необходим систематический контроль за возможным загрязнением ими почвы, растений и сельскохозяйственной продукции.

В качестве медных удобрений можно использовать также шлаки цинкоэлектролитных и медеплавильных заводов, содержащих 0,2 - 0,5% меди, а также низкопроцентные окисленные медные руды с содержанием этого элемента около 0,9%.

Медные удобрения наиболее эффективны на торфяных, легких песчаных и дерново-глеевых почвах. На некоторых осушенных торфяниках даже при внесении полного минерального удобрения нельзя получить полноценный урожай зерновых и других культур из-за недостатка в них доступной для растений меди.

На степень подвижности меди в почве влияет ряд факторов. Подвижности меди способствуют кислая реакция почвенного раствора, малое содержание органических веществ и глинистой фракции. Процессу закрепления меди в почве способствуют высокое содержание органических веществ и карбонатов, щелочная реакция почвенного раствора и тонкий гранулометрический состав почвы, содержащей большое количество ила.

Наиболее отзывчивы на медные удобрения злаковые культуры – пшеница, ячмень, овес, многие злаковые травы. От недостатка меди в почве страдают и многие другие культуры – горох, вика, люпин, конопля, лен, свекла, овощи, плодовые насаждения и др. Дозы и способы применения медных удобрений определяются видом удобрения, особенностями культуры и другими условиями.

Медные удобрения можно вносить в почву, использовать для предпосевной обработки семян и некорневых подкормок растений. Для внесения в почву применяют пиритные огарки, шлаки, содержащие медь, и низкопроцентные окисленные медные руды. Пиритные огарки вносят в почву в количестве 5 - 6 ц/га один раз в 4 - 5 лет. В такой же дозе вносят и шлаки медеплавильных заводов, а низкопроцентные окисленные медные руды вносят в дозе 2 - 3 ц/га. Удобрения заделывают или плугом при вспашке зяби, или культиватором.

Предпосевную обработку семян проводят путем их опрыскивания или опудривания. Растворы для опрыскивания семян используют в концентрации 0,1 - 0,2%. При этом расходуется 6 - 8 л раствора на 1 ц семян. Для опудривания 1 ц семян рекомендуется брать 100 - 200 г

хорошо просушенного и тонко растертого медного купороса. Опудривать семена целесообразно совместно с ядохимикатами, которые используют для протравливания. Опыливание медным купоросом особенно удобно для льна, семена которого при намачивании ослизняются.

Для некорневой подкормки применяют 200 - 300 г сернокислой меди (концентрация раствора 0,02 - 0,05%). При наземном опрыскивании пропашных культур расходуют 300 - 400 л/га, при авиаподкормках – 100 л/га.

При недостатке усвояемых форм меди в почве медные удобрения дают высокие прибавки урожая сельскохозяйственных культур: урожай яровой пшеницы повышается на 0,2 - 0,5 т/га, ячменя – на 0,2 - 0,3, овса – на 0,4 - 0,6, зеленой массы кукурузы – на 2,1, а початков – на 9 - 13%. Наряду с повышением урожая медные удобрения улучшают и качество продукции: возрастает содержание белка в зерне злаковых культур, витаминов в овощах, фруктах и ягодах, улучшается качество волокна льна и конопли и т.д.

МАРГАНЦЕВЫЕ УДОБРЕНИЯ

В качестве марганцевых удобрений применяют *сернокислый марганец* ($MnSO_4$) – мелкокристаллическую сухую безводную соль с содержанием марганца 32,5%, хорошо растворимую в воде.

Марганизированный суперфосфат – гранулы светло-серого цвета, содержащие 1,0 - 2,0% марганца и 18,7 - 19,2% P_2O_5 . Получают его путем добавления при грануляции к обычному порошковидному суперфосфату 10 - 15% марганцевого шлама.

Марганизированная нитрофоска кроме азота, фосфора и калия содержит в своем составе около 0,9% марганца, который хорошо усваивается растениями.

Марганцевые шламы – отходы марганцевого производства с содержанием марганца от 10 до 17%. В них содержится также около 20% кальция и магния, 25 - 28% кремнекислоты, 8 - 10% полуторных окислов и небольшое количество фосфора.

Особенно широко марганцевые удобрения применяются на Украине. Положительный эффект от применения марганцевых удобрений отмечается на черноземах, карбонатных, солонцеватых и каштановых почвах, содержащих мало усвояемого для растений марганца.

К числу почв, нуждающихся в применении марганцевых удобрений, относятся также карбонатные черноземы, каштановые и бурые полупустынные почвы в Поволжье, на Северном Кавказе, Урале и в Западной Сибири. На северных дерново-подзолистых почвах эти

удобрения, как правило, не дают положительного эффекта, а в ряде случаев отрицательно влияют на растения. В то же время К.К. Гедройд и О.К. Кедров-Зихман указывали на положительное действие марганца на известкованных почвах. Не всегда марганцевые удобрения положительно действуют и на различных типах почв южной половины европейской части нашей страны. По-видимому, особое внимание на применение этих удобрений следует обращать на щелочных, нейтральных и карбонатных почвах, легких по гранулометрическому составу.

Марганец в почвах находится в двух-, трех- и четырехвалентном состоянии. Растениям доступны соединения двухвалентного марганца. Соединения марганца других валентностей очень неустойчивы, особенно его трехвалентная форма. В восстановительной среде присутствует Mn^{4+} , образующий труднорастворимые соединения. При обильном орошении и в дождливую погоду создаются анаэробные условия, усиливаются восстановительные процессы, в почвах увеличивается содержание доступного марганца и снижается действие марганцевых удобрений. На орошаемых землях марганец не применяется. В сухую погоду, особенно на карбонатных почвах со щелочной реакцией среды, двухвалентный марганец окисляется до трех- и четырехвалентной форм, недоступных растениям. В этих условиях повышается эффективность марганцевых удобрений. Подвижность марганца повышается при внесении в почву аммиачных форм азотных удобрений, в связи с чем поступление этого элемента в растения увеличивается.

Применение извести, а также щелочных форм удобрений, наоборот, уменьшает подвижность почвенного марганца и поступление его в растения. Дерново-подзолистые почвы содержат, как правило, наибольшее количество марганца. От недостатка марганца в почве особенно сильно страдают сахарная, кормовая и столовая свекла, пшеница, кукуруза на зерно, ячмень, люцерна, овощные и плодовые.

Как и другие микроудобрения, марганцевые удобрения применяют при внесении их в почву, при предпосевной обработке семян и для внекорневой подкормки. Для внесения в почву под сахарную свеклу, зерновые, кукурузу, овощные, масличные и другие культуры применяют марганезированный суперфосфат в дозе 2-3 ц/га и заделывают плугом при вспашке или во время предпосевной культивации. Можно вносить его и в рядки при посеве в дозе 0,5-1 ц/га. Также вносят и марганезированную нитрофоску, дозу ее рассчитывают по содержанию азота, фосфора и калия. До посева можно вносить и марганцевый шлам в дозе 0,5-2 ц/га.

Предпосевную обработку семян можно проводить путем сухого опудривания. Для лучшего прилипания к семенам серноокислый марганец хорошо просушивают, тонко растирают и смешивают с тальком. Обработку семян сухим порошком серноокислого марганца можно проводить совместно с протравливанием ядохимикатами. Некорневую подкормку проводят слабым раствором серноокислого марганца. При опрыскивании с самолета одного гектара посева 150-200 г серноокислого марганца растворяют в 100 л воды, а при использовании наземных опрыскивателей эту же дозу соли растворяют в 300-400 л.

Марганцевые удобрения повышают урожай сахарной свёклы в среднем на 0,9-1,6 т/га и увеличивают сахаристость корней на 0,1-0,6%, способствуют повышению урожая зерновых культур в среднем на 0,15-0,35 т/га, силосной массы кукурузы с початками молочно-восковой спелости – на 4,0-7,0, картофеля – на 2,5-3,5, томатов – на 3-4 т/га. Значительно повышается также урожай хлопчатника, многих овощных, плодово-ягодных и других культур.

Наряду с повышением урожая марганцевые удобрения способствуют улучшению качества получаемой продукции. Повышается содержание белка, сахаров, сырого протеина, клейковины, жиров и витаминов.

ЦИНКОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

В качестве цинковых удобрений применяют серноокислый цинк и различные отходы промышленности, содержащие цинк.

Серноокислый цинк ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) содержит 25% цинка и представляет собой белый кристаллический порошок, хорошо растворимый в воде.

Цинковые полимикродобрения (ПМУ) – это шлаковые отходы химических заводов в виде тонкого порошка темно-серого цвета. Состав их непостоянен. В среднем цинковые ПМУ содержат 19,6% окиси цинка и 17,4 – силикатного цинка, 21% окиси железа, а также небольшое количество алюминия, меди, магния, марганца, бора, кальция, кремния, следы молибдена и других микроэлементов.

Шлаки медеплавильных заводов содержат 2-7% цинка.

Цинковые удобрения чаще всего эффективны на дерново-карбонатных, перегнойно-карбонатных, каштановых почвах Закавказья, бурых, серозёмных, серозёмно-луговых почвах и чернозёмах, а также на песчаных почвах. Кислые дерново-подзолистые и торфяно-глеевые почвы отличаются, как правило, повышенным содержанием цинка и не нуждаются во внесении цинковых удобрений.

В настоящее время цинковые удобрения применяются главным образом в Средней Азии под хлопчатник и в Предкавказье под кукурузу. В первую очередь их применяют на почвах, имеющих реакцию, близкую к нейтральной, богатых органическим веществом. Подобные почвы распространены главным образом в Среднем и Нижнем Поволжье, на Северном Кавказе, в Оренбургской области и Красноярском крае РФ.

Эффективность цинковых удобрений зависит от содержания подвижного цинка в почве. Известкование почвы уменьшает растворимость цинка и, следовательно, доступность его растениям. Снижает доступность цинка растениям и органическое вещество. Цинк, вступая в обменные реакции с гуминовыми и фульвокислотами, а также с минеральными ионообменниками, закрепляется почвой благодаря образованию плохо диссоциирующих соединений. Подвижность цинка в почве снижается и в присутствии фосфатов, так как образующийся фосфат цинка малорастворим. Растворимость цинка повышается при увеличении содержания в почвенном растворе минеральных солей, CO_2 и в присутствии соды.

Наиболее эффективны цинковые удобрения при внесении их под кукурузу на зерно, плодовые культуры, виноградники, сахарную свёклу, люцерну и некоторые овощные культуры.

Цинковые удобрения вносят в почву до посева, обрабатывают семена перед посевом и проводят некорневую подкормку растений. При внесении в почву применяют дозу цинка 3-5 кг/га. Для этого лучше всего использовать шлаки медеплавильных заводов в дозе 0,5-1,5 ц/га, в зависимости от содержания в них цинка. Иногда в этом приеме используют и серноокислый цинк. При внесении в почву цинк часто переходит в трудноусвояемую растениями форму. Поэтому за последние годы применяются фритты (сплавление битого стекла с микроэлементами с последующим размалыванием) и хелаты (комплексные соединения, в которых микроэлементы связаны с органическим веществом). В этих соединениях микроэлементы хорошо растворяются в воде и вполне доступны растениям, но не закрепляются почвой.

Предпосевная обработка семян проводится путем их опрыскивания или опудривания серноокислым цинком. При обработке семян используют раствор в концентрации 0,05-0,1%. Для этого 2-4 г серноокислого цинка растворяют в 4 л воды и этим раствором смачивают семена. На 1 ц семян требуется 6-8 л раствора.

Опудривание семян проводят измельченным в порошок серноокислым цинком. Для лучшего прилипания к семенам серноокислый

цинк смешивают с тальком. Для предпосевного опудривания семян можно использовать и цинковые полимикродобрения. Для обработки 1 ц семян расходуется 400 - 500 г этого удобрения.

Некорневую подкормку обычно проводят раствором сернокислого цинка. Для подкормки 1 га посева сельскохозяйственных культур растворяют 100 г сернокислого цинка в 100 л воды при опрыскивании с самолета. При некорневой подкормке пропашных культур наземными опрыскивателями эту же норму сернокислого цинка растворяют в 300-400 л воды. Некорневые подкормки плодовых культур проводят по спящим почкам (2-3%-м раствором соли) и в период вегетации растений (0,05-0,1%-м раствором соли). Виноградники опрыскивают более слабым раствором (0,05%-м) в период вегетации. В раствор сернокислого цинка добавляют 0,2-0,5%-ю гашеную известь для нейтрализации кислотности раствора соли, чтобы избежать ожога листьев.

Внесение цинковых удобрений повышает урожай зерна кукурузы на 0,5-0,7 т/га, хлопка-сырца – на 0,2-0,4, зерна пшеницы – на 0,15-0,2 т/га. При цинковом голодании растений применение цинковых удобрений заметно повышает урожай также чеснока, гороха, фасоли, томатов. Одновременно повышается сахаристость плодов томатов, увеличивается содержание в них витамина С, снижается заболеваемость бурой пятнистостью, повышается сбор красных плодов. Цинковые удобрения повышают также устойчивость картофеля к фитофторе и другим заболеваниям.

КОБАЛЬТОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Основными кобальтовыми удобрениями являются *сернокислый кобальт* $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (20-21%) и хлористый кобальт $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (24,8%), а также нитрат кобальта $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (20,3%). При недостатке кобальта ослабляются физиолого-биохимические процессы и рост растений; снижается продуктивность и ухудшается качество урожая. Очень важна обогащённость кобальтом растительной продукции. При содержании кобальта в кормах менее 0,07 мг на 1 кг сена животные заболевают акаобальтозом, резко снижают продуктивность, а при остром недостатке кобальта погибают. В связи с этим возникает необходимость в применении кобальтовых удобрений на лугах и пастбищах. С урожаем различных сельскохозяйственных культур выносятся от 5 до 50 г/га кобальта.

Наиболее бедны кобальтом дерново-подзолистые легкие песчаные почвы. На известкованных почвах потребность в кобальте возрастает. Положительное действие кобальтовых удобрений проявляется на

почвах, хорошо обеспеченных всеми основными элементами питания с реакцией почвенного раствора, близкой к нейтральной. Сюда относятся чернозёмы, окультуренная дерново-подзолистая почва, а также серозёмы и каштановые почвы. На почвах, имеющих нейтральную или близкую к ней реакцию, кобальт находится в малоподвижной форме, недоступной растениям. Кобальтовые удобрения эффективны на почвах Нечерноземной зоны, содержащих 1,0-1,1 мг/кг подвижного кобальта, Чернозёмной зоны – 0,6-2,0, в зоне серозёмов и каштановых почв – 1,0-1,5, в затопляемых почвах рисовых полей Кубани – 0,8-1,2 мг/кг. Наиболее чувствительны к недостатку кобальта бобовые культуры, сахарная свекла, пшеница, рис и виноград.

Принимая решение о применении кобальтовых удобрений, необходимо помнить, что растения в одинаковой степени чувствительны как к недостатку, так и избытку этого элемента в почве. Высокое его содержание в почве может вызвать кобальтовый токсикоз. Такое явление, например, у риса наблюдали при содержании микроэлемента в почве более 25 мг/кг.

В почву кобальтовые удобрения вносят в количестве 0,5-2 кг/га в пересчете на элемент. Для обработки семян используют 0,5%, для некорневой подкормки 0,1% водные растворы кобальта. Некорневую подкормку проводят не позднее фазы цветения растений из расчета расхода рабочей жидкости 300 л/га, обработку семян зерновых культур лучше выполнять полусухим способом (10 л/т).

Лучшими концентрациями кобальта для некорневой подкормки гороха являются 0,05%-й, а для сахарной свёклы – 0,02%-й раствор. Горох подкармливают в фазе 6-7 листьев, а сахарную свеклу – при смыкании рядков.

СЕЛЕНСОДЕРЖАЩИЕ УДОБРЕНИЯ

Селен участвует в реакциях образования хлорофилла, синтезе трикарбоновых кислот, а также в метаболизме длинноцепочных жирных кислот. Все это, а также присутствие в растительных клетках ферродоксинов, содержащих вместо серы селен, свидетельствует об участии этого элемента в процессах фотосинтеза. Селен оказывает антагонистическое влияние на поглощение и транспорт тяжелых металлов растениями, повышает устойчивость к водному стрессу, соле- и засухоустойчивости. Как избыток, так и недостаток селена в питательной среде одинаково отрицательно сказываются на росте и развитии растений. При избытке селена наблюдается накопление свободных растворимых аминокислот и торможение синтеза белка.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ

Критерием степени обеспеченности растений микроэлементами (следовательно, и необходимости внесения микроудобрений) является содержание их в почве. Причем важно не валовое количество микроэлементов в почве, а содержание их в подвижной форме, доступной для растений. Степень подвижности микроэлементов в почве зависит от материнской породы, биологической активности и свойств почвы: реакции среды, карбонатности, гранулометрического и минералогического состава, содержания гумуса, полуторных окислов, применения комплекса агротехнических мероприятий, особенно водной и химической мелиорации почвы, применения органических и минеральных удобрений.

Подвижные формы микроэлементов в почве подразделяются на слабоподвижные, которые определяются в вытяжках сильных кислот; среднеподвижные – в слабых кислотах и щелочах, в кислотнo-буферных растворах, легкорастворимые – в водных и углекислотных вытяжках. Важно, чтобы избранная вытяжка при определении подвижной формы того или иного микроэлемента в наибольшей степени соответствовала усвояющей способности конкретного растения и объективно отражала степень нуждаемости данного растения в микроудобрении.

Определяющим критерием оценки пригодности различных вытяжек для суждения об обеспеченности почв микроэлементами является полевой опыт с микроудобрениями, в котором устанавливается соответствие между содержанием в почве подвижных форм микроэлементов и эффективностью микроудобрений.

В нашей стране существует дифференцированный подход к выбору методов определения подвижных микроэлементов в почве в зависимости от типа почвы, свойств и агрохимической характеристики.

1. Для почв дерново-подзолистого типа наиболее широкое распространение нашла система вытяжек, предложенная Я.В.Пейве и Г.Я.Ринькисом. Разработана шкала обеспеченности почв микроэлементами (табл. 5.14).

2. При анализе лесных, чернозёмных, каштановых и других почв, включая карбонатные и засоленные, для определения подвижных форм Mn, Zn, Cu, Co используют групповой экстрагент – ацетатно-аммонийный буферный раствор pH 4,8 (по Крупскому-Александровой); бор определяют в водной вытяжке (при кипячении), молибден –

5.14. Характеристика почв по содержанию подвижных форм микроэлементов, мг/кг почвы

Обеспеченность почвы микроэлементами	В в водной вытяжке	Мо в оксалатной вытяжке	Сu в вытяжке 1 н. КCl	Mn в вытяжке 0,1 н. H ₂ SO ₄	Zn в вытяжке 1 н. KCl	Со в вытяжке 1 н. HNO ₃
Очень бедная	< 0,1	< 0,05	< 0,3	< 1	< 0,2	< 0,2
Бедная	0,1-0,2	0,05-0,15	0,3-1,5	1-10	0,2-1	0,2 - 1
Средняя	0,3-0,5	0,2-0,25	2-3	20-50	2-3	1,5 - 3
Богатая	0,6-1,0	0,3-0,5	4-7	60-100	4-5	4 - 5
Очень богатая	> 1,0	> 0,5	> 7	> 100	> 5	> 5

в оксалатной вытяжке (по Григгу).

3. При анализе карбонатных и засоленных почв (сероземов, бурых, болотно-луговых и др.) для извлечения цинка, меди и кобальта используют 1 н. ацетатно-натриевый буферный раствор с рН 3,5 (по Кругловой); молибден из почвы извлекают оксалатным буферным раствором с рН 3,3 (по Григгу); бор – в водной вытяжке.

По требовательности растений к микроэлементам выделяют три группы (табл. 5.15):

1. Культуры невысокого выноса микроэлементов и сравнительно высокой усваивающей способности: зерновые хлеба, кукуруза, зернобобовые, картофель.

2. Культуры повышенного выноса микроэлементов с высокой и средней усваивающей способностью: корнеплоды, овощи, травы (бобовые, злаковые, разнотравье), подсолнечник, хлопчатник, сады и виноградники.

3. Культуры большого выноса микроэлементов: все перечисленные выше культуры в условиях высокого агротехнического фона (применение орошения, высоких норм удобрений, использование лучших сортов, своевременная обработка почв и уход за растениями и пр.).

Группировка почв по обеспеченности тех же растений микроэлементами (Mn, Cu, Zn, Co), извлекаемыми из почв групповым экстрагентом – ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8 (по Крупскому-Александровой), приведена в табл. 5.16.

Содержание подвижного марганца в почвах, извлеченного ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8, в среднем в 3-4 раза

5.15. Группировка почв Нечерноземной зоны по обеспеченности растений микроэлементами (экстрагенты по Пейве - Ринькису)

Обеспеченность	Содержание микроэлементов, мг/кг почвы					
	Mn (0,1н. H ₂ SO ₄)	Cu (1н. HCl)	Zn (1н. KCl)	Co (1н. HNO ₃)	Mo, по Григгу	B, H ₂ O
<i>Невысокий вынос микроэлементов</i>						
Низкая	< 15	< 0,5	< 0,3	< 0,3	< 0,05	< 0,1
Средняя	15 - 30	0,5 - 1,5	0,3 - 1,5	0,3 - 1	0,05 - 0,15	0,1 - 0,3
Высокая	> 30	> 1,5	> 1,5	> 1	> 0,15	> 0,3
<i>Повышенный вынос микроэлементов</i>						
Низкая	< 45	< 2	< 1,5	< 1	< 0,2	< 0,3
Средняя	45 - 70	2 - 4	1,5 - 3	1 - 3	0,2 - 0,3	0,3 - 0,5
Высокая	> 70	> 4	> 3	> 3	> 0,3	> 0,5
<i>Высокий вынос микроэлементов</i>						
Низкая	< 100	< 5	< 3	< 3	< 0,3	< 0,5
Средняя	100 - 150	5 - 7	3 - 5	3 - 5	0,3 - 0,5	0,5 - 1
Высокая	> 150	> 7	> 5	> 5	> 0,5	> 1

5.16. Группировка почв по обеспеченности растений микроэлементами (экстрагент: ацетатно-аммонийный буфер с pH 4,8 по Крупскому–Александровой)

Обеспеченность	Содержание микроэлементов, мг/кг почвы			
	Mn	Cu	Zn	Co
<i>Невысокий вынос микроэлементов</i>				
Низкая	< 5	< 0,1	< 1	< 0,07
Средняя	5-10	0,1-0,2	1-2	0,07-0,15
Высокая	> 10	> 0,2	> 2	> 0,15
<i>Повышенный вынос микроэлементов</i>				
Низкая	< 10	< 0,2	< 2	< 0,15
Средняя	10-20	0,2-0,5	2-5	0,15-0,30
Высокая	> 20	> 0,5	> 5	> 0,30
<i>Высокий вынос микроэлементов</i>				
Низкая	< 20	< 0,5	< 5	< 0,3
Средняя	20-40	0,5-1	5-10	0,3-0,7
Высокая	> 40	> 1	> 10	> 0,7

меньше, чем в вытяжке 0,1 н. H₂SO₄ (по Пейве-Ринькису); содержание цинка, наоборот, в ацетатно-аммонийной вытяжке в 2 - 4 раза больше, чем в растворе нейтральной соли (1 н. KCl); меди и кобальта буферным раствором извлекается мало, в среднем в 6-8 раз меньше (при

колебаниях от 3 до 15 раз), чем 1 н. раствором HCl и 1 н. HNO₃.

В Донском государственном аграрном университете разработана шкала обеспеченности цинком карбонатных чернозёмов и каштановых почв (табл. 5.17).

Для карбонатных почв Узбекистана (серозёмы и др.) рекомендованы следующие величины «предельных чисел» нормального обеспечения хлопчатника подвижными формами микроэлементов (в вытяжке ацетата натрия с рН 3,5):

	мг/кг почвы
Марганец	80 - 100;
Медь	0,4 - 0,8;
Цинк	1,5 - 2,5;
Кобальт	0,15 - 0,25;
Бор (водорастворимый)	0,8 - 1,2;
Молибден (оксалатно-растворимый)	0,25 - 0,35.

В табл. 5.18 дана обеспеченность разных почв подвижными микроэлементами.

Внесение микроэлементов обеспечивает значительную прибавку урожая важнейших сельскохозяйственных культур (табл. 5.19).

Важно также знать, в каком количестве накапливаются микроэлементы в растениях, сельскохозяйственной продукции и кормах. Например, существуют пороговые концентрации для каждого микроэлемента в растениях, используемых в качестве кормов (табл. 5.20).

При содержании микроэлементов выше или ниже пороговых концентраций организм теряет способность регулировать процессы обмена веществ, появляются эндемические болезни. В современных условиях ведения сельского хозяйства с интенсивным применением различных средств химизации знание пороговых концентраций микроэлементов в растениях и кормах приобретает особенно актуальное

5.17. Шкала обеспеченности цинком карбонатных чернозёмов и каштановых почв (Е.В. Агафонов, 2012)

Обеспеченность	Содержание подвижного фосфора в почве, мг/кг почвы (по Мачигину)			
	<15	16 - 30	31 - 45	45 - 60
	Содержание подвижного цинка в почве, мг/кг почвы (в ААБ, рН 4,8)			
Низкая	< 0,15	0,16 - 0,25	0,26 - 0,35	0,36 - 0,45
Средняя	0,16 - 0,25	0,26 - 0,35	0,36 - 0,45	0,46 - 0,60
Достаточная	0,26 - 0,35	0,36 - 0,45	0,46 - 0,60	0,61 - 0,75

5.18. Градации обеспеченности различных почв подвижными формами микроэлементов, мг/кг почвы

Микро-элемент	Биогео-химическая зона	Почвенная вытяжка	Обеспеченность почвы				
			очень бедная	бедная	средняя	богатая	очень богатая
B	таежно-лесная	водная	< 0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,7	0,7 - 1,1	> 1,1
Cu		1 н. HCl	< 0,9	0,9 - 2,1	2,1 - 4,0	4,0 - 6,6	> 6,6
Mo		оксалатная	< 0,08	0,08-0,14	0,14-0,30	0,30-0,46	> 0,46
Mn		0,1 н. H ₂ SO ₄	< 1,0	1,0 - 25	25 - 60	60 - 100	> 100
Co		1,0 н. HNO ₃	< 0,4	0,4 - 1,0	1,0 - 2,3	2,3 - 5,0	> 5,0
Zn		1,0 н. KCl	< 0,2	0,2 - 0,8	0,8 - 2,0	2,0 - 4,0	> 4,0
B	лесостепная и степная	водная	< 0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,8	0,8 - 1,2	> 1,2
Cu		1н. HCl	< 1,4	1,4 - 3,0	3,0 - 4,4	4,4 - 5,6	> 5,6
Mo		оксалатная	< 0,1	0,1-0,23	0,23-0,38	0,38-0,55	> 0,55
Mn		0,1 н. H ₂ SO ₄	< 25	25 - 55	55 - 90	90 - 170	> 170
Co		1,0 н. HNO ₃	< 1,0	1,0 - 1,8	1,8 - 2,9	2,9 - 3,6	> 3,6
Zn		1,0 н. KCl	< 0,15	0,15 - 0,3	0,3 - 1,0	1,0 - 2,0	> 2,0
Zn, Cu, Mn, Co		ацетатно-аммонийный буфер	< 4,0	4,0 - 6,0	6,0 - 0,8	8,8	–
B	сухостепная и полупустынная	водная	< 0,4	0,4 - 1,2	0,4 - 1,2	1,2 - 1,7	> 4,5
Cu		1,0 н. HCl	< 1,0	1,0 - 1,8	1,8 - 2,0	3,0 - 7,0	> 6,0
Mo		1,0 н. KNO ₃	< 0,05	0,05 - 0,15	0,15 - 0,5	0,5 - 12	> 1,2
Mn		+ HNO ₃	< 6,6	6,6 - 12,0	12 - 30	30 - 90	> 90
Co		(по Гюль-ахмедову)	< 0,6	0,8 - 1,3	1,3 - 2,4	2 - 4	–
Zn			< 0,3	0,3 - 1,3	1,3 - 4,0	4,0 - 16,4	> 16,4

значение.

Дозы и способы применения микроудобрений под основные сельскохозяйственные культуры представлены в табл. 5.21.

Для условий Северо-Кавказского региона разработаны и рекомендуются дозы микроудобрений под полевые культуры в зависимости от способов их внесения и содержания микроэлементов в почве (Подколзин, Демкин, Бурлай, 2002) (табл. 5.22).

Существенное значение микроэлементы имеют в защищенном грунте. Наиболее важны – бор, молибден, медь, марганец, цинк, кобальт. Способы применения: допосевное внесение в грунт, предпосевная обработка семян и некорневые подкормки. Рекомендуемые примерные дозы микроудобрений под овощные культуры представлены

5.19. Влияние микроэлементов на урожайность сельскохозяйственных культур в основных районах их применения

Микроэлемент	Культура	Почвы	Прибавка урожая от микроэлемента, т/га
Бор	Сахарная свёкла: корнеплоды семена	чернозёмы выщелоченные и оподзоленные	2,0 - 4,0
			0,2 - 0,3
	Лён: соломка семена	дерново-глеевые и торфяные	0,06 - 0,15
			0,04 - 0,10
Молибден	Клевер: сено	дерново-подзолистые и серые лесные	0,6 - 1,3
	семена		0,05 - 0,08
	Капуста, семена	дерново-подзолистые суглинистые	0,23 - 0,26
	Викоовсяная смесь, сено		0,60 - 0,85
Медь	Ячмень, зерно	торфяно-болотные	0,6 - 1,5
	Пшеница, зерно		0,5 - 1,3
Марганец	Сахарная свёкла, корнеплоды	чернозёмы выщелоченные и оподзоленные	1,0 - 2,0
	Озимая пшеница, зерно		0,15 - 0,35
	Подсолнечник, семена		0,23 - 0,27
Цинк	Кукуруза, зерно	карбонатные чернозёмы, перегнойно-карбонатные почвы	0,5 - 0,7
	Пшеница, зерно		0,15 - 0,20

5.20. Пороговые концентрации химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных

Химический элемент	Содержание элементов в пастбищных растениях, мг/кг сухого вещества, корма			
	среднее	недостаточное (нижняя пороговая концентрация)	оптимальное*	избыточное (верхняя пороговая концентрация)
I	0,18	до 0,07	0,07 - 1,2	>0,8 - 2,0 и выше
Со	0,32	до 0,1 - 0,25	0,25 - 1	>1
Мо	1,25	до 0,2	0,2 - 2,5	>2,5 - 3 и выше
Си	6,40	до 3 - 5	3 - 12	>20 - 40 и выше
Zn	21,00	до 20 - 30	20 - 60	>60 - 100 и выше
Mn	73,00	до 20	20 - 60	>60 - 70 и выше

Примечание. * Пределы при нормальной регуляции функций у животных различных видов в различных биологических состояниях

5.21. Дозы и способы применения различных микроудобрений для основных сельскохозяйственных культур

Микроудобрения	Культуры	Дозы	Способ применения
Борный суперфосфат (В – 0,2%, P ₂ O ₅ – 20%)	сахарная свекла, кормовые корнеплоды, зернобобовые, гречиха, лён	2 - 3 ц/га	в почву
		1 - 1,5 ц/га	в рядки
Бормагниевое удобрение (В – 22%, MgO – 14%)		20 кг/га	в почву
Борная кислота (В – 17%)	семенники многолетних трав и овощных культур	500 г /га	некорневая подкормка
	плодовые и ягодные насаждения	400 - 800 г/га в 400 - 800 л воды	некорневая подкормка
Молибденизиро- ванный суперфосфат (Mo – 0,1%, P ₂ O ₅ -20%)	зернобобовые	50 кг/га	в рядки
Молибденово- кислый аммоний (Mo – 52%)	горох, вика, соя и другие крупносемянные	25 - 50 г/ц семян в 2 л воды	опрыскивание семян
	клевер, люцерна	500 - 800 г/ц семян в 3 - 5 л воды	опрыскивание семян
	горох, кормовые бобы, вика, клевер, люцерна	200 г /га	некорневая подкормка
	плодовые, ягодные и виноградные насаждения	100 - 200 г /га	некорневая подкормка
Сернокислая медь (Cu – 25,4%)	пшеница, ячмень, конопля, сахарная свекла, кормовые бобы, горох	50 - 100 г/ц семян	опудривание семян
		200 - 300 г /га	некорневая подкормка
	плодовые, ягодные и виноградные насаждения	300 - 600 г/га	некорневая подкормка
Марганезированный суперфосфат (Mn – 1 - 2%, P ₂ O ₅ – 20%)	сахарная свекла, зерновые, кукуруза, овощные, масличные	2 - 3 ц/га	в почву
		0,5 - 1 ц/га	в рядки
Сернокислый марганец (Mn – 22,8%)	пшеница, кукуруза, горох	5O ₂ + 300 г талька на 1 ц семян	опудривание семян
	сахарная свекла	100 г + 400 г таль- ка на 1 ц семян	опудривание семян
Сернокислый марганец (Mn – 22,8%)	пшеница, кукуруза, горох, сахарная свекла и другие культуры	200 г/га	некорневая подкормка
	плодовые, ягодные и виноградные насаждения	60 - 100 г/га	некорневая подкормка
Сернокислый цинк (Zn – 22%)	зерновые, горох, кукуруза сахарная свекла, подсолнечник	100 г/га	некорневая подкормка
	плодовые, ягодные и виноградные насаждения	1 - 2 кг /га	некорневая подкормка
ПМУ-7 (окиси цинка 19,6%, силикатного цинка – 17,4% и другие микроэлементы)	кукуруза	400 г на 1 ц семян	опудривание семян

5.22. Дозы и способы внесения микроудобрений под полевые культуры в зависимости от содержания микроэлементов в почве

Культура	Содержание в почве, мг/кг	Дозы и способы внесения, кг/га д.в.			
		до посева	в рядки	некорневая подкормка	предпосевная обработка семян
<i>Марганец</i>					
Пшеница	< 10	3,0	1,5	0,05	0,03
	10 - 20	2,5	1,0	0,04	0,03
	> 20	–	–	–	–
Ячмень	< 10	3,0	1,5	0,05	0,03
	10 - 20	2,5	1,0	0,04	0,03
	> 20	–	–	–	–
Кукуруза	< 10	3,0	1,5	0,05	0,008
	10 - 20	2,5	1,0	0,04	0,008
	> 20	–	–	–	–
Сахарная свёкла	< 10	3,0	1,5	0,05	0,005
	10 - 20	2,5	1,0	0,04	0,005
	> 20	–	–	–	–
Подсолнечник	< 10	3,0	1,5	0,05	0,001
	10 - 20	2,5	1,0	0,04	0,001
	> 20	–	–	–	–
Люцерна	< 10	3,0	1,5	0,05	–
	10 - 20	2,5	1,0	0,04	–
	> 20	–	–	–	–
<i>Цинк</i>					
Пшеница	< 2	3,0	–	0,02	0,02
	2,1 - 5,0	2,5	–	0,01	0,02
	> 5,0	–	–	–	–
Ячмень	< 2	3,0	–	0,02	0,02
	2,1 - 5,0	2,5	–	0,01	0,02
	> 5,0	–	–	–	–
Кукуруза	< 2	3,0	–	0,04	0,003
	2,1 - 5,0	2,5	–	0,03	0,003
	> 5,0	–	–	–	–
Сахарная свёкла	< 2	3,0	–	0,04	0,003
	2,1 - 5,0	2,5	–	0,03	0,003
	> 5,0	–	–	–	–
Подсолнечник	< 2	3,0	–	–	–
	2,1 - 5,0	2,5	–	–	–
	> 5,0	–	–	–	–
Люцерна	< 2	3,0	–	–	0,001
	2,1 - 5,0	2,5	–	–	0,001
	> 5,0	–	–	–	–

Культура	Содержание в почве, мг/кг	Дозы и способы внесения, кг/га д.в.			
		до посева	в рядки	некорневая подкормка	предпосевная обработка семян
<i>Бор</i>					
Горох	< 0,33	0,5	0,15	0,12	0,012
	0,34 - 0,7	0,4	0,1	0,10	0,012
	> 0,7	–	–	–	–
Подсолнечник	< 0,33	0,5	0,15	0,12	0,001
	0,34 - 0,7	0,3	0,10	0,10	0,001
	> 0,7	–	–	–	–
Свекла	< 0,33	0,5	0,15	0,12	–
	0,34 - 0,7	0,3	0,10	0,08	–
	> 0,7	–	–	–	–
<i>Молибден</i>					
Горох	< 0,10	–	0,05	0,10	0,037
	0,11 - 0,22	–	0,04	0,05	0,037
	> 0,22	–	–	–	–
Люцерна	< 0,10	–	–	0,10	0,10
	0,11 - 0,22	–	–	0,05	0,10
	> 0,22	–	–	–	–
Свекла	< 0,10	–	–	–	–
	0,11 - 0,22	–	–	–	–
	> 0,22	–	–	–	–
<i>Медь</i>					
Пшеница	< 0,20	1,00	–	0,075	0,062
	0,21 - 0,50	0,80	–	0,05	0,062
	> 0,51	–	–	–	–
Ячмень	< 0,20	1,00	–	0,075	0,062
	0,21-0,50	0,80	–	0,05	0,062
	> 0,51	–	–	–	–
Свекла	< 0,20	1,00	–	0,075	0,004
	0,21 - 0,50	0,80	–	0,05	0,004
	> 0,51	–	–	–	–
<i>Кобальт</i>					
Свекла	< 0,15	–	–	0,15	–
	0,16 - 0,30	–	–	0,10	–
	> 0,30	–	–	–	–
Ячмень	< 0,15	–	–	0,15	–
	0,16 - 0,30	–	–	0,10	–
	> 0,30	–	–	–	–
Люцерна	< 0,15	–	–	0,20	–
	0,16 - 0,30	–	–	0,10	–
	> 0,30	–	–	–	–

5.23. Дозы микроудобрений под овощные культуры
в защищенном грунте

Удобрения	Внесено в грунт удобрения, кг/га		Намачивание семян	Некорневая подкормка	Полив рассады
	общее количество	в расчёте на элемент			
Бормагниевые	43	1	–	–	–
Борная кислота	6	1 (один раз в 3 - 5 лет)	0,02 - 0,04	0,02 - 0,05	0,005 - 0,03
Серноокислая медь	12	3	0,005 - 0,03	0,01 - 0,05	0,005 - 0,03
Серноокислый марганец	10 - 12	3	0,02 - 0,2	0,05 - 0,2	0,01
Молибденово-кислый аммоний	0,4 - 0,6	0,2 - 0,3	0,01 - 0,08	0,03 - 0,05	0,02
Серноокислый цинк	6 - 8	2	0,02 - 0,05	0,02	0,005
Серноокислый кобальт	0,9 - 1,4	0,3 - 0,5	–	0,02	–

в табл. 5.23. На 1 ц семян расходуется 2-3 л соответствующего раствора. Полив рассады – 10 л на раму. Замачивание семян – до 24 ч при отношении веса семян к раствору 1:2. Некорневые подкормки проводят из расчета 300 л на 1 га.

Эффективное использование микроудобрений связано с решением комплекса задач.

1. Знание требований культур к микроэлементам, содержания их в почве в доступной для растений форме. Оптимизация питания растений должна проводиться сбалансировано по макро- и микроэлементам. Только в этом случае можно реализовать возможности по потенциальной продуктивности сельскохозяйственных культур.

2. Дальнейшее совершенствование ассортимента микроудобрений.

3. Усиление агрохимического и санитарного контроля за применением в качестве удобрения отходов различных отраслей промышленности, часто содержащих не только биогенные, но и токсические элементы и соединения.

4. Усиление исследований формирования качества продукции при сбалансированном питании растений макро- и микроэлементами. Роль микроэлементов в формировании отдельных показателей качества. Не следует допускать содержания микробиогенных и токсических элементов выше ПДК. Необходимо также учитывать требования санитарии, гигиены, зоотехнии.

5. Расширение теоретических исследований по трансформации и реутилизации, сбалансированной оптимизации метаболизма органических соединений в растениях, характеризующих качество продукции. Важно знать роль микроэлементов в работе ферментных систем, регулирующих эти процессы.

В настоящее время развитие производства промышленных микроудобрений идет по двум путям: производство односторонних микроудобрений, представленных техническими солями, а также хелатами и фриттами; производство комплексных и односторонних макроудобрений, содержащих микроэлементы.

Односторонние микроудобрения можно применять под культуры с острой недостаточностью одного какого-либо микроэлемента, особенно при выявлении этой недостаточности в период вегетации. Недостатком их является трудность применения в малых дозах, особенно при внесении в почву, когда очень сложно добиться равномерного распределения по поверхности поля. Односторонние микроудобрения в значительной степени используются в виде хелатов, широко используются фритты, особенно при внесении бора, при этом исключаются нежелательные высокие концентрации бора под чувствительные культуры.

Макроудобрения с микроэлементами сокращают затраты на внесение, имеют меньшую опасность токсического воздействия в случае внесения избыточных доз удобрений, уменьшают загрязнение окружающей среды токсично действующими микроэлементами.

Для листовых подкормок используются преимущественно чистые соли сульфатов марганца, цинка, железа и др.

ГЛАВА 6.

ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ, ИХ ВИДЫ И ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Воспроизводство плодородия почв, создание положительного или бездефицитного баланса питательных веществ для растений и гумуса в почве – важнейшие задачи в условиях интенсивного земледелия. Эти задачи можно успешно решать при систематическом научно обоснованном применении органических и минеральных удобрений в севообороте. Поэтому значение органических удобрений в отечественном земледелии никогда не снизится даже при полном удовлетворении сельского хозяйства минеральными удобрениями.

Добиться расширенного воспроизводства плодородия почв и систематического роста продуктивности земледелия можно при использовании органических удобрений: навоза, различных видов компостов, птичьего помета, зеленого удобрения, излишков соломы и др. Мировой опыт земледелия показывает, что чем выше культура земледелия, тем больше уделяется внимания накоплению, правильному хранению и использованию органических удобрений.

6.1. НАВОЗ

НАВОЗ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

Из всех видов органических удобрений главное место принадлежит навозу. Он оказывает комплексное многостороннее воздействие на почву. Это источник азота, зольных макроэлементов и микроэлементов. В этом заключается важнейшая первостепенная ценность навоза как удобрения.

Навоз пополняет запас подвижных питательных элементов в почве и улучшает круговорот макро- и микроэлементов в системе почва–растение. Значительная часть питательных веществ, использованных растениями из почвы и из внесенных в почву минеральных удобрений, с кормами и подстилкой поступает на скотный двор, переходит в навоз, с которым затем возвращается в почву. Поэтому полное и систематическое внесение накапливаемых от животноводства органических удобрений улучшает баланс питательных веществ в земледелии и способствует повышению урожая и его качества.

Составные части свежего подстилочного навоза – в основном твердые и жидкие экскременты животных и подстилка. В экскременты поступает примерно 40 - 50% органического вещества, столько же азота и 60 - 70% фосфора и калия от исходного содержания их в корме. Жидкие экскременты жвачных животных содержат много азота и калия, а фосфор больше находится в составе кала. Поэтому навозная жижа, собранная при скотных дворах и в жижесборниках навозохранилищ, является преимущественно азотно-калийным удобрением. Смесь экскрементов – хорошее полное удобрение. Качество навоза зависит от условий и продолжительности хранения. Чем дольше хранится навоз, тем выше относительное содержание в нем азота, фосфора, калия за счет разложения органического вещества. Химический состав и удобрительная ценность навоза зависят от вида животных, кормов, вида и количества подстилки, способа хранения навоза и т.д. Например, конский и овечий навоз по содержанию питательных веществ существенно превосходит навоз крупного рогатого скота и свиней. При скармливании концентрированных комбикормов в навозе больше содержится питательных элементов, чем при кормлении грубыми кормами. Навоз на торфяной подстилке богаче азотом, чем на соломенной. Поскольку отклонения по химическому составу навоза бывают довольно значительными, для правильного определения дозы навоза желательно перед внесением определить его химический состав. Если такой возможности нет, то пользуются справочными данными (табл. 6.1).

6.1. Химический состав свежего навоза на соломенной подстилке

Компоненты	Навоз			
	крупного рогатого скота	конский	овечий	свиной
Вода	77,3	71,3	64,6	72,4
Органическое вещество	20,3	25,4	31,8	25,0
Азот (N) общий	0,45	0,58	0,83	0,45
белковый	0,28	0,35	–	–
аммиачный	0,14	0,19	–	0,20
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,28	0,28	0,23	0,19
Калий (K ₂ O)	0,50	0,63	0,67	0,60
Известь (CaO)	0,40	0,21	0,33	0,18
Магnezия (MgO)	0,11	0,14	0,18	0,09
Серная кислота (SO ₃)	0,06	0,07	0,15	0,08
Хлор	0,10	0,04	0,17	0,17
Кремневая кислота (SiO ₂)	0,85	1,77	1,47	1,08
Окислы Al и Fe (P ₂ O ₃)	0,05	0,11	0,24	0,07

Для запахивания лучшим является подстилочный полуперепревший навоз. Его химический состав по данным Государственных центров агрохимической службы и лабораторий представлен в табл. 6.2.

При определении доз навоза под планируемый урожай в севообороте или под конкретную культуру для расчета баланса питательных веществ в земледелии страны или отдельных земледельческих регионов пользуются усредненными данными содержания в полуперепревшем подстилочном навозе: N – 0,5%, P₂O₅ – 0,25 и K₂O – 0,6%, или с одной тонной такого навоза вносится в почву 5 кг азота, 2,5 кг P₂O₅ и 6 кг K₂O.

В небольшом количестве питательные вещества в навозе находятся в легкоусвояемой форме, большей же частью они становятся доступными после разложения навоза. Доступность растениям азота, фосфора и калия навоза зависит от многих факторов. В первый год растения усваивают главным образом аммиачный азот. Считается, что в первый год растения могут усваивать в среднем 20-30% азота от общего содержания в навозе. Это зависит не только от содержания в нем аммиачной формы азота, но и от соотношения между растворимым и белковым азотом, наличия углеводов в навозе. При большом количестве растворимых углеводов микрофлора поглощает азот, и он меньше усваивается растениями. Навоз, внесенный под раннюю зябь, сильно разлагается и лучше усваивается растениями, чем навоз, внесенный весной под яровые культуры.

Быстрее всего растения усваивают азот овечьего навоза, содержащий мало воды и много азота. Свиной навоз при обильном кормлении концентратами также содержит много азота, усвояемого растениями в первый год. Усвоение растениями фосфора (50-55%) и калия (60-70%) навоза в первый год его действия значительно выше, чем азота.

6.2. Химический состав полуперепревшего подстилочного навоза

Вид навоза	Содержание при естественной влажности, %						Влажность, %	рН	С:N
	азота (N)		фосфора (P ₂ O ₅)	калия (K ₂ O)	органического вещества	золы			
	общего	аммиачного							
Крупного рогатого скота	0,54	0,07	0,28	0,60	21	14	65,0	8,1	19
Свиной	0,84	0,15	0,58	0,62	21	17,4	60,7	7,9	13
Конский	0,50	0,09	0,26	0,59	22,6	8,4	69,0	7,9	21
Овечий	0,86	0,14	0,47	0,88	28,0	23,0	49,0	7,9	17

Под влиянием органического вещества навоза усиливаются микробиологические процессы в почве, в результате повышается растворимость, а следовательно, и доступность растениям элементов минерального питания. Например, нерастворимые фосфаты кальция, железа, алюминия и другие формы переходят в соединения, усвояемые растениями. Фосфор же, потребленный микроорганизмами и закрепленный в плазме при их отмирании, переходит в легкоусвояемые растениями соединения.

Повышение подвижности нерастворимых фосфатов почвы может осуществляться и в результате взаимодействия их с гуминовыми и другими органическими кислотами. Следовательно, фосфор, внесенный с навозом, отличается повышенной подвижностью. Например, в дерново-подзолистой почве фосфор, накопленный в результате систематического применения навоза в севообороте, в меньшей мере связывается полуторными окислами железа и алюминия, чем при внесении минеральных удобрений, которые мобилизуют полуторные окислы, связывающие фосфор удобрений. Известкование снижает кислотность почвы, повышает ее буферность и общее окультуривание, что препятствует мобилизации алюминия и связыванию фосфатов полуторными окислами. Поэтому фосфор, накопленный в почве при длительном применении органических и минеральных удобрений, находится в более подвижном состоянии и доступной форме для растений.

На черноземах систематическое внесение минеральных удобрений подкисляет почву, вследствие чего повышается подвижность основных минеральных соединений фосфора – фосфатов кальция. На этих почвах более доступен растениям остаточный фосфор, накопленный при систематическом применении минеральных удобрений.

В бедных гумусом сероземах органическое вещество навоза частично предотвращает закрепление остаточного фосфора карбонатами. Подкисляющее же действие азотно-калийных удобрений в щелочной среде не проявляется. В этих условиях фосфор, накопленный при длительном применении навоза, более подвижен и доступен растениям, чем фосфор, накапливающийся в почве в результате длительного применения минеральных удобрений.

Основная масса остаточных фосфатов накапливается, как правило, в верхних слоях почвы (0 - 20, 20 - 40 см). В ряде случаев наблюдается проникновение фосфора в более глубокие слои. При внесении же навоза фосфор накапливается в основном в слое почвы 0 - 40 см.

Систематическое внесение навоза и известкование несколько снижают подвижность калия, так как эти удобрения приводят к некоторому его закреплению в почве. В черноземах интенсивно протекают процессы нитрификации, что приводит к снижению содержания иона аммония, а следовательно, и его конкурентной способности. Применение навоза на черноземах, так же как и на дерново-подзолистых почвах, способствует большему накоплению обменного калия по сравнению с минеральными удобрениями, одновременно усиливаются процессы фиксации калия в необменную форму. Обменный калий в черноземах менее подвижен и доступен растениям, причём от применения навоза подвижность его снижается, а от минеральных удобрений несколько возрастает.

На сероземах систематическое внесение удобрений приводит к существенному увеличению обеих форм калия: обменного и необменного. Промывной режим, создаваемый орошением, способствует накоплению этих форм калия по профилю почвы до глубины 1 м. Различия в действии навоза и минеральных удобрений проявляются в изменении подвижности обменного калия; на фоне навоза подвижность уменьшается, а на фоне минеральных удобрений, наоборот, увеличивается.

Навоз является важным источником микроэлементов. При внесении навоза и получении высоких урожаев сельскохозяйственных культур почва слабее обедняется микроэлементами, чем при использовании минеральных удобрений. Содержание микроэлементов в навозе колеблется в очень широких пределах. Ориентировочные данные о содержании микроэлементов в полуперепревшем подстилочном навозе приведены в табл. 6.3.

6.3. Содержание микроэлементов в подстилочном навозе при влажности 75%

Микроэлементы	Содержание, г/20 т навоза		
	минимум	максимум	среднее
Бор	22,5	260,0	101,0
Марганец	375,0	2745,0	1005,5
Кобальт	1,25	23,50	5,20
Медь	38,0	204,0	78,0
Цинк	215,0	1235,0	481,0
Молибден	4,2	20,9	10,3

НАВОЗ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ – ВАЖНЕЙШИЙ ИСТОЧНИК ГУМУСА ПОЧВЫ

В севообороте наивысшие урожаи достигаются лишь тогда, когда мероприятия по внесению удобрений и организации севооборота обеспечивают в полной мере воспроизводство органического вещества почвы. Поэтому с развитием интенсивного земледелия повышается роль органических удобрений в поддержании бездефицитного баланса гумуса, питательных веществ в почве, а также существенно улучшаются ее агрофизические, физико-химические и биологические свойства.

При интенсивном земледелии в почве невозможно добиться бездефицитного баланса гумуса без применения органических удобрений. При систематическом применении навоза в севообороте содержание гумуса в почве заметно возрастает на всех типах почв. Применение минеральных удобрений значительно слабее по сравнению с навозом влияет на накопление гумуса и общего азота, так как источником гумуса в почве при внесении минеральных удобрений являются в основном корневые и пожнивные остатки.

В зависимости от типа почвы длительное применение удобрений действует неодинаково на накопление гумуса и азота в почве. Так, на бедных гумусом дерново-подзолистых почвах этот процесс более заметен. Низкая гумусированность сероземов также позволяет применением органических удобрений существенно повысить содержание гумуса в почве. На богатых гумусом черноземных почвах в сравнении с дерново-подзолистыми почвами удобрения обеспечивают относительно меньшие прибавки урожая и накопление массы пожнивных и корневых остатков.

Состав гумуса различных типов почв мало изменяется при длительном применении удобрений, увеличение содержания углерода сопровождается накоплением всех групп гумусовых веществ. Соотношение между группой гуминовых и группой фульвокислот остаётся характерным для данного генетического типа почвы. Отсутствие заметного влияния удобрений на этот показатель определяется, по-видимому, тем, что групповой состав гумуса характеризуют полностью гумифицированные органические соединения почвы. Удобрения, способствуя накоплению массы корневых и пожнивных остатков и усиливая биологическую активность почвы, оказывают влияние главным образом на органическое вещество почвы, находящееся на ранних стадиях гумификации. Это подтверждает тот факт, что все исследуемые почвы при длительном применении удобрений обогащаются подвижными водорастворимыми, обладающими высокой степенью гидрофильности органическими веществами.

Так, на дерново-подзолистых почвах за 36 лет систематическое применение навоза повысило содержание водорастворимого гумуса на 17 - 34%, на слабо выщелоченном черноземе – на 5 - 18, а на типичном сероземе – на 23 - 50% по сравнению с контролем. Эти подвижные органические вещества находятся на ранних стадиях гумификации и способствуют обогащению почв доступными растениям соединениями азота. В почвах с низким содержанием гумуса (дерново-подзолистые и типичный серозем) при длительном применении навоза накапливалось больше водорастворимого гумуса.

Накопление подвижных гумусовых веществ проявляется довольно часто при длительном применении удобрений и на чернозёмных почвах. Это объясняется мобилизацией устойчивого гумуса чернозёмов в результате подкисляющего действия на почву минеральных удобрений. Следовательно, длительное применение навоза и минеральных удобрений способствует обогащению общим углеродом и азотом почв, бедных органическим веществом, и увеличивает во всех типах почв содержание подвижных органических веществ, находящихся на ранних стадиях гумификации. В почвах с низким содержанием гумуса (дерново-подзолистые и типичный серозем) при длительном применении навоза накапливалось больше водорастворимого гумуса.

При расчете баланса гумуса в почве необходимо учитывать, что внесение навоза повышает содержание гумуса как за счет гумификации навоза, так и образующихся за счет его применения корневых и пожнивных остатков растений, а при внесении минеральных удобрений – только за счет этих растительных остатков. Этим можно объяснить заметно большее накопление гумуса при применении навоза, чем при внесении минеральных удобрений.

Ежегодное пополнение гумуса в почвах России за счет пожнивных и корневых остатков сельскохозяйственных культур определяется почвенно-климатической зоной, биологическими особенностями растений, уровнем урожайности и т.д. Так, в Нечерноземной зоне после зерновых гумус почвы восполняется в среднем на 0,4 т/га, на чернозёмах европейской части России – на 0,5-0,7, в условиях Урала, Сибири и Дальнего востока – на 0,3 т/га. Пропашные культуры пополняют содержание гумуса в почве в среднем в 2 раза меньше, чем зерновые. Многолетние травы ежегодно восполняют запас гумуса на неорошаемых почвах – на 0,5-1 т/га, а при орошении – заметно больше.

Коэффициент гумификации навоза также зависит от почвенно-климатической зоны, условий агротехники, орошения, содержания сухого вещества в навозе, вида самого навоза и т.д. В целом он

колеблется в пределах 15 - 30% на сухое вещество навоза. Коэффициент гумификации растительных остатков зерновых культур и многолетних трав обычно приравнивается к коэффициенту гумификации подстилочного, или стандартного, навоза, а пропашных – в два раза меньше. Зная дозы внесения навоза в севообороте в каждом конкретном случае, нетрудно подсчитать накопление гумуса в почве.

Ежегодная минерализация гумуса в почвах нашей страны зависит от почвенно-климатических условий, структуры посевных площадей, интенсивности обработки почвы, уровня химизации и других факторов. Почвы под зерновыми культурами ежегодно теряют 0,5 - 1 т/га гумуса; под пропашными культурами потери в 1,5 - 3 раза выше. Максимальная минерализация гумуса происходит в чистых парах, т.е. до 3 - 5 т/га. При прочих равных условиях минерализация гумуса возрастает на почвах легкого гранулометрического состава и при орошении.

Внесение органических удобрений улучшает не только баланс гумуса в почве, но и ее азотный режим, так как каждый грамм углерода помогает микроорганизмам фиксировать от 15 - 20 до 20 - 40 мг атмосферного азота. Значительно облегчается и положение с фосфором в связи с ограниченностью его сырьевых ресурсов.

С потерями гумуса наблюдается ухудшение водно-физических, химических и биологических свойств почвы. Гумус имеет значительно большую емкость поглощения, чем глинистые минералы почвы, он удерживает от миграции по профилю почвы многие катионы, что является важным моментом в предотвращении загрязнения ими грунтовых вод; усиливает биологическую активность почвы как важного показателя ее плодородия. Наконец, гумус может поглощать токсические вещества и тяжелые металлы, попадающие в почву, тем самым препятствуя их поступлению в грунтовые воды и в растения, что может снизить качество сельскохозяйственной продукции и кормов. Это имеет важное значение для охраны окружающей среды. В данном случае гумус почвы выполняет санитарно-гигиеническую роль с точки зрения загрязнения биосферы.

Особое место в балансе органических удобрений занимает бесподстилочный навоз. Рост крупных животноводческих комплексов промышленного типа с содержанием скота без подстилки приводит к накоплению больших объемов жидких навозных стоков. Бесподстилочный навоз является источником легкорастворимых питательных элементов для растений, повышает содержание гумуса и азота в почве.

Однако органическое вещество бесподстилочного навоза по составу и воспроизводственной способности гумуса отличается от органического вещества подстилочного навоза и соломы. Отношение

C:N в бесподстилочном навозе более узкое и имеет значения от 5:1 до 10:1. К тому же бесподстилочный навоз характеризуется высоким содержанием легкоразлагаемых органических соединений. Поэтому влияние бесподстилочного навоза на воспроизводство гумуса почвы более слабое, чем влияние подстилочного навоза.

Навоз является не только источником органического вещества, его действие на почву многообразно. Он является источником азота и зольной пищи; обогащает почву бактериями (в 1 г навоза их несколько миллионов); повышает концентрацию углекислоты в почвенном и надпочвенном воздухе (30 т навоза ежедневно выделяют 100-200 кг $\text{CO}_2/\text{га}$, для урожая зерновых 40-45 ц/га требуется ежедневно 180-200 кг CO_2). Значение CO_2 , выделяющегося при разложении навоза, особенно возрастает при получении высоких урожаев. Воздух над унавоженным полем обогащается CO_2 , что существенно улучшает воздушное питание растений.

Прибавки урожая от навоза как источника углекислого газа, внесенного в дозе 20-30 т/га под овощные и другие пропашные культуры, достигают 30-40%. Внесение на 1 га 60 т навоза под огурцы на супесчаной почве повысило урожай на 43%, в том числе благодаря CO_2 , образовавшемуся в результате разложения навоза, – на 20%. Дополнительное количество углекислоты, получающееся при разложении навоза, повысило урожай корней сахарной свеклы на 24%, а сбор сахара – на 25%. Углекислота, выделяющаяся при разложении навоза, положительно действует и на процессы, протекающие в почве. Повышается подвижность почвенных фосфатов. При мощном развитии растений и густом травостое углекислота, образующаяся при разложении навоза, почти полностью усваивается растениями. Особенно большое значение это имеет для закрытого грунта.

Под влиянием навоза улучшаются физико-химические свойства почвы, ее водный и воздушный режим, уменьшается вредное действие почвенной кислотности на рост растений, повышаются поглотительная способность, буферность почвы.

Об этом свидетельствуют многочисленные экспериментальные данные, полученные в различных почвенно-климатических зонах страны. В табл. 6.4 представлены данные на примере ЦЧП. Из этих данных видно, что по действию на улучшение водно-физических свойств почвы навоз был значительно эффективнее минеральных удобрений.

Под влиянием органического вещества навоза усиливаются микробиологические процессы в почве, в результате повышается растворимость, а следовательно, и доступность растениям элементов

6.4. Сравнительное действие систематического (7 лет) применения навоза и минеральных удобрений на водно-физические свойства обыкновенных чернозёмов

Варианты опыта	Фильтрационная способность, мм /мин*	Полная влагоёмкость, % от абс. сухой почвы**	Продуктивная влага, мм**	Содержание водопрочных агрегатов почвы 0,25 мм на абс. сухую почву
Контроль	1,06	46,7	31,4	44,2
Навоз, 50 т /га	1,72	54,1	37,7	51,3
Навоз, 100 т/га	2,18	58,3	41,3	55,3
НРК экв. 50 т навоза	1,12	48,0	32,5	45,1
НРК экв. 100 т навоза	1,22	47,1	31,5	45,2

* Для слоя почвы 0 - 10 см. ** Для слоя почвы 0 - 20 см.

зольного питания. Под действием микробиологических процессов, разлагающих клетчатку, содержание усвояемых растением фосфатов в красноземе повышалось в 2-3 раза. В результате выделения микроорганизмами продуктов жизнедеятельности нерастворимые фосфаты кальция, железа, алюминия и другие формы переходят в соединения, усвояемые растениями. Фосфор же, потребляемый микроорганизмами и закрепленный в плазме, при их отмирании переходит в легко доступные растениям соединения. Навоз существенно влияет на биологическую активность почвы, ее нитрификационную способность и протеолитическую активность, значительно повышая их (особенно на слабоподзолистой супесчаной почве).

Особенно велика роль навоза в районах Нечерноземной зоны страны. Почвы этой зоны бедны гумусом, содержат мало питательных элементов. Без систематического применения органических удобрений на таких почвах, особенно песчаных и супесчаных, трудно получать высокие и устойчивые урожаи.

НАКОПЛЕНИЕ И ХРАНЕНИЕ НАВОЗА

Количество навоза, накапливающегося в хозяйстве, зависит от поголовья скота, длительности стойлового периода, количества подстилки, скормленных кормов. Низкий выход навоза в хозяйствах часто объясняется тем, что мало применяют подстилки скоту, плохо организованы сбор и хранение навоза. Применение соломы в качестве подстилки способствует увеличению накопления навоза, повышению

его качества, а также улучшению зоогигиенических условий содержания животных. При обильном кормлении коров со среднегодовым удоем молока 4000-4500 кг выход навоза при использовании ежедневно в подстилку 20 кг низинного торфа составляет 11-12 т от одной коровы в год.

Качество навоза, его химический состав зависят от типа кормов, рациона, вида животных, количества и вида подстилки, способа хранения и других условий. Например, при откорме животных с большим количеством в рационе концентратов навоз отличается более высоким содержанием питательных веществ для растений по сравнению с навозом от животных, получающих значительное количество силоса, корнеплодов и грубых кормов с большим количеством клетчатки. Из потребляемого корма в навоз переходит около 40% органического вещества, 50 – азота, 80 – фосфора и 25% калия.

По содержанию воды навоз делят на горячий (конский и овечий) и холодный (от крупного рогатого скота и свиней). Горячий навоз вследствие меньшего количества воды разлагается быстрее, поэтому его используют для набивки парников, устройства утепленных гряд и в качестве биотоплива.

Качество навоза зависит от химического состава и погложительной способности подстилки, которая создает лучшие условия для жизнедеятельности микроорганизмов и разложения кала. Особенно важное значение имеет способность подстилки поглощать жидкости и газы. В значительной степени качество навоза определяется содержанием в подстилке азота и зольных веществ. Самым высоким содержанием азота характеризуется торфяная подстилка и солома бобовых, в последней содержится и самое большое количество фосфора. Поэтому в навозе, приготовленном из торфяной подстилки и соломы бобовых, больше всего азота.

Лучший подстилочный материал – верховой торф. Он имеет небольшую зольность (1,5-3%) и высокую способность к поглощению жидкостей и газов: 1 кг верхового торфа способен поглотить 9-18 кг воды, 15-30 г аммиака, а 1 кг соломы – 2-3 кг воды и 2-5 г аммиака. Применение торфяной подстилки на скотных дворах уменьшает содержание аммиака и углекислого газа в воздухе в 2,5 раза и снижает относительную влажность помещения со 100 до 75%. Торфяная подстилка не только улучшает зоотехнические условия содержания скота, но и значительно увеличивает выход навоза и резко снижает потери азота. При увеличении подстилки до 8-10 кг в сутки значительно повышается выход навоза, а потери азота сводятся к нулю; 1 т сухой торфяной подстилки может дать дополнительно 5-7 т хорошего навоза с высоким содержанием азота.

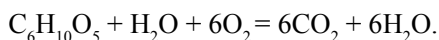
Солому для подстилки лучше измельчать до 10 см: она больше поглощает мочи, навоз получается более однородным, его легче распределять по полю и легче запахивать. Эффективность навоза на соломенной резке на 20-30% выше эффективности навоза, приготовленного на подстилке из целой соломы. При недостатке соломы и верхового (сфагнового) торфа для подстилки можно использовать сухую торфяную крошку переходного или низинного торфа, степень разложения которого не превышает 25% и влажность не более 40-45%. При использовании в качестве подстилки древесных опилок навоз получается плохого качества: в нем мало азота и много медленно разлагающейся клетчатки. Такой навоз лучше использовать в качестве биотоплива в овощеводстве закрытого грунта, а на следующий год – под полевые культуры.

В различном подстилочном материале содержится следующее количество питательных элементов для растений, %:

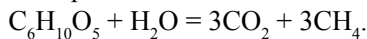
	Солома злаков	Солома бобовых	Лиственная подстилка	Торф
Азот	0,3-0,9	1,2-2,0	0,8-1,4	1,0-2,0
Фосфорная кислота	0,2-0,3	0,3-0,4	0,2-0,3	0,1-0,3
Калий	0,5-1,1	0,6-1,8	0,2-0,4	0,2

Качество навоза зависит и от способа его хранения. Разложение навоза происходит под действием микроорганизмов (бактерий, грибов, простейших). Под действием уреазы, вырабатываемой уробактериями, мочевина очень быстро превращается в углекислый аммоний: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Последний быстро распадается: $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 = 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Азотистые соединения мочи при разложении превращаются в газообразный аммиак, представляющий главный источник потерь азота в навозе. Часть азота иммобилизуется микрофлорой почвы. Чем более солоmistый навоз, чем больше в нем легкоразлагающихся безазотистых веществ и клетчатки, тем больше количество азота будет закреплено в белковую форму тела бактерий. К легко разлагающимся безазотистым соединениям относятся сахара, крахмал, органические кислоты, количество их в навозе зависит от корма и вида животных. Органические безазотистые вещества разлагаются на воздухе при температуре 50 - 70°, в этом случае клетчатка распадается:



При анаэробном разложении клетчатки получается углекислый газ и метан:



Клетчатки в навозе содержится 30-36% в пересчете на сухое вещество и пентозанов – 14-16%, которые при хранении навоза значительно разрушаются. При рыхлом хранении навоза клетчатка разрушается наполовину, а при плотном – незначительно. При разложении навоза образуются также масляная, уксусная и другие кислоты. Скорость разложения органических веществ в навозе зависит от влажности, доступа кислорода воздуха и химического состава навоза. Чем больше навоз содержит легкоразлагающихся органических веществ, тем быстрее в нем протекают процессы брожения.

Нитраты и нитриты в обычных условиях в навозе не образуются, так как бактерии-нитрификаторы чувствительны к высокой температуре. Кроме того, они развиваются в аэробных условиях, которые отсутствуют в средних и нижних слоях навоза. Неблагоприятно на эти бактерии действует и высокая концентрация аммиака в навозе, а также большое количество растворимых органических соединений.

В процессе хранения происходит разложение навоза. В зависимости от сроков хранения, условий, степени разложения органических компонентов навоза он приобретает соответствующий внешний вид и консистенцию.

По срокам хранения различают четыре стадии разложения навоза, приготовленного на соломенной подстилке: свежий, полуперепревший, перепревший и перегной.

Свежий, слаборазложившийся навоз – солома незначительно изменяет цвет и прочность.

Полуперепревший навоз – солома приобретает темно-коричневый цвет, теряет прочность и легко разрывается. В этой стадии разложения навоз теряет 10-30% первоначального веса и такое же количество сухого органического вещества.

Перепревший навоз представляет собой однородную массу. Солома разлагается настолько, что нельзя обнаружить отдельные соломины. При такой степени разложения навоз теряет около 50% веса и сухого органического вещества.

Перегной – рыхлая темная масса. В этой стадии разложения навоз теряет до 75% веса и сухого органического вещества.

Не следует доводить навоз до перепревшего состояния или перегноя: при длительном его разложении количество органического вещества уменьшается в 2-3 раза, а процентное содержание азота и фосфора в нем повышается в меньшей степени (табл. 6.5).

Для получения навоза хорошего качества его надо правильно хранить. Существуют рыхлый, или горячий, способ хранения (когда навоз не уплотняется), горячепрессованный – способ Кранца (когда

6.5. Содержание азота и фосфора в коровьем навозе, приготовленном на соломенной подстилке, в зависимости от степени его разложения, %

Показатели	Степень разложения навоза			
	свежий	полупере- превший	пере- превший	перегни
Азота (N)	0,52	0,60	0,66	0,73
Фосфора (P ₂ O ₅)	0,25	0,38	0,43	0,48
Потери органического вещества	–	29,0	47,2	62,4

навоз рыхлой укладки после разогревания до 50 - 60° уплотняется), и холодный, или плотный, способ хранения (когда удаленный из животноводческого помещения навоз сразу уплотняется). Плотный, или холодный, способ хранения навоза является лучшим с точки зрения сохранения в нем питательных веществ. В этом случае сохраняется довольно постоянная температура – 15 - 35°. Потери азота сравнительно небольшие, так как навоз все время находится в плотном и влажном состоянии. В такой навоз доступ воздуха ограничен, а свободные от воды поры заняты углекислотой, что замедляет микробиологическую деятельность. В условиях высокой концентрации CO₂ углекислый аммоний почти не распадается на аммиак и углекислоту. Аммиак связывается также с органическими кислотами и хорошо сохраняется в навозе. Разложение органического вещества при таком способе замедлено, и количество навозной жижи, стекающей в жижеприемники, небольшое. Этот способ хранения навоза требует наличия в хозяйствах навозохранилищ.

В почве навоз разлагается микроорганизмами, углерод выделяется в форме CO₂, азот органических соединений в процессе аммонификации превращается в аммоний, который усваивается растениями или нитрифицируется до нитратов. При повышенной влажности почвы и недостатке кислорода в щелочной среде могут происходить процесс денитрификации и образование молекулярного азота N₂, который безвозвратно теряется в атмосферу. При правильной работе с навозом потери азота в результате деятельности денитрификаторов резко снижаются. Этому способствует и торф, применяемый в качестве подстилки.

При плотном хранении в навозе содержится значительное количество аммиачного азота, однако в навозе на соломистой подстилке его бывает несколько меньше. Содержание белкового азота несколько повышается, что объясняется связыванием его микроорганизмами в процессе синтеза.

При разложении навоза происходят потери не только азота, но и фосфора. Это наблюдается главным образом при рыхлом хранении навоза. При этом количество водорастворимой фосфорной кислоты увеличивается с 7 до 25-30%, а растворимой в 0,05н. HCl – с 30 до 80-85% от общего содержания в навозе. Фосфор, входящий в состав органических соединений, при разложении навоза переходит в минеральную форму. При анаэробном разложении навоза в почве может образовываться фосфорный водород PH_3 и происходить частичная потеря фосфора.

Калий в навозе при хранении почти не теряется. Например, при рыхлом хранении в водорастворимом состоянии его содержалось 85%, смешанном – 91, плотном – 93% от первоначального содержания его в исходном навозе. При разложении навоза в почве калий незначительно потребляется микроорганизмами и остается в соединениях, доступных растениям, а кальций и магний связываются образующимися в процессе деятельности микроорганизмов кислотами.

Значительно сократить потери органического вещества и азота при хранении навоза можно путем добавления к нему 2-3% по массе простого порошковидного суперфосфата или прокомпостировать его с фосфоритной мукой, которую берут из расчета 3-5% к массе навоза. В этом случае фосфор фосфоритной муки частично переходит в форму, доступную для питания растений, а следовательно, эффективность навоза повышается. В этом приеме ее можно использовать не только на кислых дерново-подзолистых почвах, но и на черноземах. Добавлять фосфоритную муку к навозу лучше непосредственно на скотном дворе. Для этого рассыпают ее в указанном количестве, затем навоз вывозят в навозохранилище или прямо в поле и укладывают в крупные штабеля. Фосфоритная мука тщательно перемешивается с навозом, и получается хороший компост, при хранении которого значительно сокращаются потери азота.

Потери органического вещества и азота спустя 4 месяца после начала хранения навоза с добавкой фосфоритной муки и суперфосфата следующие (%):

	Органическое вещество	Азот
Навоз	58,1	19,6
Навоз + 3% фосфоритной муки	42,6	5,4
Навоз +2% суперфосфата	41,4	3,3

Лучший способ хранения навоза в навозохранилище и в поле – холодный. Для этого после удаления из животноводческого помещения его надо укладывать в большие уплотненные штабеля шириной не менее 5-6 м и высотой в уплотненном состоянии не менее 2,5-3 м.

При хранении навоза в уплотненных штабелях из него меньше теряется азота и органического вещества, больше накапливается и сохраняется аммиачного азота (табл. 6.6).

6.6. Средние потери органического вещества и азота при различных способах хранения навоза в течение 4 месяцев (данные ВИУА и НИУИФ), %

Способ хранения навоза	Навоз на соломенной подстилке		Навоз на торфяной подстилке	
	органического вещества	азота	органического вещества	азота
Рыхлый	32,6	31,4	40,0	25,2
Горячепрессованный	24,6	21,6	32,9	17,1
Плотный	12,2	10,7	7,0	1,0

Навозохранилище для хранения навоза размещают в 50 м от скотного двора; от других помещений и источников питьевой воды – не менее 200 м. Площадка должна быть ровной, на возвышенном месте, желательна обнесенная деревьями. Для сбора жижи устраивают колодец на расстоянии 1,5-2 м от навозохранилища. Стенки его выкладывают кирпичом на цементе. Колодец должен иметь люк с двумя деревянными крышками. Размер жижесборника зависит от размера навозохранилища. При наличии инфекционных заболеваний животных или содержания в навозе карантинных сорняков хранение и использование навоза определяются указаниями ветеринарной и карантинной служб.

Вывозят навоз в поле зимой, так как в это время более свободен транспорт. Однако следует вывозить навоз в поле в любое время года, когда есть возможность. Укладывать навоз нужно большими штабелями (ширина 3-4 м, высота 1,5-2 м). В малых кучах хранить навоз нельзя, так как теряется до 35-40% азота. Кроме того, он промерзает, а весной промывается тальми водами, вследствие чего поле удобряется неравномерно и затрудняется весенняя его обработка. При хранении навоза в поле зимой площадка, предназначенная для закладки штабеля, должна быть очищена от снега. На площадку укладывают торф, соломенную резку или другой влагоемкий материал слоем 20-30 см для поглощения навозной жижи. Сверху навоз закрывают торфом или соломой. Если навоз после разбрасывания по полю долго не запахивается и высыхает, то эффективность его сильно снижается из-за больших потерь аммиачного азота. Поэтому после разбрасывания навоза требуется немедленная заделка его в почву.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВОЗА ПО ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИМ ЗОНАМ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЕГО ДЕЙСТВИЯ

Во всех земледельческих зонах страны наиболее эффективно действие полуперепревшего навоза, полученного при плотном, или холодном, способе хранения. Доведение навоза до перегной нецелесообразно, так как при этом теряется большое количество азота, фосфора и органических веществ. Не рекомендуется вносить и свежий навоз, так как в нем содержится большое количество семян сорняков, а также возбудителей различных болезней. Кроме этого, наличие в свежем навозе большого количества неразложившихся безазотных соединений усиливает иммобилизацию почвенной микрофлорой азота, фосфора и других элементов, т.е. она выступает в качестве конкурента растений. Поэтому культура, посеянная по свежему навозу, в первый год может даже снизить урожай вследствие азотно-фосфорного голодания растений в начале вегетации. Особенно недопустимо вносить свежий навоз под сахарную свеклу, кукурузу и озимую пшеницу, если она высевается не по чистому пару.

Полуперепревший навоз во всех зонах дает наибольшую прибавку урожая сельскохозяйственных культур. При этом существует закономерность в действии навоза в зональном аспекте. По мере продвижения от северо-западных и западных районов европейской части страны к восточным и юго-восточным эффективность органических удобрений постепенно снижается, хотя и остается довольно высокой. В засушливой юго-восточной зоне последствие навоза часто по эффективности превышает его прямое действие.

В различных почвенно-климатических зонах каждая правильно использованная тонна навоза за все годы действия в севообороте обеспечивает получение добавочной продукции примерно 1 ц в переводе на зерно. Наиболее эффективен навоз в северных, западных и центральных районах подзолистой зоны; дальше на юг и восток без орошения эффективность навоза снижается, но с учетом последствие она остается довольно высокой. В условиях орошения на черноземах и каштановых почвах прибавки урожая возрастают почти пропорционально увеличению дозы навоза, так как растения при достаточном их обеспечении влагой полнее используют питательные вещества навоза, который, кроме того, улучшает физические свойства почвы.

С повышением насыщения севооборота пропашными культурами оплата навоза дополнительным урожаем возрастает. Место внесения навоза в севообороте мало влияет на его продуктивность. Однако она бывает несколько большей при внесении навоза под

высокопродуктивные пропашные культуры, такие, как сахарная свёкла, картофель, кукуруза и др., так как эти культуры наиболее интенсивно используют в первый год удобрительное действие навоза.

Дробление небольшой дозы навоза на несколько культур севооборота не имеет преимуществ перед разовым внесением его под одну культуру. В многопольных же севооборотах с несколькими пропашными культурами эффективность навоза возрастает, если высокие его дозы, рассчитанные как минимум на бездефицитный баланс гумуса, вносят не за один раз, а под 2-3 интенсивных культуры данного севооборота.

На песчаных почвах, хорошо проницаемых для воды и воздуха и быстро согревающихся, навоз активно разлагается. В этом случае питательные вещества могут вымываться. На таких почвах навоз необходимо вносить в небольших дозах и под несколько культур севооборота. На глинистых и суглинистых почвах можно вносить повышенные дозы навоза, так как на таких почвах он разлагается медленно и повышает урожай культур севооборота в течение ряда лет.

ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ НАВОЗА

Действие навоза в севообороте проявляется не только на первой культуре, но и на последующих в течение нескольких лет. Это называется последствием удобрения. В севооборотах с учетом их специализации последствие навоза бывает довольно значительным и существенно определяется почвенно-климатическими условиями. Например, на дерново-подзолистых и серых лесных почвах последствие навоза в севообороте (без пропашных) в 1,5 раза, а с пропашными культурами в 3 раза превышает прямое действие на первой (непропашной) культуре. С насыщением севооборота пропашными культурами относительный размер последствия навоза возрастает. Такая закономерность сохраняется с увеличением доз навоза.

На черноземах относительный размер последствия в 4-5 раз превышает прямое его действие на первой непропашной культуре. При внесении же навоза под пропашные культуры (сахарную свёклу, картофель, кукурузу и др.), а также при благоприятных погодных условиях размер прямого действия резко возрастает. Если севооборот насыщен зерновыми культурами, то относительный размер последствия снижается, при насыщении же его высокопродуктивными пропашными культурами – возрастает. Это объясняется тем, что пропашные культуры хорошо используют прямое действие и последствие навоза.

Эффективность навоза в прямом действии и последствии определяется рядом условий. Так, на глинистых почвах он разлагается медленно и поэтому действует на урожай более продолжительное время (7 лет и более). На песчаных почвах в связи с быстрым разложением навоза действие его на урожай продолжается в течение 3 - 4 лет.

Последствие навоза объясняется не только постепенным усвоением питательных веществ навоза, но и улучшением физико-химических, физических и биологических свойств почвы. Последствие навоза зависит от его качества. Слаборазложившийся солоmistый навоз в первый год может оказать слабое действие, а в последствии на второй и третий годы может обеспечить сравнительно высокие прибавки урожая. Последствие возрастает с увеличением доз навоза.

Продолжительность действия навоза определяется также почвенно-климатическими условиями. Так, в северных районах земледелия выше прямое действие навоза, а в южных – последствие. В юго-восточной засушливой зоне последствие навоза превышает его действие в первый год. Особенности применения навоза в южных и засушливых областях связаны с тем, что навоз в этих районах из-за недостатка влаги слабо разлагается в почве и в первый год бывает малоэффективным. Во второй и последующие годы оказывает там значительное действие на урожай.

НАВОЗ В СЕВООБОРОТЕ

Место навоза в севообороте имеет немалое значение в повышении его окупаемости. Навоз в севообороте следует вносить в первую очередь под те культуры, которые хорошо его окупают, прежде всего это пропашные, технические, овощные и другие культуры. В Нечерноземной зоне хорошим местом навоза в севообороте являются озимые покровные культуры. В этом заметно возрастает продуктивность севооборота благодаря повышению урожая озимых, многолетних трав и последующих культур.

На кислых дерново-подзолистых почвах в основном приёме внесение навоза, извести и минеральных удобрений должно сочетаться в севообороте. Целесообразно навоз вносить под пропашные культуры в том случае, если в севообороте после них размещаются яровые зерновые с подсевом трав. На черных парах в южной части Нечерноземной зоны навоз вносят при перепашке пара на глубину 15 - 20 см, а на ранних парах – перед их подъемом.

В севообороте навоз желательно вносить под парозанимающую культуру, особенно если она является пропашной; заделывают навоз осенью при вспашке. Если парозанимающие культуры рано убираемые, то навоз можно вносить после их уборки под вспашку и гото-

вить поле к посеву озимых по типу полупара. Под яровые культуры навоз лучше вносить осенью под зяблевую вспашку. Особенно важен этот срок внесения навоза в степных засушливых районах.

На легких песчаных и супесчаных почвах, особенно в районах достаточного увлажнения, хороший эффект получается от весеннего внесения навоза. Однако в степных районах внесение его весной снижает эффективность в 1,5-2 раза по сравнению с внесением под зябь.

Дозы навоза зависят от почвенно-климатических условий и культуры. Например, в северных, северо-западных холодных и влажных районах, а также на слабокультуренных почвах следует применять более высокие дозы навоза, чем на юге, юго-востоке, особенно на высококультуренных черноземах.

Зерновые культуры требуют меньших доз навоза по сравнению с такими пропашными культурами, как картофель, кукуруза, сахарная и кормовая свекла. Особенно хорошо реагируют на высокие дозы конопля, силосные культуры, огурцы, поздние сорта капусты.

С повышением доз навоза окупаемость его снижается. Например, больший эффект будет получен от удобрения навозом 2 га по 30 т/га, чем 1 га дозой 60 т.

На дерново-подзолистых почвах при удобрении сахарной и кормовой свеклы, картофеля, кукурузы и других культур навоз следует дополнять прежде всего азотными удобрениями, а на легких песчаных и супесчаных почвах – азотными и калийными, на орошаемых обыкновенных черноземах и каштановых почвах – фосфорными удобрениями. В севообороте особо важное значение имеет сочетание применения навоза и минеральных удобрений. Этот прием создает более благоприятные условия для питания растений и улучшения свойств почвы. Органические и минеральные удобрения равноценны, если они применяются по эквивалентному количеству питательных веществ. На песчаных почвах некоторое преимущество остается за навозом, улучшающим их свойства. Поэтому при распределении удобрений по полям севооборота навоз целесообразно вносить на ближние поля, а минеральные – на более отдаленные.

При наличии в хозяйстве навоза разной степени разложения более разложившийся навоз в районах достаточного увлажнения можно внести весной под пропашные культуры, а менее разложившийся – в пар под озимые хлеба. В засушливых степных районах все виды навоза следует вносить с осени под зяблевую вспашку. Это подтверждается опытами практически во всех зонах страны, за исключением районов избыточного увлажнения, особенно на легких почвах, когда весьма эффективно бывает внесение навоза под яровые культуры весной под предпосевную обработку.

6.2. БЕСПОДСТИЛОЧНЫЙ НАВОЗ

На животноводческих промышленных комплексах в большом количестве получают жидкий навоз. Традиционная технология содержания животных на соломенной подстилке требует значительных затрат труда на уборку соломы с полей, транспортировку к фермам, удаление из помещений в составе навоза, вывозку в поле и разбрасывание. Большие затраты на применение подстилки животным стали сдерживать рост производительности труда на крупных фермах. Поэтому в практику проектирования и строительства крупных животноводческих комплексов и ферм промышленного типа широко внедряется технология бесподстилочного содержания скота.

Выход жидкого навоза от одной головы крупного рогатого скота составляет 55 кг в сутки, свиньи – 50 кг. По содержанию питательных веществ свиной навоз не менее ценен, чем навоз крупного рогатого скота. В жидком навозе 50-70% азота находится в растворимой форме, которая хорошо усваивается растениями в первый год. Остальную часть составляет органически связанный (белковый) азот, который позднее также превращается в доступную для растений форму по мере минерализации органического вещества. Содержащийся в жидком навозе главным образом органически связанный фосфор используется растениями лучше, чем фосфор минеральных удобрений. Калий в жидком навозе представлен исключительно растворимой формой и легко усваивается растениями.

Бесподстилочный навоз по химическому составу – ценное удобрение, и его нужно использовать максимально. Потери азота и органического вещества при хранении жидкого навоза в несколько раз меньше, чем при плотном хранении подстилочного навоза. Получаемый при этом бесподстилочный навоз в отличие от подстилочного обладает текучестью, что в значительной степени упрощает уборку его из животноводческих помещений, создает условия для полной механизации и автоматизации комплекса трудоемких работ с навозом. Однако для применения такого навоза требуются существенные изменения в транспортировке, технологии хранения и внесения его в почву. Бесподстилочный навоз – это смесь экскрементов животных с водой, включающая иногда потери корма.

В зависимости от почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условий жидкий навоз хранят 2-6 месяцев. При хранении он расслаивается на твердую и жидкую части, которые имеют различную удобрительную ценность. Для равномерного использования питательных веществ на удобряемой площади, а также для более надежной работы насосов цистерн-разбрасывателей и

дождевальных установок нельзя допускать расслоения навоза. Для этого навоз перемешивают в хранилищах с помощью специальных устройств, добываясь его однородного состояния. Иногда фракции бесподстилочного навоза используют отдельно: жидкую, собранную при расслоении в специальные емкости, используют на полив через систему дождевальных установок, а твердую – для приготовления компостов или вносят навозоразбрасывателем, как обычный подстилочный навоз.

Бесподстилочный навоз, получаемый на крупных фермах и комплексах промышленного типа при скармливании животным значительного количества концентрированных кормов, отличается повышенным содержанием элементов питания растений. В табл. 6.7 приведены средние данные о химическом составе не разбавленного водой бесподстилочного навоза (смесь кала и мочи). При уменьшении в рационах количества концентратов содержание азота и фосфора несколько снижается, а калия – увеличивается.

6.7. Химический состав бесподстилочного навоза и помёта, %

Компоненты	Навоз					
	крупного рогатого скота		свиней, комплекс 108 000 голов	овец	куриный помет	
	комплекс 10 000 бычков	комплекс 2000 коров			сырой	термически высушенный
Сухое вещество	14,5	10,0	9,8	28,3	36,0	83
Азот общий	0,77	0,43	0,72	0,95	2,10	4,54
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,44	0,28	0,47	0,22	1,44	3,65
Калий (K ₂ O)	0,76	0,50	0,21	0,75	0,64	1,74

Приведенные данные свидетельствуют о довольно благоприятном для питания растений отношении N : P : K в экскрементах животных. Правда, свиной навоз иногда требуется дополнять калием минеральных туков в случае высокой потребности в нем растений или при слабой обеспеченности почвы калием.

Бесподстилочный навоз – важное звено в круговороте питательных веществ в земледелии, так как в него переходят из кормов в среднем 50 - 80% азота, 60 - 80 – фосфора, 80 - 95 – калия, до 90 – кальция, 60% органического вещества. Данные о составе бесподстилочного навоза, содержании в нем органических веществ и питательных элементов – важнейший критерий оценки его удобрительной цен-

ности и экономической эффективности применения. Кроме основных питательных веществ для растений в бесподстилочном навозе есть микроэлементы. В 1 т навоза крупного рогатого скота (влажность 92%) содержится 2,8 г Cu, 22 – Mn, 12 – Zn, 2,4 г В, а в 1 т свиного навоза (влажность 95%) – 2,9 г Cu, 12 – Mn, 32 – Zn, 0,11 г Мо.

Бесподстилочный навоз представляет собой значительный источник органического вещества для воспроизводства почвенного гумуса. В среднем от одной условной головы скота в сутки поступает около 5 кг сухого вещества. В состав органического вещества кала входят целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин, пентозаны и другие вещества, в том числе в небольшом количестве углеводы. Отношение C:N в бесподстилочном навозе колеблется от 5:1 до 10:1. В этом характерная особенность бесподстилочного навоза как удобрения. Например, размещение животноводческих комплексов необходимо тесно увязывать с возможностями земледелия рационально использовать бесподстилочный навоз, т.е. с наличием достаточной площади сельскохозяйственных угодий. При использовании больших количеств бесподстилочного навоза все большее распространение должна получать межхозяйственная кооперация.

При соблюдении агрономических требований к проектированию бесподстилочный навоз может быть эффективно использован для удобрения, как правило, по следующим технологическим схемам, предусматривающим строительство как прифермских, так и полевых навозохранилищ.

1. Прифермское навозохранилище – цистерна – полевое навозохранилище – цистерна-разбрасыватель – поле.

2. Прифермское навозохранилище – трубопровод – полевое навозохранилище (гидрант) – цистерна-разбрасыватель – поле.

3. Навозохранилище – трубопроводная сеть – дождевальная установка – цистерна разбрасыватель – поле.

Первая схема применяется, когда нет трубопровода для перекачивания навоза из прифермского хранилища в полевое. В этом случае его выгружают из прифермского навозохранилища в цистерны-разбрасыватели, вывозят в поле и заполняют полевые навозохранилища для хранения до момента внесения в почву.

В период внесения удобрений навоз из прифермских и полевых хранилищ грузят в цистерны-разбрасыватели, вывозят в поле, разбрасывают по поверхности, а затем, как только это станет возможно, немедленно заделывают его в почву.

Вторая схема при отсутствии трубопроводной сети и дождевальных установок намного эффективнее, чем первая схема. Транспортировка

жидкого навоза из прифермского хранилища в полевые по трубам с последующим внесением его цистернами-разбрасывателями позволяет намного снизить транспортные издержки, повысить производительность труда по сравнению с соответствующими показателями при работе по первой схеме. При работе по первой и второй схемам навоз не разбавляется водой.

Третью схему применяют, если имеются трубопроводная сеть и установки для дождевания. В период вегетации, когда вода необходима для полива растений, навоз (после хранения в неразбавленном виде) разбавляют водой в соотношении 1:8-10. Во вневегетационный период навоз разбавляют водой в соотношении 1:1-3. Работа по этой схеме не исключает одновременного использования цистерн-разбрасывателей для внесения неразбавленного навоза на площадях, где нецелесообразно устройство оросительной системы.

Для крупных животноводческих комплексов промышленного типа наиболее целесообразно проектировать использование навоза по 3-й технологической схеме, предусматривающей сочетание удобрительных поливов с внесением навоза цистернами-разбрасывателями. При этом они могут использоваться как на неорошаемых, так и на орошаемых площадях. На орошаемых площадях их применяют обычно при внесении бесподстилочного навоза под вспашку или предпосевную обработку почвы.

Смешивание навоза с водой производится в транспортном потоке трубопровода путем установки датчиков расхода навоза и воды. Степень разбавления навоза водой можно программировать автоматически.

При использовании навоза в качестве удобрения по 2-й и 3-й технологическим схемам строительство полевых навозохранилищ, как правило, нецелесообразно. Лучше вместо них иметь небольшие по емкости полевые заправочные станции или гидранты для подачи навоза в цистерны-разбрасыватели или дождевальные установки.

Суммарный объем полевых и прифермских навозохранилищ должен обеспечивать хранение такого количества навоза, которое накапливается за то время, в течение которого его нельзя вывозить и вносить в почву (осеннее и весеннее бездорожье, отсутствие свободных полей и т.д.). Емкость хранилищ проектируется в зависимости от этого периода, поголовья животных и выхода навоза (как правило, не менее чем за 2 месяца). 25-40% необходимой емкости должно быть в прифермских навозохранилищах, а 60-75% – в полевых хранилищах, размещаемых по возможности в центре удобряемых площадей.

Продолжительность хранения в зависимости от почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условий колеблется

от 2-3 месяцев в южных районах до 5-6 месяцев в северных. При хранении навоза должно быть обеспечено строгое выполнение ветеринарно-санитарных правил, требований по защите окружающей среды от загрязнения в условиях интенсивного использования навоза на удобрение при минимальных затратах. Успешному решению этих задач способствует сокращение расхода воды на удаление навоза и уборку помещений, а также сроков хранения.

При наличии трубопроводов возможно хранение всей массы навоза в прифермских хранилищах. В этом случае прифермские хранилища целесообразно соединять трубопроводами с небольшими полевыми заправочными станциями (или гидрантами) для подачи навоза в цистерны-разбрасыватели или дождевальные установки. Подъездные пути к хранилищам должны иметь твердое покрытие, рассчитанное на передвижение автомобильного транспорта и тракторов класса 3-5 т. Вокруг навозохранилища необходимы водосточные канавки.

Навозохранилище обносят изгородью и обсаживают деревьями, закрытые емкости должны иметь вентиляцию, так как при хранении жидкого навоза в них накапливается значительное количество метана, сероводорода, углекислого газа, аммиака и других газов. Категорически запрещается применять открытый огонь для освещения во избежание взрыва.

Жидкий навоз, получаемый на крупных животноводческих комплексах промышленного типа, перед использованием необходимо подвергать обеззараживанию. При отсутствии острозаразных заболеваний на мелких товарных фермах жидкий навоз используют для удобрения без специального обеззараживания. Не допускается лишь дождевание или подкормка таким навозом овощных, плодовых и других культур, употребляемых в сыром виде без предварительной переработки. Не рекомендуется также применение жидкого навоза дождеванием при сильном ветре в сторону населенных пунктов.

ПРИМЕРНЫЕ ДОЗЫ И СРОКИ ВНЕСЕНИЯ БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА

Для эффективного использования питательных элементов навоза дозы его не должны превышать оптимальных величин. Дозу бесподстилочного навоза устанавливают, как правило, на основании потребности удобряемой культуры в азоте и содержании его в навозе, так как азот навоза оказывает наиболее сильное влияние на величину урожая. В условиях орошения эффективно могут использоваться несколько повышенные дозы. Дозы навоза следует дифференцировать

в зависимости от типа почвы, ее гранулометрического состава, сроков внесения, а также с учетом предшественников, расстояния транспортировки и реакции культур на высокие дозы удобрений.

Бесподстильный навоз следует применять преимущественно на тех полях севооборота, где его можно запахивать в почву. При использовании бесподстильного навоза в подкормку по многолетним травам получение наиболее высоких урожаев обеспечивается при сочетании навоза и минеральных азотных удобрений. Бесподстильный навоз необходимо применять, в первую очередь, под пропашные культуры и многолетние злаковые травы, отличающиеся продолжительным вегетационным периодом и большим потреблением питательных веществ. На основе обобщения отечественных и зарубежных данных в табл. 6.8 приведены примерные дозы беспод-

6.8. Примерные дозы, сроки внесения и способы заделки бесподстильного навоза крупного рогатого скота

Сельскохозяйственная культура	Примерная годовая доза*, т/га	Время внесения	Способ заделки
Зерновые	35	под основную обработку, зимой; для подкормки – осенью и весной; под весеннюю перепашку	под плуг
Озимые на зерно	25		весеннее боронование
Картофель столовый	40 - 60		под плуг
Картофель фуражный	60 - 100		то же
Сахарная свекла (фабричная)	50 - 60	осенью и весной, под весеннюю обработку	под плуг или дисковый лущильник
Кормовая и сахарная свекла на корм скоту	80 - 90		
Кукуруза на зеленый корм и силос	60 - 80		
Многолетние злаковые и бобово-злаковые травосмеси на сено и зеленый корм	60 - 80**	после укосов	боронование после укосов
Луга	50 - 60**	то же	то же
Пастбища	50 - 60	по окончании вегетации, при удобрительных поливах, после стравливания	боронование в начале вегетации
Однолетние травы	30 - 40	осенью под зябь или весной под предпосевную обработку	под плуг, дисковый лущильник
Рожь на зеленый корм	35	под вспашку или предпосевную обработку	под плуг, дисковый лущильник, культиватор, весеннее боронование
Рожь на зеленый корм	25	зимой для подкормки	

* Примерные дозы даны в расчете на не разбавленный водой бесподстильный навоз, содержащий около 0,4% азота. ** Годовая доза вносится частями в 2-3 срока.

стилочного навоза под основные сельскохозяйственные культуры для усредненных условий при содержании в нем азота 0,4%. При ином содержании азота дозы навоза пересчитываются.

Для ориентировочных расчетов площади сельскохозяйственных угодий, необходимой для полного использования навоза в качестве удобрения, надо знать максимальную среднегодовую дозу бесподстилочного навоза в расчете на 1 га сельскохозяйственных угодий. Среднегодовая доза ежегодно вносимого удобрения (без опасения ухудшить качество урожая и поедаемость корма) может быть рекомендована эквивалентной не более 200 кг азота на 1 га.

В орошаемом земледелии эта доза не должна превышать 300 кг азота на 1 га. Дозы бесподстилочного навоза зависят от многих условий (культуры, почвы, планируемого урожая, сроков и способов внесения и т.д.).

Можно отметить наиболее важные особенности применения бесподстилочного навоза под основные сельскохозяйственные культуры.

Картофель. Под столовый картофель доза азота с бесподстилочным навозом не должна превышать 160 - 180 кг/га, и вносят её осенью. Доза азота под семенной картофель 120 - 140 кг, что составляет 3/4 потребности картофеля в азоте. Остальную часть добавляют с минеральными удобрениями.

Под кормовой картофель всю дозу азота (240 - 280 кг/га) можно давать с бесподстилочным навозом. Вносят осенью под зябь или весной под перепашку зяби. Применение высоких доз азота под картофель требует постоянного контроля за качеством клубней.

Сахарная и кормовая свёкла. Эти культуры отзываются на высокие дозы азота. Потребность этих культур в азоте за счет бесподстилочного навоза удовлетворяется на 50 - 70%, так как при осеннем его внесении на легких почвах часть азота и калия теряется. Остальную часть азота добавляют с минеральными удобрениями. На черноземах дозы азота бесподстилочного навоза не должны превышать 300 кг/га. При этом важно контролировать качество корне-плодов, не допускать накопления нитратов сверх ПДК в кормовой свекле, а также снижения накопления сахаров и повышенного накопления небелкового азота (который снижает выход сахара) в сахарной свекле.

Кукуруза на зеленый корм и силос отличается высокой потребностью в азоте, которая практически может быть полностью удовлетворена за счет бесподстилочного навоза. Вносить навоз лучше осенью перед вспашкой зяби и весной.

Многолетние злаковые травы хорошо отзываются на бесподстилочный навоз, который вносят до посева покровной культуры,

ранней весной и летом после каждого укоса. Под первый укос трав первого года доза бесподстилочного навоза 20 т/га или 80 кг/га азота, так как травы хорошо используют последствие навоза, внесенного под покровную культуру.

Наибольший эффект получается при сочетании бесподстилочного навоза и минеральных азотных удобрений. Под последующие укосы навоз вносится в течение 10 дней после предыдущего скашивания. Однако от внесения бесподстилочного навоза до использования травостоя необходимо выдерживать 20-25 дней во избежание накопления нитратов в травостое сверх допустимой предельной концентрации для животных.

Под *бобово-злаковые травосмеси* дозу навоза сокращают по крайней мере вдвое, так как клевер и люцерна как компоненты травосмеси потребляют много фосфора и калия, а азотом они сами себя обеспечивают за счет азотфиксации. Поэтому увлечение дозами бесподстилочного навоза на травосмеси с преобладанием люцерны или клевера приводит к зарастанию их сорняками и изреживанию. И только лишь на слабокультуренных почвах с низким содержанием азота, повышенной кислотностью почвы и т.д., где азотфиксирующая способность бобовых не может быть проявлена в должной мере, бесподстилочный навоз окажет положительное действие на величину и качество урожая.

Озимые зерновые культуры потребность в азоте могут удовлетворять за счет бесподстилочного навоза на 50 - 75%, а остальную часть – за счет минеральных азотных удобрений, учитывая необходимость дробного азотного питания сельскохозяйственных культур в процессе вегетации. Бесподстилочный навоз вносят при подготовке почвы под посев озимых, а также весной в период отрастания проводят подкормку бесподстилочным навозом или жидкой его фракцией путем дождевания.

Под *яровые зерновые культуры* бесподстилочный навоз можно вносить осенью под зяблевую вспашку и рано весной с заделкой при предпосевной обработке почвы. Дозу азота, как и для озимых, устанавливают одним из методов диагностики азотного питания растений. Примерно 1/4 годовой дозы под культуру компенсируют минеральными азотными удобрениями.

Под *овощные культуры* в открытом грунте бесподстилочный навоз применяют только при основном внесении с обязательной заделкой плугом, а в закрытом грунте вообще использовать бесподстилочный навоз не рекомендуется.

Сенокосы и пастбища целесообразно удобрять бесподстилочным навозом, особенно при многократных их укосах. Жидкие

органические удобрения применяют несколько раз рано весной и после каждого укоса или стравливания. Используют для этого цистерны-разбрасыватели или дождевальные установки.

На пастбищах полужидкий навоз вносят только один раз в год весной, после подсыхания дернины, используя цистерны-разбрасыватели. Часто его внесение отрицательно сказывается на поедаемости корма. Поэтому после очередного стравливания лучше полить жидкой фракцией навоза с помощью дождевальных установок, а затем водой. Важно выдерживать санитарные сроки стравливания пастбищ – не менее 20 - 25 дней после полива.

На сенокосах и пастбищах также полезно сочетать применение бесподстилочного навоза и минеральных удобрений.

Имеющее иногда место увлечение высокими дозами азота на сенокосах и пастбищах требует усиления агрохимического и санитарного контроля за качеством кормов, в том числе и за возможным избыточным накоплением в них нитратов, калия, нарушением сбалансированности корма по содержанию в них макро- и микроэлементов.

Бесподстилочный навоз – хорошее удобрительное средство, но при нарушении технологии его применения может нанести большой ущерб окружающей среде, здоровью животных и человека.

Во многих почвенно-климатических зонах нашей страны интенсивные кормопропашные севообороты с многолетними травами, силосными и другими культурами позволяют вносить бесподстилочный навоз в повышенных дозах практически в течение года.

Во избежание потерь азота бесподстилочного навоза на легких песчаных почвах его применяют в сочетании с соломой и возделыванием пожнивных культур. При совместном использовании бесподстилочного навоза и соломы часть растворимого азота навоза временно иммобилизуется микрофлорой почвы, находится в органической форме и не вымывается. Сочетание бесподстилочного навоза с соломой – наиболее целесообразная форма их использования.

По проблемам разработки прогрессивных технологий использования бесподстилочного навоза в растениеводстве ученые нашей страны тесно сотрудничают с научными учреждениями других стран, где ведется интенсивная научно-исследовательская работа в области применения органических удобрений.

В результате совместной работы разработаны технологии использования бесподстилочного навоза крупного рогатого скота и свиней, в основу которых положены главные принципы:

– питательные элементы и органическое вещество навоза должны постоянно и эффективно применяться для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и воспроизводства плодородия почвы;

– способы подготовки и использования навоза должны соответствовать индустриальным методам производства в животноводстве и растениеводстве;

– технология хранения, подготовки, транспортировки и внесения органических удобрений должна отвечать требованиям постоянного улучшения условий труда и охраны окружающей среды.

До начала строительства животноводческих комплексов вопросы использования бесподстильного навоза тщательно согласовываются с предприятиями растениеводства, специальными органами ветеринарной службы, санитарной инспекции, водного хозяйства и охраны окружающей среды.

Для окончательного принятия решения о строительстве животноводческого комплекса необходимо располагать точными данными об имеющихся земельных площадях для использования бесподстильного навоза с учетом допустимой нагрузки на единицу сельскохозяйственных угодий, наличия чистой воды для разбавления бесподстильного навоза при использовании дождевой, коммунальных и промышленных сточных вод и других факторов.

6.3. ТОРФЯНЫЕ КОМПСТЫ

Площадь торфяников в нашей стране более 80 млн га с запасом торфа на воздушно-сухое вещество 160 млрд т (свыше 2/3 мировых запасов), 90% запасов торфа находится в северных районах Нечерноземной зоны. Виды и типы торфа многообразны и неравноценны по качеству, поэтому и способы использования его на удобрение неодинаковы. Все торфяные болота, а следовательно, и добываемые торфа делят на верховые, низинные и переходные. Степень разложения торфа определяется по содержанию гумифицированных веществ: слаборазложившийся – 5 - 25%, среднеразложившийся – 25 - 40, сильно разложившийся – более 40%.

Для подстилки лучшим является верховой сфагновый торф со степенью разложения ниже 25% и зольностью менее 10%. Можно использовать осоковый низинный торф со степенью разложения менее 20%.

Торф богат азотом, но беден фосфором и очень беден калием (табл. 6.9). Содержащийся в торфе азот находится в органических соединениях, которые очень плохо усваиваются растениями. Поэтому применение торфа в чистом виде неэффективно. Расходы на

6.9. Химический состав различных типов нормальнозольного торфа, % на сухое вещество

Вид торфа	Азот (N)	Фосфор (P_2O_5)	Калий (K_2O)	pH солевой вытяжки
Верховой	0,8 - 1,2	0,06 - 0,12	<0,1	2,8 - 3,5
Переходный	1,0 - 2,3	0,1 - 0,2	0,1	3,5 - 4,7
Низинный	2,3 - 3,3	0,12 - 0,5	<0,15	4,7 - 5,5

добычу и применение торфа в чистом виде, как правило, не окупаются прибавкой урожая.

Сырой торф содержит 80 - 90% воды. С одной тонной такого торфа вносится лишь 100 - 200 кг сухого вещества. Кроме этого сырой торф нельзя внести качественно и равномерно распределить по полю. Слишком сухой торф также применять нецелесообразно. Он обладает высокой поглотительной способностью. Торф с влажностью 35 - 40% поглощает влагу из почвенного слоя. Это вызывает иссушение почвы, и растения испытывают недостаток почвенной влаги. В сухом пахотном слое торф разлагается очень медленно.

Чтобы повысить доступность азота торфа для растений, его компостируют с биологически активными компонентами (навоз, навозная жижа, фекалий), а также используют его для подстилки скоту.

Компосты закладывают круглыми кучами (диаметр внизу 3 - 4 м, сверху - 1 - 2, высота до 1,5 м) или штабелями (ширина 1,5 - 2 м, высота около 1 м). Длина куч зависит от количества материала. Рыхлые материалы утрамбовывают, закрывают почвой, соломой или торфом, чтобы содержимое их не высыхало.

ТОРФОНАВОЗНЫЕ КОМПОСТЫ

При компостировании торфа с навозом устраняется излишняя кислотность торфа, создаются условия для развития биологических процессов, ускоряется разложение торфа, благодаря чему увеличивается количество подвижного, доступного растениям азота. Микробиологические процессы и накопление питательных веществ в компосте протекают энергичнее, если во время компостирования в штабеле поднимается температура до 60 - 65°, поэтому (в отличие от приготовления навоза) штабеля торфонавозных компостов уплотнять не рекомендуется. Положительная сторона компостирования торфа с навозом определяется еще и тем, что торф, отличаясь высокой поглотительной способностью, полностью удерживает аммиак, который в большом количестве теряется из навоза при хранении, внесении в почву и особенно при несвоевременной его заделке.

Торфонавозные компосты готовятся обычно в поле, на месте их применения, реже – около животноводческих помещений или в навозохранилище. На весовую часть навоза в зимнее время берут 1 часть торфа; а при весенне-летней заготовке – 1-2 части. Для приготовления таких компостов пригодны все виды торфа: верховой, переходный и низинный, влажность которых не превышает 60%.

В торфонавозный компост рекомендуется добавлять фосфоритную муку (2-3% от массы компостов), а если компост готовится для внесения под картофель на легких почвах, то рекомендуется добавлять и калийную соль в количестве 0,5% от массы компоста, однако при обязательном условии тщательного перемешивания минеральных удобрений в компосте и равномерного разбрасывания компоста по полю навозоразбрасывателями.

Заготовку торфонавозных компостов можно осуществлять разными способами.

Послойный способ пригоден в любое время года. На площадке разгружают торф и бульдозером разравнивают слоем 40-50 см. На торф вывозят навоз и разравнивают слоем 25-30 см. Последующую послойную укладку торфа и навоза в штабеля ведут погрузчиками. Штабель завершают слоем торфа толщиной 40-50 см. Готовый штабель имеет ширину у основания 3-4 м, высоту около 2 м, длину произвольную. В зимнее время, чтобы навоз не промерзал, закладку каждого штабеля надо производить в течение 1-2 дней.

Очаговый способ отличается от послойного способа приготовления компостов тем, что навоз укладывают на торфяную подушку отдельными кучами на расстоянии 1 м одна от другой, а промежутки между ними засыпают торфом. Укладку производят теми же машинами. Очаговый способ компостирования навоза с торфом обеспечивает лучшее разогревание компостов в зимнее время.

Площадочный способ заключается в том, что на торфяную подушку слоем 25-30 см сгружают и разравнивают необходимое количество навоза. Затем 2-3-кратным дискованием тяжелой дисковой бороной перемешивают навоз с торфом и смесь сгребают бульдозером в штабеля для компостирования. Этот способ наиболее приемлем при заготовке компостов в весенне-летний и осенний периоды.

Правильно приготовленные торфонавозные компосты по эффективности равноценны хорошему навозу.

ТОРФОЖИЖЕВЫЕ И ТОРФОФЕКАЛЬНЫЕ КОМПОСТЫ

Для сохранения питательных веществ навозной жижи и фекалий и повышения удобрительного действия торфа следует готовить торфожижевые и торфофекальные компосты. Готовить их лучше

весной и летом. Наиболее удобным является следующий способ. Торф укладывают в два сплошных смежных вала так, чтобы между ними образовалось корытообразное углубление. Толщина слоев в местах соприкосновения двух валов должна быть около 40-50 см. Торцовые стенки делаются вручную или бульдозером. В это углубление из автоцистерны АНЖ-2 или жижеазбрасывателя сливается жижа или фекалии. Необходимо следить за тем, чтобы жидкость не протекала через боковые стенки углубления, не переливалась через края и не вытекала наружу. После того как жижа или фекалии поглотятся торфом, всю массу сгребают бульдозером в штабеля. Уплотнение штабеля не производится.

На 1 т торфа в зависимости от его вида и влажности берется 0,5 - 1 т навозной жижи или фекалий. Фекалии обычно содержат азота в 1,5 раза больше, чем навоз. И фосфора в них также не меньше, чем в навозе. В торфожижевые компосты желательно добавлять фосфоритную муку – 1,5-2% от массы компоста. Для приготовления торфожижевых и торфофекальных компостов пригодны все типы торфа, за исключением карбонатного, содержащего большое количество свободной извести. Эти компосты обычно готовят в поле на месте их применения. Торфожижевые компосты при весенней и летней заготовке созревают быстро – в течение 1 - 1,5 месяца.

Такие компосты можно готовить и на осушенном торфянике, расположенном вблизи от источников фекалий и удобряемого поля.

Непосредственно на торфяном поле, где после просушки послойно-поверхностным способом торфяную крошку сгребают в валки, вносят фекалий при соотношении 1:1. При недостатке фекалий на 1 т его можно брать 3-5 т низинного торфа. Но этот компост будет менее концентрированным, и его дозы при применении следует увеличивать в 2 раза. Через несколько месяцев компост готов, он имеет вид однородной, легко рассыпающейся массы.

Важно, чтобы в торфофекальном компосте поднялась температура до 55 - 60°C. Под действием высокой температуры в нем погибают яйца гельминтов и некоторые возбудители болезней. В тех случаях, когда в торфофекальном компосте температура не поднимается до 55 - 60°C, использовать его под картофель и овощные культуры можно только на второй год после закладки.

Компосты из торфа и навозной жижи, а также из торфа и фекалий по своей эффективности, как правило, не хуже навоза. Наилучшее действие на урожай они оказывают в сочетании с минеральными удобрениями. Под зерновые культуры в качестве основного

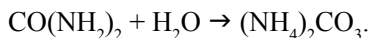
удобрения вносят 10 - 15 т торфофекального компоста, под картофель, силосные и другие кормовые культуры – 20 - 25, под овощные культуры – 30 - 40 т/га.

При отсутствии торфа фекалии можно компостировать с землей, послойно укладывая фекалии и сухую землю в отношении 1:1.

6.4. НАВОЗНАЯ ЖИЖА

Навозная жижа – ценное быстродействующее удобрение. Содержание питательных веществ в ней различно. В среднем же количества основных макроэлементов в навозной жиже выражаются следующими величинами (табл. 6.10).

Навозная жижа – прежде всего азотно-калийное удобрение. В зависимости от вида животных и времени хранения количество азота в ней может колебаться от 0,02 до 0,8%, а калия – от 0,05 до 1%. Основные азотистые химические вещества навозной жижи – мочевины, мочевиная и гипуровая кислоты, которые под влиянием уробактерий быстро превращаются в углекислый аммоний, легко распадающийся на углекислоту и аммиак. Например, мочевиная кислота через ряд азотистых соединений превращается в мочевину, а последняя под влиянием уробактерий переходит в углекислый аммоний:



Аммиак, выделяющийся при распаде углекислого аммония, является основным источником потерь азота из навозной жижи. Важное условие уменьшения потерь азота из навозной жижи – использование достаточного количества подстилки, устройство жижесборников на скотных дворах и при навозохранилищах, добавление суперфосфата (3 - 5%) к навозной жиже, канализация на скотных дворах должна быть сделана так, чтобы моча не задерживалась в желобах. Жижеотстойники необходимо периодически очищать от осадка, чтобы в жижесборник поступала хорошая, отстоявшаяся навозная жижа.

6.10. Содержание питательных веществ в навозной жиже

Образцы навозной жижи из жижесборников	Количество образцов	Среднее содержание, %		
		азота (N)	калия (K ₂ O)	фосфора (P ₂ O ₅)
При молочно-товарных фермах	63	0,26	0,38	0,12
При свиноводческих	12	0,31	0,36	0,06
При конюшнях	18	0,39	0,58	0,08

Во избежание потерь аммиака при хранении навозной жижи жижесборники должны плотно закрываться. На скотных дворах, где нет жижесборников, жижестоки лучше всего заполнять торфом, заменяя его каждый раз после насыщения жижей. За стойловый период (220 - 240 дней) от каждой коровы или 10 - 12 телят собирают примерно 2 т навозной жижи.

При хранении навоза общее количество выделяющейся навозной жижи составляет 10 - 15% от веса свежего навоза, за исключением той части, которая поглощается подстилкой, применяемой в обычных дозах. При достаточном количестве торфяной подстилки навозная жижа обычно не накапливается. При различных способах хранения навоза выделяется неодинаковое количество навозной жижи. За 4 месяца из 10 т исходного навоза мочи выделилось: при плотном хранении 170 л, при рыхло-плотном – 450, а при рыхлом хранении – 1000 л.

Использовать навозную жижу практически можно круглый год: для приготовления компостов, подкормки озимых культур, подкормки пропашных культур, внесения под зяблевую вспашку, наилучший способ использования навозной жижи – приготовление из нее различных компостов. Готовить их можно начиная с теплых мартовских дней и до самой осени.

Жижу также хорошо использовать для подкормки озимых культур, лугов и пастбищ, овощных и других пропашных культур. Для подкормки озимых культур, а также лугов и пастбищ берут 3 - 5 т навозной жижи. В этом случае ее разбавляют в 2 - 3 раза водой. Этот приём позволяет равномерно распределять жижу по удобряемой площади, уменьшать потери азота, а также избегать ожогов растений. Однако, если жижа в процессе накопления достаточно разбавлена водой и в ней содержится не более 0,2 - 0,25% азота, разбавлять её перед поверхностной подкормкой не рекомендуется. После подкормки озимые немедленно боронуют. Запаздывание с боронованием приводит к улетучиванию части аммиака и снижению эффективности этого приема. При подкормке овощных и других пропашных культур жижу лучше вносить с помощью цистерны с подкормочным приспособлением ПРЖ-1,7. Это приспособление обеспечивает внесение удобрения в почву на нужную глубину и без потерь азота. При этом способе внесения не требуется разбавления водой даже концентрированной навозной жижи.

В первую подкормку пропашных культур навозную жижу вносят сбоку ряда в дозе 5 - 7 т/га, а при второй – в середину междурядья в дозе 8 - 12 т/га.

Как основное удобрение вносят жижу в дозе 10-20 т/га в зависимости от особенностей удобряемой культуры. Во избежание потерь азота разлитую по пашне навозную жижу немедленно запахивают. Установлено, что каждая тонна навозной жижи дает 1 ц продукции (в пересчете на зерно). Нужно помнить, что навозная жижа – азотно-калийное удобрение, поэтому добавление к ней фосфорных удобрений существенно повышает ее эффективность.

6.5. ВЕРМИКОПОСТ (БИОГУМУС)

Вермикомпост, или биогурус, – это продукт переработки навоза и различных органических отходов дождевыми червями. Биогурус содержит макро- и микроэлементы, обладает биологической активностью, содержит гормоны, регулирующие рост растений (ауксин, гиббереллин), важные ферменты – фосфатазы, каталазы и т.д. При этом уменьшается число сальмонелл, вирусов. Черви питаются всеми органическими веществами, которые на 20-25% состоят из целлюлозы (солома, картон, бумага, опилки и др.). Вермиккультура (биогурус) за рубежом рассматривается как важный элемент экологически чистого сельскохозяйственного производства и находит определенную государственную поддержку со стороны правительства в льготном финансировании и освобождении вермихозяиств от целого ряда налогов.

Метод вермикультивирования дает определенный эффект в решении проблем устранения животноводческих отходов – превращение в компост жидкого навоза (ФРГ, Италия), переработка на удобрение бытовых и некоторых промышленных отходов, таких как городской мусор, осадки сточных вод (США, Италия, Нидерланды). На компост с помощью дождевых червей перерабатываются отходы промышленности (Япония), ликвидируются жировые отходы (Франция, г. Тулуза).

Наиболее широко используется в вермиккультуре навозный червь *Eisenia foetida*, так называемый красный гибридный калифорнийский червь, выведенный в конце 40-х годов XX столетия в США. Он характеризуется большой скоростью роста, плодовитостью, продолжительностью жизни.

В пищеварительном тракте червя органические остатки подвергаются глубоким изменениям: разлагаются до более простых соединений, обогащаются кальцием, магнием, нитратами, фосфорной кислотой; происходит процесс образования гуминовых кислот; многие минеральные соединения превращаются в доступную для растений форму. Под воздействием выделяемого в пищевом тракте кальцита происходит

нейтрализация содержащихся в субстрате кислот. Прошедшие через кишечник червей органические остатки и земля выбрасываются наружу в виде экскрементов, получивших название вермикомпост (биогумус). За сутки взрослый червь пропускает через свой кишечник количество пищи, примерно равное весу его тела. Около 40% этого количества пищи расходуется на его жизнедеятельность и 60 % выделяется в виде копролитов. Биогумус обладает большой водопрочностью и образует компоненты почвы, определяющие её структуру.

Красный калифорнийский червь перерабатывает практически все виды органических отходов: навоз КРС, птичий помет, свиной навоз, отходы плодоовощных баз, перерабатывающих и целлюлозно-бумажных комбинатов, отходы пивоварения, отходы мясокомбинатов, осадки очистных станций, бытовой мусор. Однако для производства биогумуса как эффективного и экологически чистого органического удобрения наиболее приемлемыми являются навоз и помёт сельскохозяйственных животных. Для получения качественного субстрата предъявляется ряд требований. Любой субстрат должен пройти процесс ферментации, в результате которого происходит увеличение температуры субстрата, что в свою очередь приводит к гибели сорных растений, снижению патогенной микрофлоры.

Свежеприготовленный биогумус в среднем характеризуется следующим химическим составом в расчете на абсолютно сухое вещество (табл. 6.11). Кроме указанных, в биогумусе содержатся и другие необходимые для растений элементы минерального питания.

В различных странах мира разработаны ГОСТы к составу вермикомпоста (биогумуса). На экскременты червей в биогумусе должно приходиться не менее 70% сухого вещества. Готовый биогумус должен отвечать требованиям, приведенным в табл. 6.12. Существенных различий в этих требованиях к составу биогумуса как в нашей стране, так и в других странах не наблюдается.

Вермикомпост благодаря высокой концентрации элементов питания, агрономически полезных групп микроорганизмов и биологически

6.11. Химический состав биогумуса, % (Шеуджен и др., 2004)

Показатель	Содержание	Показатель	Содержание
Гумус	25-30	Магний	0,6-1,5
Азот	1,5-3,0	Железо	0,6-1,3
Фосфор	1,8-4,0	Медь	0,03-0,04
Калий	1,5-3,0	Марганец	0,06-0,09
Кальций	4,5-7,0	Цинк	0,08-0,09

6.12. Требования к составу биогумуса

Показатели	Россия (прейскурант 708201)	ФРГ (ГОСТ)	Польша (ГОСТ)	АТП «Горецкое» (опыты)
Содержание органического вещества, %	40 - 45	40 - 45	40 - 60	43 - 60
Отношение C/N	15	15		15
С о д е р ж а н и е доступного азота, %	Не менее 1,5	Не менее 1,5	1,5 - 3,0	1,8 - 2,0
Содержание P ₂ O ₅ , %	1,2	1,2	1,8 - 4,0	1,8 - 3,0
Содержание K ₂ O, %	0,5	0,5	1,5 - 3,0	0,75
Гумус, %	Не менее 15,0	–	–	20,0
Влажность, %	50,0	40 - 60	40 - 60	50 - 60
pH	6,5 - 7,5	6,5 - 7,5	6,8 - 7,2	7,0 - 7,1

активных веществ положительно влияет на рост и развитие растений и оздоравливает почвенную биоту. Если в 1 г навоза содержится 150-350 млн. колоний бактерий, то в вермикомпосте этот показатель достигает 100-200 млрд. Биогумус характеризуется нейтральной реакцией среды, pH обычно колеблется в пределах 6,8-7,2.

Средние дозы вермикомпоста составляют 3-5 т/га.

Урожайность зерновых в первый год применения биогумуса повышается на 6-10 ц/га, клубней картофеля – на 50-60 ц/га. Перспективно применение биогумуса в овощеводстве как открытого, так и защищенного грунта.

Биогумус по многим показателям превосходит компосты, полученные традиционным путем. Он обладает лучшими физическими свойствами – более высокой водоудерживающей способностью, содержит больше доступных для растений форм питательных веществ (элементов), особенно азота, что связано с увеличением численности в копролитах червей азотфиксирующих бактерий. Особую ценность биогумусу придают гуминовые кислоты, содержание которых колеблется от 5,6 до 17,6 % на сухое вещество.

В зарубежных странах биогумус используется в основном в качестве питательного субстрата при выращивании рассады овощей и декоративных растений. Ввиду дороговизны использование его под полевые культуры довольно ограничено.

По отзывчивости на биогумус можно выделить несколько групп растений:

1. Овощные культуры, клубнеплоды, корнеплоды очень отзывчивы, прибавка урожайности составляет 35-40 %;

2. Зерновые культуры реагируют хорошо, прирост до 25 %;
3. Зернобобовые культуры реагирует удовлетворительно, прибавка до 15 %;
4. Масличные культуры реагируют слабо.

Биогумус наиболее рационально использовать в овощеводстве и цветоводстве, особенно в тепличных сооружениях.

6.6. ПТИЧИЙ ПОМЁТ

Куриный помёт по своим удобрительным качествам превосходит навоз, а по скорости действия не уступает минеральным удобрениям. Помет гусей и уток более водянист и по содержанию питательных веществ приближается к обычному навозу. За год от 100 кур можно собрать 6-8 ц помета, от уток – 8-9 и от гусей – 10-12 ц. Содержание питательных веществ в помете зависит от вида птиц и скармливаемых кормов (табл. 6.13).

6.13. Химический состав птичьего помета, %

Помёт	H ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃
Куриный	56	1,6	1,5	0,8	2,4	0,7	0,4
Утиный	70	0,7	0,9	0,6	1,1	0,2	0,3
Гусиный	76	0,5	0,5	0,9	0,8	0,2	0,1

Помёт содержит также и микроэлементы. Так, в 100 г его сухого вещества содержится 15-38 мг марганца, 12-39 – цинка, 1-1,2 – кобальта, 1-2,5 – меди и 300-400 мг железа. Значительная часть элементов питания в птичьем помете находится в водорастворимой форме.

Помёт отличается повышенной липкостью, поэтому его трудно вносить в почву существующей техникой. Из-за наличия взвесей в помётных стоках они плохо вносятся и дождевальными установками. Радиус транспортировки жидкого помёта по экономическим соображениям ограничен до 5 км, поэтому на удобрение более целесообразно применять подстилочный помёт, помётные компосты и в отдельных случаях сухой помёт.

При производстве подстилочного помёта используют различные органические материалы: торф, измельченную мякину, древесные опилки и др. Влажность торфа не должна превышать 50%, других видов подстилки – 30%. Подстилка способствует консервации питательных веществ помёта и сокращению их потерь. Применение глубокой подстилки в птичниках является наиболее надежным приёмом для сохранения азота в помёте, улучшения физических свойств помёта, снижения затрат труда и повышения продуктивности кур. Лучший

материал для глубокой подстилки – сухой измельченный сфагновый торф с примесью измельченной соломы. Для подстилки можно использовать также сухую торфяную крошку низинного торфа, солому, мякину, древесные опилки. На пол птичника торф засыпают слоем 30 - 40 см. По мере загрязнения подстилку перемешивают с нижними слоями. Очистку птичника производят 2-3 раза в год. Можно закладывать глубокую подстилку и иным способом. Первоначально настилают ее слоем 5-10 см. По мере загрязнения подстилку перекапывают и настилают новый слой в 5-6 см и так поступают до тех пор, пока толщина слоя достигнет 40-60 см. Очистку птичника в этом случае производят также 2-3 раза в год.

Влажность подстилочного помёта колеблется от 30 до 50%. Наиболее высокого качества помётное удобрение получают на основе торфа и соломы, используемых в качестве подстилки (табл. 6.14).

Потери азота из птичьего помёта можно также предотвратить добавлением к нему суперфосфата в количестве 6-10% от веса сырого помёта. Суперфосфат добавляется к помёту только после удаления его из птичника. Полученное из помёта и суперфосфата концентрированное удобрение вносят под пропашные культуры (картофель, овощи) по 4-5 т/га, под зерновые – 2-2,5 т/га.

Свежий бесподстилочный помёт, который еще не содержит аммонийного азота, можно подвергнуть быстрой сушке на сушильных установках. Из 1 т сырого помёта получается 300-350 кг гранулированного или порошкообразного концентрированного органического удобрения влажностью 15-20%. При влажности 20% оно содержит: N – 4,5%, P₂O₅ – 3,7, K₂O – 1,8, CaO – 4,5, MgO – 1,6%. Термически высушенный помёт является в значительной степени обеззараженным и биологически малоактивным материалом, пригодным для длительного хранения. Однако сушка помёта требует больших энергетических затрат и может применяться лишь на тех птицефабриках, которые расположены вблизи городов или зон отдыха, где невозможно утилизировать его другим способом.

6.14. Состав различных видов подстилочного помёта при 40%-й влажности (% на сырое вещество)

Вид подстилки	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Торф	2,22	2,00	0,78
Опилки	1,60	1,40	0,62
Торф и солома	2,15	1,65	0,68
Солома	2,10	1,60	0,85

В свежем курином помёте, как правило, нет летучих форм азота, но при хранении в кучах он сильно разогревается и вследствие энергичного превращения мочевой кислоты в аммиачные соединения азот теряется. Потери азота при таком хранении за 1,5-2 месяца могут достигать 30-60% от общего его содержания в помёте. Эти потери можно устранить, если свежий помёт компостировать с торфом, перегноем, соломой, опилками, дерниной и даже с почвогрунтом.

Компостирование помёта является эффективным приемом его утилизации, увеличения выхода удобрений на его основе и защиты окружающей среды от загрязнения. Наиболее распространены торфопомётные компосты. Для получения высококачественного компоста, сбалансированного по элементам питания, уменьшения потерь азота, увеличения биологической активности рекомендуется на 1 т компостной массы добавлять 10-20 кг порошковидного суперфосфата или 20-30 кг фосфоритной муки. Можно использовать фосфогипс в количестве 5-10% от массы общего компоста. Добавление в компосты 1,5-2% хлористого калия предохраняет бурты зимой от промерзания.

Для быстрого и оптимального протекания процессов в компостах смесь должна удовлетворять требованиям: влажность 65-70%, отношение C : N от 20 : 1 до 30 : 1, pH 6-8. Перебивку штабелей проводят при снижении температуры в нем до 30-35°C. Компост считается созревшим, если температура в штабеле после перебивки больше не повышается. Процесс компостирования длится 1-2 месяца. Поскольку помёт является в основном азотно-фосфорным удобрением, то его использование обуславливает необходимость применения калийных удобрений.

Помётные удобрения целесообразно использовать в первую очередь под пропашные, затем под озимые и травы в качестве основного удобрения и в подкормки. В районах достаточного увлажнения помёт и его компосты можно заделывать дисковыми орудиями и культиваторами, на песчаных и супесчаных почвах более эффективно запахивание компостов. Заделку органических удобрений, в том числе и помётных компостов, хорошо проводить ярусными плугами ПЯ-3-35 при одноразовом внесении удобрений на ряд лет севооборота.

Помётные компосты по эффективности не уступают подстилочному навозу, а в отдельных случаях его превосходят. Примерные дозы помётных удобрений под сельскохозяйственные культуры представлены в табл. 6.15, 6.16.

6.15. Примерные дозы помётных удобрений под сельскохозяйственные культуры на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны (по данным научно-исследовательских учреждений, т/га)

Культура	Помёт				Компост
	сухой	естественной влажности	подстилочный	жидкий	
Озимые зерновые	3 - 4	13 - 15	10 - 15	45 - 50	20 - 25
Яровые зерновые	3	8 - 10	10 - 15	20 - 25	20 - 25
Картофель	4 - 5	15 - 20	20 - 25	60 - 70	40 - 50
Кукуруза на силос	4 - 5	15 - 20	15 - 20	60 - 70	40 - 60
Кормовые корнеплоды	4 - 5	15 - 20	15 - 20	60 - 70	30 - 50
Кормовая капуста	4 - 5	15 - 20	15 - 20	60 - 70	40 - 60
Овощи	6 - 8	20 - 25	20 - 25	60 - 70	40 - 60
Однолетние травы	–	–	13 - 15	50	20 - 30
Многолетние травы	5 - 8	10 - 15	–	30	–
Сенокосы и пастбища	–	15 - 20	–	30 - 40	–

6.16. Примерные дозы помётных удобрений под сельскохозяйственные культуры на черноземах и серых лесных почвах лесостепной зоны (по данным научно-исследовательских учреждений, т/га)

Культура	Помёт				Компост
	сухой	естественной влажности	подстилочный	жидкий	
Зерновые	2 - 5	5 - 7	6 - 8	20 - 25	10 - 15
Картофель	2 - 4	7 - 12	10 - 15	–	20 - 25
Кукуруза на зерно и силос	6 - 10	7 - 12	10 - 15	60 - 80	20 - 25
Сахарная свекла	5 - 8	7 - 12	10 - 15	50 - 60	20 - 25
Кормовые корнеплоды	5 - 8	7 - 12	10 - 15	50 - 60	20 - 25
Технические	5 - 8	10 - 12	12 - 15	–	20 - 25
Овощные	5 - 8	10 - 12	10 - 15	30 - 40	30 - 40
Однолетние травы на зелёный корм	–	5 - 8	8 - 10	23 - 25	10 - 15
Многолетние травы на зелёный корм и сено	–	–	–	15 - 20	–
Луга и пастбища	–	–	–	20 - 30	–
Чистый пар	–	5 - 8	7 - 10	30 - 40	15 - 20

6.7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛОМЫ НА УДОБРЕНИЕ

Солома является важным источником органического удобрения. Для этих целей она широко используется в зарубежной и отечественной сельскохозяйственной практике, в хозяйствах, специализирующихся на производстве зерна и обеспечивающих хорошую кормовую базу для животноводства. Научные предпосылки использования соломы на удобрение следующие.

1. Солома – источник питательных элементов. Химический состав соломы довольно широко изменяется в зависимости от почвенных и погодных условий. В среднем она содержит 0,5% азота, 0,25 – фосфора (P_2O_5), 0,8 – калия (K_2O) и 35-40% углерода в форме различных органических соединений. В соломе находятся некоторые количества серы, кальция, магния, различных микроэлементов (бор, медь, марганец, молибден, цинк, кобальт и др.).

При средних урожаях зерновых (20-30 ц/га) в почву с соломой будет возвращено 10-15 кг азота, 5-8 – фосфора (P_2O_5), 18-24 кг калия (K_2O), а также соответствующее количество микроэлементов.

2. Солома – активный энергетический материал для образования гумуса почвы и повышения микробиологической активности почвы. По химическому составу солома зерновых культур характеризуется довольно высоким количеством безазотистых веществ (целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин) и низким содержанием азота и минеральных элементов. Широкое отношение C : N в соломе (70-80) оказывает большое влияние на разложение ее в почве. Оно заключается в следующем. Солома поставляет микрофлоре почвы легкодоступный источник углерода. Целлюлозоразлагающие микроорганизмы испытывают сравнительно высокую потребность в азоте. Учитывая небольшое количество его в соломе, микроорганизмы потребляют минеральный азот из почвы, т.е. идет процесс иммобилизации азота. Если азота почвы ограниченное количество, то тормозятся процессы разложения соломы. Установлено, что для нормального протекания процессов разложения соломы отношение C:N должно быть 20-30:1. Более узкое соотношение этих элементов приводит к минерализации азотистых соединений, а более широкое – усиливает процессы иммобилизации азота.

Эффективность удобрения соломой заметно возрастает при дополнительном внесении азота. Сравнительная оценка удобрения соломой с компенсацией азота и навозом показывает их близкую эффективность. Важно при этом, чтобы с внесенной соломой и азотом достигалось соотношение C : N, равное 20 : 1.

При компостировании соломы в аэробных условиях выход гумуса составил 7,9%, а при добавлении к соломе минерального азота – 8,5% от общей массы соломы. Наиболее интенсивно гумус образуется в первые 4 месяца компостирования, в период разложения целлюлозы и гемицеллюлозы. При этом гумус накапливается в максимальном количестве в период самой высокой численности микроорганизмов, что указывает на причастность их к образованию гумуса.

В сочетании с соответствующим минеральным удобрением, жидким навозом или с используемыми в качестве сидератов бобовыми культурами солома по действию на содержание гумуса в почве часто не уступает эквивалентному количеству навоза.

3. Применение соломы для удобрения улучшает физико-химические свойства почвы, уменьшает потери азота, повышает доступность фосфатов и биологическую активность почвы, в результате чего улучшаются условия питания растений. Положительное действие соломы на плодородие почвы и урожай сельскохозяйственных культур возможно при наличии необходимых условий для ее разложения. Так, скорость микробного разложения соломы зависит от наличия в почве источников питания для микроорганизмов, их численности, видового состава и активности, типа почвы, ее окультуренности, температуры, влажности, аэрации и др. Например, разложение соломы усиливается при внесении различных источников азота, дополнительном внесении фосфора на почвах, бедных фосфором, внесении таких микроэлементов, как марганец, молибден, бор, медь и др.

Отмечено также, что интенсивность разложения клетчатки возрастает от дерново-подзолистых почв к серым лесным и чернозёмам. Оптимальная температура разложения клетчатки 28 - 30°C и влажность почвы 60 - 70% от полной ее влагоемкости. Интенсивность разложения соломы в верхнем слое почвы заметно выше, что объясняется хорошей аэрацией почвы, а также большой численностью и разнообразием видового состава микроорганизмов.

Внесение соломы в почву усиливает азотфиксирующую способность, ферментативную активность почвы.

4. Часто в первый год внесения соломы урожай злаковых культур снижается. Это объясняется наличием в соломе и образованием токсических соединений в процессе ее разложения, а также ухудшением условий азотного питания растений при закреплении почвенного азота микроорганизмами в связи с широким отношением в соломе C : N.

Особое значение удобрение соломой имеет для бобовых культур, фиксирующих молекулярный азот атмосферы. Более высокий эффект от соломы получается при обработке семян бобовых нитрагинем,

поэтому на площадях, удобренных соломой, желательно размещать в первую очередь бобовые или пропашные культуры. Заблаговременно внесенная в почву солома стимулирует азотфиксирующую способность бобовых и существенно повышает их урожай. Питание азотом пропашных культур обеспечивается вследствие мобилизации азота почвы при ее междурядных обработках.

5. Азот минеральных удобрений снижает депрессирующее действие соломы на зерновые культуры. Имобилизованный в присутствии соломы азот минеральных удобрений характеризуется большей подвижностью, меньшей устойчивостью к кислотному гидролизу и минерализуется интенсивнее, чем азот, имобилизованный без соломы, особенно азот гумуса. В последствии соломы усиливаются процессы мобилизации азота в почве, повышается использование растениями как имобилизованного азота удобрений, так и азота почвы, что и определяет положительное ее действие на урожай последующих культур.

Основные функции соломы в качестве удобрения представлены на рис. 6.1. Благодаря этим функциям, солому активно применяют в качестве удобрения различными (приведёнными далее) способами.

1. Измельченную и разбросанную по полю солому запахивают осенью при подъёме зяби или весной в районах достаточного увлажнения. Целесообразно этот прием сочетать с зелёным удобрением.



Рис. 6.1. Основные функции соломы в качестве удобрения

нием. Это позволяет в большинстве случаев исключить внесение минерального азотного удобрения, а также создает благоприятные условия для образования гумуса в почве после запахивания.

2. На почвах тяжёлого гранулометрического состава и во влажных климатических условиях разбросанную по полю солому не запахивают, а заделывают поверхностно луцильником, дисковой бороной или фрезой. Такой способ заделки в этих случаях дает лучший эффект по сравнению с заделкой ее плугом. Там, где возможно, после поверхностной заделки соломы желателно посеять промежуточную пожнивную, лучше бобовую культуру.

3. Солому используют также в качестве мульчи для борьбы с водной и ветровой эрозией почвы. Мульчирование создает благоприятные условия для питания воды в почву, уменьшает, а иногда и полностью устраняет опасность поверхностного стока, способствует более равномерному распределению воды по поверхности почвы, улучшает структуру пахотного горизонта, ослабляет испарение влаги.

4. При оставлении стерни и соломы, в случае замены обычной обработки почвы безотвальной, на 40 - 60% уменьшается скорость ветра над поверхностью почвы, вследствие этого угроза ветровой эрозии становится менее опасной, поэтому в зонах, подверженных ветровой эрозии, где обработку почвы проводят безотвально, заделывать солому в почву не рекомендуют.

5. На площадях, удобренных соломой, желателно в первую очередь размещать бобовые или пропашные культуры. При посеве на этих площадях злаковых культур полезно внести азотные удобрения из расчета 8 - 10 кг азота на 1 т соломы. Вносимый вместе с соломой азот в общей норме минеральных удобрений не учитывается, так как он включается в общий оборот азота почвы и может играть определенную роль лишь при систематическом применении соломы на удобрение в севообороте.

Норма дополнительного внесения азота с соломой может существенно различаться и зависит от климата, плодородия почвы, вида соломы, зеленого удобрения, вида высеваемой на этих площадях культуры. Во всяком случае установлено, что депрессивное действие соломы на первой культуре можно предотвратить, если внести такое количество минерального азота, которое обеспечит отношение $C : N$, равное 20 : 1.

6. Систематическое внесение высоких норм азотных удобрений в севообороте, особенно при возделывании пропашных культур, часто полностью удовлетворяет потребность в этом питательном элементе как растений, так и микроорганизмов. В этом случае

внесение дополнительного азота при удобрении соломой может не дать положительного эффекта. В то же время на почвах, недостаточно окультуренных, при удобрении соломой и посеве промежуточной пожнивной небобовой культуры норма азота может быть повышена до 15 - 20 кг на 1 т соломы.

7. Хороший эффект наблюдается при комбинации удобрения соломой и зеленого удобрения. При этом могут быть использованы различные виды зеленого удобрения: самостоятельные посевы, пожнивные или подсевные культуры. Лучшее действие отмечается при использовании на зеленое удобрение бобовых культур, так как солома оказывает положительное действие на рост бобовых и фиксацию ими азота из атмосферы. Даже при подсеве под злаковую культуру клевера и осенней запашке его с соломой отпадает необходимость во внесении минерального азота, так как его достаточно накапливается клевером. Если в качестве поживного зеленого удобрения используется небобовая культура, то возникает необходимость во внесении минеральных азотных удобрений. Во всех случаях хороший положительный эффект от комбинации соломы на удобрение и сидерации получается при высоком урожае культур, высеваемых на зелёное удобрение.

Приемы внесения и способы заделки соломы представлены на рис. 6.2.

Минеральные азотные удобрения можно заменить бесподстилочным жидким навозом из расчета не менее 6-8 т на 1 т соломы. При таком сочетании это удобрение будет действовать не хуже обычного подстилочного навоза.

Применение соломы на удобрение с добавлением небольшого количества минерального азота либо в сочетании с бесподстилочным навозом или с зеленым удобрением испытано во многих республиках



Рис. 6.2. Приёмы внесения и способы заделки соломы

и почвенно-климатических условиях и дало хороший положительный эффект. Например, в Белоруссии на типичных для республики дерново-подзолистых, сильнооподзоленных почвах, на легких суглинках и на легких супесчаных раздельное внесение в почву 3 т/га измельчённой соломы и 27 т/га жидкого навоза оказало практически такое же влияние на урожай культур звена севооборота (картофель, ячмень, многолетние травы), как и 30 т/га подстилочного навоза.

Все это свидетельствует о необходимости широкого использования на удобрение излишков соломы в качестве важного источника гумуса почвы, как фактора ее плодородия. Схематично пути повышения эффективности соломы, применяемой в качестве удобрения представлены на рис. 6.3.

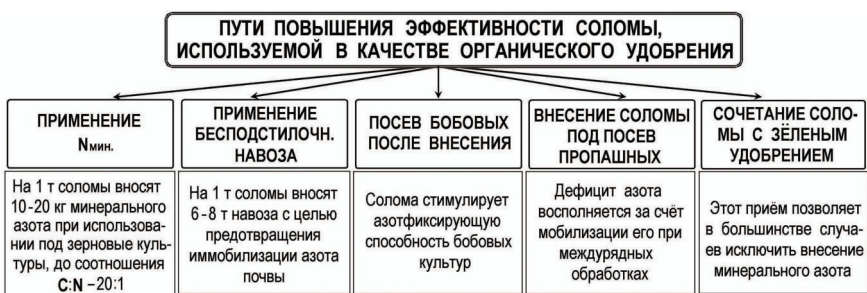


Рис. 6.3. Пути повышения эффективности соломы, применяемой в качестве удобрения

6.8. ЗЕЛЁНОЕ УДОБРЕНИЕ (СИДЕРАТЫ)

В условиях интенсивного земледелия наблюдается активная минерализация гумуса. А это приводит к ухудшению агрохимических, физико-химических, биологических и других свойств почвы, т.е. к снижению ее плодородия, поэтому комплексное использование всех видов органических удобрений для пополнения запасов гумуса в почве, создания не только бездефицитного, но и положительного его баланса – важная задача современного земледелия. В этой связи зеленым удобрениям должно быть уделено значительно большее внимание как мощному средству повышения плодородия почвы.

Зелёное удобрение (сидераты) – это сельскохозяйственные культуры, выращенные на зеленую массу для заделки в почву в качестве органического удобрения. Это один из эффективных способов повышения плодородия почв. Основные научные предпосылки применения зеленого удобрения состоят в следующем.

1. Зелёное удобрение – важнейший источник гумуса и азота в почве. При запашке высоких урожаев зеленой массы сидератов 35-40 т/га в почву попадает 150-200 кг азота, что равноценно 30-40 т навоза. Коэффициент использования азота зеленого удобрения (в первый год действия) вдвое выше, чем такой же коэффициент навоза. Бобовые сидераты обогащают пахотный слой почвы усвояемым фосфором, калием и другими элементами. Так, на легких почвах в Вуберне (Великобритания) ежегодное запахивание сидератов в течение 7 лет увеличило содержание органического вещества на 10%, на Ротамстедской опытной станции использование зеленого удобрения в течение 30 лет накопило органического углерода в почве около 35 т/га. В Баварии (ФРГ) применение зеленого удобрения на суглинистой почве в течение 25 лет повысило содержание гумуса с 2,2-2,3 до 2,8%, в то время как при внесении только минеральных удобрений содержание гумуса в почве снизилось до 1,9%.

Зеленое удобрение изменяет фракционный состав гумуса. Так, в длительных опытах на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве зеленая масса люпина увеличивала содержание гуминовых кислот на 20-30%, в то время как абсолютное и относительное содержание фульвокислот уменьшалось. В условиях Средней Азии на типичных сероземных почвах промежуточные культуры на зеленое удобрение вместе с посевами люцерны в хлопково-люцерновых севооборотах существенно улучшают баланс гумуса в почве, мобилизуют накопление в почве доступного для растений фосфора из слабо-растворимых фосфатов.

2. Зелёное удобрение улучшает агрохимические, физико-химические и физические свойства почвы. Они повышают величину pH, сумму поглощенных оснований, снижают величину гидролитической кислотности и подвижного алюминия. Обогащая почву органическим веществом, зеленое удобрение повышает связность песчаных и супесчаных почв, что улучшает их водно-физические и физические свойства.

На серой лесной среднесуглинистой почве Северного Зауралья запашка сидератов снижала объемный вес почвы в 10-сантиметровом слое на 0,07-0,11 г/см³, а в слое 10-20 см – на 0,06-0,12 г/см³. По данным Донского зонального НИИСХ, по снижению объемного веса сидераты были эквивалентны 20-30 т навоза на 1 га. В Дагестане зеленые удобрения при террасировании склонов в среднем за 4 года уменьшили объемный вес почвы в слое 40 см на 9,5%, а содержание гумуса в пахотном слое увеличилось на 0,54-0,71%.

3. Повышение содержания гумуса и улучшение агрохимических и агрофизических свойств почвы под влиянием сидерации приводит к усилению биологической активности почвы, почвенный и надпочвенный воздух обогащается углекислым газом, что улучшает воздушное питание растений. Активизируется деятельность почвенной микрофлоры. Запашка пожнивных сидератов увеличивает количество микроорганизмов в 30-сантиметровом слое в 1,5-2 раза по сравнению с контролем, а при сочетании сидерата с минеральными удобрениями – в 2-3 раза.

Запашка пожнивной на зеленое удобрение гречихи на дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой слабокультуренной почве в Московской области с массой 200–300 ц/га значительно повысила биологическую активность почвы, способствовала увеличению содержания в ней нитратного азота за счет интенсивной минерализации органического вещества.

Положительный эффект от подзимних посевов рапса, горчицы, ржи, ячменя, вики туркменской получены и в условиях Узбекистана. Посеянные в сентябре-октябре, они к началу апреля накапливают надземную зеленую массу свыше 25-40 т/га. Запашка такого количества органической массы в апреле существенно улучшает свойства почвы, значительно активизирует микробиологическую активность, повышается содержание нитратов, сапрофитных микроорганизмов и актиномицетов. Все это оздоравливает почву от патогенной микрофлоры, в том числе и от вилта, поэтому зимние посевы промежуточных культур рекомендуется подсевать в растущий хлопчатник, и в первую очередь на зараженных вилтом полях.

Применение зеленых удобрений в чистом виде и в сочетании с соломой приводило и к изменению видового состава споробразующих бактерий на опытных полях Тимирязевской сельскохозяйственной академии. При запашке зеленого удобрения и соломы растет доля бактерий, использующих минеральный азот почвы, что является показателем интенсивно идущего процесса разложения органического материала.

4. Зелёное удобрение является важным звеном интенсивного земледелия, выполняющим функцию защиты окружающей человека природной среды от загрязнения. Так, с развитием химизации земледелия, с увеличением темпов применения минеральных удобрений возрастают потери биогенных элементов в окружающую среду: за счет смыва с поверхности почвы, миграции в более глубокие слои почвы, недоступные для растений, усиления процессов денитрификации и т.д. И чем больше пашня не занята растительностью, тем больше эти

потери. И в этом смысле растущие промежуточные сидераты, особенно многолетний люпин, вегетирующий осенью и весной между основными культурами севооборота, предотвращают потери питательных элементов из пахотного слоя почвы, защищают ее от процессов водной и ветровой эрозии, т.е. являются элементами почвозащитной системы земледелия.

К таким удобрениям относятся пожнивныи посевы, а также осенние и подзимние (посев в сентябре - октябре и позже с заашкой весной). Такие посевы применяются в орошаемых районах Средней Азии, во влажных субтропиках побережья Кавказа и в Закавказье. В этих районах промежуточное зеленое удобрение не только обогащает почву органическим веществом и биологическим азотом, но и предохраняет почву от водной и ветровой эрозии, предотвращает выщелачивание питательных элементов, особенно на легких почвах, т.е. является средством охраны окружающей среды.

5. Зелёное удобрение выполняет и важную фитосанитарную роль. Так, запаханная растительная масса многолетнего люпина оказывает фитосанитарное действие; клубни картофеля меньше поражаются паршой, что очень важно при выращивании семенного картофеля. В опытах НИИ земледелия и животноводства западных районов Украины на участках, где запахивали люпин в качестве пожнивного зеленого удобрения в годы с большим количеством осадков, пораженных клубней было лишь 1-2%, а на участках без люпина загнивание клубней достигало 7-8%.

Большой вред сельскохозяйственным культурам причиняют фитопатогенные грибы, вызывающие корневые гнили. Основными носителями инфекции корневых гнилей являются растительные остатки и семена. Чем быстрее разлагаются органические остатки в почве, тем активнее гриб выводится из состояния покоя, а почва освобождается от инфекции. Пожнивныи сидераты способствуют увеличению в почве количества актиномицетов (антагонистов возбудителя корневой гнили), численности сапрофитной микрофлоры, ускоряющей минерализацию растительных остатков и вытесняющей фитопатогенные грибы.

В общем виде функции зеленого удобрения схематично отражены на рис. 6.4.

Все перечисленное лишь подтверждает, что зеленое удобрение – важное звено научного земледелия. Оно оказывает на почву и систему земледелия комплексное воздействие: способствует накоплению гумуса и азота, что в значительной степени улучшает физические ее свойства (влагоемкость, связность, плотность и т.д.), а также снижает



Рис. 6.4. Функции зелёного удобрения

дефицит азота в системе почва-растение; существенно возрастает продуктивность севооборота и качество получаемой продукции. В севообороте зеленое удобрение следует рассматривать как звено почвозащитной системы земледелия.

Систематическое научно обоснованное применение зелёного удобрения в комплексе с другими приемами агротехники, как правило, способствует повышению рентабельности сельскохозяйственного производства. Особенно высокая эффективность от зеленых удобрений наблюдается на легких песчаных почвах с плохими агрохимическими, физико-химическими, биологическими и водными свойствами. В районах Центральной Нечерноземной зоны легкими почвами занято около 20% пашни, а в отдельных областях (Брянская, Владимирская и др.) – 50 - 60%.

В качестве сидератов используются бобовые культуры: многолетних и однолетних люпины, сераделла, донник, озимая и яровая вика, горох, пелюшка, чина, чечевица, эспарцет, клевер, люцерна и др. Из небобовых культур интерес представляют горчица, гречиха, озимый и яровой рапс, озимая рожь, фацелия и др. Удобрительное действие зеленой массы бобовых культур по своей силе не уступает навозу. Зеленое удобрение может быть нескольких видов (рис. 6.5).

1. *Самостоятельное*, если поле занимают бобовым растением с весны и почти весь вегетационный период. Оно может быть запахано как под озимые, так и под яровые посевы. Это зелёное удобрение занимает самостоятельное поле севооборота.

Практика отечественного земледелия показывает, что по мере окультуривания почв, вследствие комплексного использования всех видов минеральных и органических удобрений, введения специализированных севооборотов и т.д., наиболее целесообразно вводить

ВИДЫ ЗЕЛЁНОГО УДОБРЕНИЯ

САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ	ПРОМЕЖУТОЧНОЕ	УКОСНОЕ	ОТАВНОЕ
<p>Занимают самостоятельное поле севооборота в период всей вегетации.</p> <p>Используется на неокультуренных почвах в сочетании с другими приемами ускоренного окультуривания почв (органические, минеральные удобрения, известкование и др.)</p>	<p>Между уборкой урожая одной культуры и посевом другой в севообороте (пожнивные посевы).</p> <p>Осенние и подзимние (посев в сентябре–октябре и позже, а заплата – весной).</p> <p>В орошаемых районах Средней Азии, в субтропиках Закавказья</p>	<p>Выращивают в выводном клину, скашивают и перевозят на поля севооборота.</p> <p>Лучше многолетний алкалоидный люпин, у которого семена вызревают даже в северных районах</p>	<p>Используют для заправки после отрастания рано скошенных бобовых культур.</p> <p>Применяется в Нечерноземье, в Сибири, на Дальнем Востоке, в Заволжье</p>

Рис. 6.5. Виды зелёного удобрения

промежуточное зеленое удобрение, не нарушая чередования культур в севооборотах. Применение же сидеральных паров, т.е. самостоятельного зеленого удобрения, представляет большой интерес на неокультуренных, бедных органическим веществом почвах с низким плодородием. Поэтому практика использования чистых паров в Нечернозёмной зоне не является агротехническим прогрессивным приемом. Более эффективны в этой зоне сидеральные пары. Для ускорения же окультуривания подзолистых почв эффективность зеленого удобрения возрастает при использовании его в сочетании с навозом, различными компостами и минеральными удобрениями.

2. *Промежуточное*, если сидерат высевают между снятием урожая одной культуры и посевом другой. К этому зеленому удобрению относятся пожнивные посевы, а также осенние и подзимние (посев в сентябре-октябре и позже, заплата весной). Такие посевы применяются в орошаемых районах Средней Азии, во влажных субтропиках побережья Кавказа и Закавказья.

3. *Укосное* удобрение выращивают в выводном клину, а затем перевозят в поля севооборота и запахивают. Для этого лучше всего подходит многолетний люпин. Преимущество его еще в том, что он вызревает на семена даже в северных районах Нечернозёмной зоны, в то время как семена кормового люпина нужно завозить из Полесья Украины, Белоруссии или южных районов Нечерноземной зоны.

4. *Отавное* удобрение используют для заправки после отрастания рано скошенных бобовых культур. Применяется оно главным образом на посевах дерново-подзолистой зоны, особенно легкого гранулометрического состава, имеет значение в Сибири, на Дальнем Востоке, В качестве отавных сидератов в орошаемых районах Туркмении, Таджикистана, Узбекистана, Закавказья, Киргизии, Казах-

стана имеют значение озимый горох, чина, кормовой горох. В районах ирригации Заволжья применяются чина, донник.

Пожнивные промежуточные сидераты высевают после скороспелой яровой культуры, например после ячменя, и под зябь запахивают. С этой целью уборку проводят быстро и после подготовки почвы сеют растения на зеленое удобрение. В этом случае успевают накопить значительную массу чина, вика яровая. В качестве зелёного удобрения рекомендуется также донник, который подсевают весной к какой-либо зерновой культуре, например к ячменю. После уборки основной культуры, ко времени наступления холодов донник успевает накопить достаточную массу.

Важно, чтобы сидеральные культуры давали не только высокий урожай зелёной массы на корм скоту, но и оставляли после себя значительное количество органических веществ, что улучшает агрохимические и физические свойства малоплодородных земель.

Зелёное удобрение широко используется во многих странах мира. Анализ состояния этого вопроса показывает, что почти везде в качестве зелёного удобрения используются промежуточные культуры. И только на сильно истощенных почвах, а также на участках, удаленных на значительное расстояние от животноводческих ферм, применяются самостоятельные посевы многих культур на зелёное удобрение.

Самостоятельное зелёное удобрение применяется и в ряде других случаев: на участках, вышедших из-под раскорчевки древесной и кустарниковой растительности при освоении новых земель или укрупнении полей севооборотов, к которым прирезаются участки полей с низкой окультуренностью почвы, для повышения плодородия которых необходима заправка органическими удобрениями.

В условиях интенсивного земледелия Белоруссии и Нечерноземья России важной промежуточной культурой является сидеральный многолетний люпин. Он растет на самых бедных неокультуренных почвах. Поэтому при недостатке в хозяйстве навоза и других органических удобрений, а также на участках, удаленных от животноводческих ферм, многолетний люпин может с успехом применяться в качестве сидеральной культуры, существенно повышающей плодородие почвы. При использовании многолетнего люпина при окультуривании почв, не нарушая схемы чередования культур в севообороте, за один раз запахивается 30-50 т/га экономически выгодных органических удобрений, что при 3-разовой запашке обеспечивает в 8-польном севообороте среднегодовое внесение растительной массы люпина не менее 14-19, а в 10-польном – 11-15 т/га.

Хороший эффект отмечается на картофеле, если он размещается после озимой ржи с подсевом многолетнего люпина как промежуточной культуры.

Обычно многолетний люпин подсеивается под озимую рожь. После ее уборки люпин растет до поздней осени. Весной его вегетация начинается сразу после схода снега. До заделки под картофель весной люпин наращивает до 20 т/га зеленой массы, а вместе с корневыми остатками растительная масса составляет 30-50 т. После зеленого удобрения в севообороте размещаются также гречиха, кукуруза или подсолнечник на силос, вико-овсяная смесь на зеленый корм и др.

Внесение зеленого удобрения является эффективным и доступным приемом повышения урожайности сельскохозяйственных культур на малоплодородных почвах.

Прибавка урожая зерна ржи от люпинового зеленого удобрения составляет на песчаных почвах 4,2 ц/га, на супесчаных – 4,7, на суглинистых – 7,7 ц/га (среднее из 36 опытов). Высокая эффективность зеленого удобрения сказывается и на других культурах, даже на легких почвах его последствие отмечается в течение ряда лет.

Зеленое удобрение можно с успехом применять в зоне достаточного увлажнения на всех почвах, а также в зоне орошаемого земледелия. Большой интерес представляет оно в орошаемых районах Поволжья, Средней Азии и субтропиков Закавказья, где обеспеченность теплом и влагой способствует быстрому накоплению сидератами органического вещества.

В Нечерноземной зоне зеленое удобрение играет важную роль, и возможности его использования практически не ограничены. Например, в центральных областях Нечерноземья после уборки озимых и ранних яровых зерновых культур поля не заняты культурами более 60 дней с суммой эффективных температур 800-1000°C, что составляет 30-40% агроклиматических ресурсов всего теплового периода года. Кроме этого, существенный запас таких ресурсов имеется и в весенний период до посева поздних яровых. Такое количество осадков и тепла достаточно для успешного возделывания подсеиваемых и пожнивных культур. Это можно делать южнее линии Санкт-Петербург – Калинин – Иваново – Н. Новгород – Казань – Уфа.

В Нечерноземной зоне особое значение в качестве сидеральной культуры имеет люпин однолетний узколистный (алкалоидный), однолетний кормовой (малоалкалоидный) и многолетний (алкалоидный). В связи с введением в культуру кормового люпина широко практикуется двустороннее использование сидератов: 1) зеленую массу кормового люпина убирают на силос, а пожнивную и корневые остатки

запахивают в качестве удобрения под озимые культуры; 2) кормовой люпин выращивают на зерно, а солому и корневые остатки запахивают в почву; 3) зеленую массу скашивают в начале бутонизации или цветения, используя ее на корм. Поле оставляют невспаханым для отрастания отавы. При хорошей погоде люпин хорошо отрастает, и полученную отаву запахивают на зеленое удобрение. При таком способе можно собрать 200-300 ц/га зелёной массы на силос и вырастить 100 - 150 ц/га отавы на зелёное удобрение.

Таким образом, зелёное удобрение является важным фактором повышения плодородия почвы в условиях интенсивного земледелия. Оно улучшает баланс гумуса, обогащает почву азотом, что способствует лучшему использованию фосфора, калия, микроэлементов.

Запашка зелёного удобрения способствует улучшению агрохимических, водно-физических и биологических свойств почвы, что существенно повышает ее плодородие. Кроме этого, сидерация сокращает время нахождения почвы без растительности, что сохраняет почву от водной и ветровой эрозии, предотвращает потерю питательных веществ за счет миграции по профилю почвы, а также улетучивание азота вследствие процессов денитрификации.

Зелёные удобрения снижают засоренность полей, выполняя фитосанитарную роль. Они повышают продуктивность севооборота, качество получаемой продукции.

6.9. САПРОПЕЛЬ

Сапропель (от греч. *sapros* – гнилой и *pelos* – грязь, ил) – донные отложения пресноводных водоёмов различной окраски – от розовой до темно-коричневой. На воздухе естественная окраска исчезает. Представляет собой органоминеральные соединения и используется для производства сапропелевых удобрений. Сапропель образуют остатки растений и животных, минеральные и органические примеси, приносимые в водоёмы водой и ветром. Сохнет медленно, с трудом отдавая влагу, но высохнув, становится очень твердым и вновь не намокает. Содержит гуминовые кислоты, фульвокислоты, гемицеллюлозу, целлюлозу, битумы, золу (в среднем 20 - 60%).

Общие запасы сапропеля в России оценены в 92 млрд. т в пересчёте на 60%-ю влажность, в республике Беларусь – 2,76 млрд. м³.

Сапропель добывают земснарядами с намывом пульпы в отстойники, где в первый год он обезвоживается, а на второй после промораживания (в результате чего он становится рыхлым) его сушат и он превращается в сыпучую массу влажностью около 50%. Состав органической массы сапропеля в зависимости от месторождений

изменяется в широких пределах: гуминовые кислоты – 11,3-43,4%, фульвокислоты – 2,1-23,5, негидролизующий остаток – 5,1-22,6, гемицеллюлоза – 9,8-52,5, целлюлоза – 0,4-6, водорастворимые вещества – 2,4-13,5, битумы А – 3,4-10,9, битумы С – 2,1-6,6%, от 0,6 до 2,6% общего азота, от 0,14 до 0,19 – фосфора, от 2,5 до 43,8 – кальция, от 0,3 до 2,3% – магния. Почти не содержат калия (следы). Доступного азота и фосфора в сапропеле в 3 раза меньше, чем в навозе. Содержание органического вещества колеблется от 12 до 80%, золы – от 19 до 88% (в сухом веществе), в том числе до 20-30% углекислого кальция и магния. Качество сапропелевых удобрений регламентируется техническими условиями (табл. 6.17).

В сапропелях содержится значительное количество микроэлементов в 1 кг сухой массы может содержаться 200-1000 мг марганца, 10-400 мг цинка, 10-200 мг бора, 2-60 мг меди и 1-20 мг молибдена.

В сапропелях в зависимости от места расположения водоёма может содержаться и значительное количество тяжелых металлов.

В зависимости от содержания кремнезема (SiO_2) и оксида кальция (CaO) сапропели подразделяют на *органические* (зольность менее 30%), *кремнезёмистые* (содержат более 50% кремнезёма), *известковистые* (содержат более 30% оксида кальция) и *смешанного состава*. Известковистые сапропели в качестве известкового удобрения не хуже мела и доломитовой муки.

6.17. Физические и химические показатели сапропелевых удобрений

Наименование показателя	Нормы по видам удобрений		
	Органические	Органо-кремнезёмистые	Органо-известковистые
Массовая доля частиц крупнее 10 мм, %, не более	20	20	20
Массовая доля влаги, %, не более	60	60	50
Зольность, %, не более	50	70	65
Массовая доля общего азота, % на сухой продукт, не менее	1,5	1,0	не регламентируется
Обменная кислотность, рН, не менее	5,0	5,0	не регламентируется
Массовая доля оксида кальция, %, не менее	–	–	17
Удельная активность радионуклидов (цезий 137), Бк/кг	не более 300		

Сапрпель обладает рядом ценных специфических свойств. Высокая водоудерживающая и низкая фильтрационная способности сапрпеля способствуют улучшению водно-физических свойств легких почв. Обладая клеящей способностью, сапрпель при взаимодействии с почвой улучшает ее структуру, придает ей комковатость, рыхлость, увеличивается воздухопроницаемость.

Сапрпель используют в качестве органического удобрения, как в чистом виде, так и в виде компостов с навозом, навозной жижей, фекалиями.

Сроки внесения и способы заделки сапрпеля под все культуры принципиально не отличаются от таковых для других органических удобрений. Вместе с тем, сапрпелевые удобрения не обязательно заделывать в почву сразу же после распределения по полю, это можно сделать спустя 3-7 дней. Целесообразнее использовать сапрпель на песчаных и супесчаных почвах, т. к. эффективность его здесь значительно выше, чем на почвах более тяжелого гранулометрического состава.

По удобрительной ценности 1 т сапрпелей равноценна 0,6-0,7 т торфонавозных компостов. Применение сапрпеля в качестве местного удобрения требует больших затрат на его добычу, транспортировку и внесение. Экономически оправдана перевозка сапрпелей на расстояние до 20 км.

Сапрпель вносят под удобряемые культуры в нормах, которые определяются для каждого поля, исходя из конкретных условий, биологических особенностей выращиваемой культуры, агрохимической характеристики удобрения. Целесообразно определять нормы сапрпеля по эквиваленту находящихся в нём элементов питания растений и прежде всего азота.

Сапрпель применяется в дозах 30-40 т на га под злаковые, 50-100 т – под овощные.

6.10. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И БАКТЕРИАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Уровень потенциального и эффективного плодородия почвы в значительной мере обуславливается интенсивностью и направленностью микробиологических процессов, что, в свою очередь, регулируется численностью соответствующих микроорганизмов в почве. Для ее обогащения применяют *микробиологические и бактериальные удобрения* – это препараты высокоактивных микроорганизмов, улучшающих условия питания сельскохозяйственных культур. Они не содержат в своём составе необходимые растениям макро- и

микроэлементы. В них имеются специфические штаммы микроорганизмов, с помощью которых в почве активизируются процессы превращений соединений, содержащих необходимые для растений питательные вещества (азот, фосфор, калий).

Наиболее широкое распространение получили препараты, содержащие азотфиксирующие микроорганизмы. Биологический азот в почве накапливается в результате симбиотической, несимбиотической и ассоциативной азотфиксации. Симбиотическую азотфиксацию осуществляют клубеньковые бактерии, локализованные в клубеньках на корнях бобовых культур. В симбиозе с клубеньковыми бактериями бобовые способны удовлетворять до 60-90% своей потребности в азоте за счёт биологической азотфиксации. Однолетние зернобобовые культуры (люпин, горох и др.) за сезон связывают на гектаре от 50 до 100 кг азота, примерно половина остается в почве, многолетние бобовые травы (клевер, люцерна) – 180-300 кг и больше, из которого с корнями и пожнивными остатками 70-100 кг остается в почве.

Интерес к проблеме микробиологической фиксации атмосферного азота обусловлен не только главной ролью этого процесса в азотном балансе биосферы земли, но и его перспективностью как источника связанного азота для обеспечения быстрорастущих нужд сельского хозяйства и промышленности. Важным аргументом при этом выступает его полная безвредность для человека и окружающей среды и относительно небольшие затраты энергии на активизацию микроорганизмов, осуществляющих азотфиксацию. Наряду с симбиотической азотфиксацией в последние 20 лет достигнуты существенные успехи в изучении ассоциативной азотфиксации, которая превратилась в самостоятельный раздел учения о «биологическом азоте».

Многочисленные полевые исследования отечественных и зарубежных ученых показали, что если сельскохозяйственные культуры 10-20% своей потребности в азоте покроят за счет фиксации из атмосферы, то приём инокуляции может внести значительный вклад в азотный баланс.

Препаративные формы микробных удобрений: жидкие, гранулированные, гелеобразные, сыпучие.

Страны производители бактериальных удобрений и объёмы производства (га/порций ежегодно): США – 20 млн., Канада – 2,5, Австрия – 6-9, Бразилия – 4-6, Индия – 2-4, Аргентина – 2-3, Уругвай – 1-2, Россия – 0,3 млн.

Нитрагин – бактериальный препарат, содержащий активные расы клубеньковых бактерий – *Bacterium radicola*, которые живут на корнях бобовых растений и усваивают азот из воздуха, используя

при этом поступающие к корням углеводы. Каждой бобовой культуре соответствуют специфичные для нее клубеньковые бактерии, интенсивно поглощающие азот атмосферы. Поэтому в зависимости от культуры, под которую его используют, нитрагин должен содержать специфичные, высокой активности и вирулентности штаммы клубеньковых бактерий

По специфичности выделяются следующие группы бактерий: 1-я – для клевера; 2-я – гороха, вики, чины, чечевицы, конских бобов; 3-я – люцерны, донника и пажитника; 4-я – люпина, сераделлы; 5-я – сои; 6-я – фасоли; 7-я – маша; 8-я – арахиса и коровьего гороха; 9-я – нута; 10-я – для эспарцета.

Прививку клубеньковых бактерий бобовым культурам называют *инокуляцией*. Проводят ее путем обработки нитрагином семян бобовых растений, которые, прорастая, взаимодействуют с клубеньковыми бактериями, проникающими в корни растений.

Ризобактерин и его усовершенствованная форма Ризобактерин-С – разработан на основе ассоциативного диазотрофа, титр 2-2,5 млрд. жизнеспособных клеток/мл, обладающего множественным эффектом (фиксация атмосферного азота, биосинтез ИУК, подавление жизнедеятельности корневых патогенов). Форма препарата – жидкая. Ризобактерин предназначен для предпосевной обработки семян зерновых культур (200 мл/га) с целью повышения их урожайности, качества продукции и интенсификации процесса биологической азотфиксации.

Основа препарата – азотфиксирующий микроорганизм (*Klebsiellaplanticola* 5), которому свойственна азотфиксация, высокая колонизирующая способность, ростостимуляция, антимикробное действие. Активное усвоение азота атмосферы и использование его растениями позволяет снизить рекомендуемые дозы азотных удобрений под зерновые культуры на 15-30 кг/га. Прибавка урожая составляет в среднем: ячмень – 5-6 ц/га, озимая рожь – 6 ц/га, яровая и озимая пшеница – 3,5-4,5 ц/га.

Замена минерального азота удобрения на биологический азот еще не означает продуктивного его использования, поскольку метаболизм растений в значительной степени зависит от других элементов питания, в частности, фосфора. При его недостатке азот не включается в состав белков и нуклеиновых кислот растений, а накапливается в виде нитритов и нитратов, что ухудшает качество продукции.

Азотобактерин – бактериальный препарат, содержащий культуру азотобактера – *Azotobacter chroococcum* – микроорганизма, свободноживущего в почве и усваивающего атмосферный азот.

Кроме того, азотобактерин выделяет витамины и ростовые вещества, оказывающие на растения стимулирующее действие, и обладает фунгистатическим действием, т.е. препятствует развитию грибов, тем самым предохраняя растения от заражения ими.

Азотобактерин применяется при выращивании любых сельскохозяйственных культур. Для использования в качестве удобрений изготавливается два вида азотобактерина: перегнойно-почвенный, или торфяной, и агаровый.

Фосфобактерин – препарат, содержащий спороносную бактерию *Bacillus megaterium var. phospaticum* способную минерализовать фосфор органических соединений. Выпускается в сухом и жидком виде. Сухой фосфобактерин содержит споры бактерий в смеси с каолином. На 1 га посева берут 250 г порошковидного фосфобактерина.

Фитостимифос – фосфатмобилизующие микроорганизмы, действующим началом которого является живая культура и ростостимулирующие метаболиты микроорганизмов *Agrobacterium-radiobacter*, титр 6 - 10 млрд. жизнеспособных клеток/мл – ростстимулирующий биопрепарат, осуществляющий микробиологическую трансформацию труднорастворимых фосфатов почвы и удобрений в доступную растениям форму. Они способны колонизировать корни бобовых и небобовых культур образуя тесную ассоциацию. Фитостимифос предназначен для микробиологической фосфатмобилизации и повышения урожайности озимых и яровых зерновых культур, кукурузы, зернобобовых и овощных культур. Форма препарата – жидкая. Норма расхода 200 мл/га. Основа препарата – фосфатмобилизующий микроорганизм, повышает подвижность труднорастворимых фосфатов почвы и удобрения на 10 - 20%, позволяет компенсировать на 15 - 30% рекомендуемые дозы фосфорных удобрений, увеличивает урожайность в среднем на 20% (в т. ч. прибавка урожая кормовых корнеплодов 100 - 250, сахарной свеклы – 90 - 95, овощных культур – 60 - 70, зернобобовых – 2,5 - 3,5 ц/га).

В целом ряде стран сейчас успешно применяют совместную инокуляцию семян различных культур препаратами азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий, что позволяет одновременно улучшить азотное и фосфорное питание растений и сократить дозы внесения минеральных удобрений.

Ризобактерин + Фитостимифос – синергические бинарные препараты на основе diaзотрофных и фосфатмобилизующих микробов-интродуцентов. Форма препарата – жидкая.

Препараты “силикатных” бактерий – бактериальный препарат из “силикатных” бактерий, который представляет собой спорообразую-

щую культуру – *Bacillus mucilaginosus siliceus*. Силикатные бактерии способны разрушать алюмосиликаты и переводить почвенный калий в усвояемую для питания растений форму. Разрушение алюмосиликатов происходит под влиянием кислот, выделяемых микроорганизмами. “Силикатные” бактерии лучше всего размножаются в условиях достаточной влажности, аэрации и близкой к нейтральной реакции среды. Кислые почвы не благоприятны для их развития. Препараты применяют путем бактеризации семян так же, как и другие бактериальные удобрения. В качестве бактериального удобрения приготавливают сухой споровый и агаровый препараты “силикатных” бактерий.

Предпосевная обработка семян бактериальными удобрениями может проводиться как с применением прилипателя, так и без него. В качестве прилипателя можно использовать 2,0%-й водный раствор NaКМЦ.

Бактериальные удобрения следует хранить в сухих помещениях, защищенных от попадания осадков и прямых солнечных лучей, оптимальная температура хранения от 0 до +4°С. Срок годности зависит от вида и препаративной формы бактериальных удобрений.

В мировой практике все большее внимание уделяется роли почвенной биоты в улучшении питания растений фосфором.

Везикулярно-арбускулярная микориза (ВАМ), эктомикориза и эндомикориза. Почвенная микрофлора, образующая симбиотические ассоциации с высшими растениями, значительно улучшает рост растений в тех случаях, когда в почве недостаточно доступного фосфора. Благодаря ее деятельности существенно улучшается фосфорное питание растений. При симбиозе высшего растения с грибами микориза гриба обеспечивает высшее растение водой и растворенными в ней минеральными солями и другими веществами, грибы же используют углеводы и ряд органических соединений, синтезируемых высшим растением. Биологическое значение микоризы заключается также и в увеличении поглощающей поверхности корней высшего растения за счет развития мицелия гриба.

В последние годы открыты микоризные грибы, улучшающие питание высших растений фосфором, особенно на почвах с низким содержанием доступных форм этого элемента.

Из естественных и рекультивированных почв выделены культуры эндомикоризных грибов.

Везикулярно-арбускулярная микориза – ассоциация, в которой *Zygomycete fungi* в клетках корня высшего растения образуют арбускулы, гифы, везикулы.

Установлено их положительное влияние на урожай овса, ячменя, сои, вики и поступление в растения фосфора при их выращивании на почве с низким содержанием подвижного фосфора. Микоризация семян клевера белого, высеваемого в злаковый травостой, способствовала повышению урожая сена на 17% (при урожае на контроле 17,8 ц/га) и была эквивалентна действию суперфосфата в дозе 90 кг/га. При этом в составе травостоя возрастала доля клевера. Влияние инокуляции лука особенно ярко проявилось на поливных землях: урожайность увеличилась на 97% по отношению к контролю.

Интересны результаты инокуляции клевера и других бобовых микоризой и клубеньковыми бактериями: первая улучшает фосфорное питание растений, вторые благодаря азотфиксирующей способности – азотное питание бобовых растений.

Например, в Уэльсе клевер, инокулированный микоризой и клубеньковыми бактериями, дал втрое больший урожай сухого вещества, вдвое увеличилось образование побегов и в 5 раз увеличилось образование клубеньков ризобиума.

6.11. РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ

В числе факторов, обеспечивающих жизнедеятельность растений, не последнюю роль играют гормоны. Являясь посредниками в физиологических процессах, они преобразуют специфические сигналы окружающей среды в биохимическую информацию. **Гормоны растений или фитогормоны** (греч. *hormon* – побуждающий, вызывающий) – низкомолекулярные органические соединения, с помощью которых осуществляется взаимодействие клеток, тканей и органов, необходимые в малых количествах для запуска и регуляции физиологических и морфологических программ онтогенеза растений.

Гормоны, образующиеся в клетках растения, называют эндогенными, а используемые человеком для обработки растения или его органов – экзогенными.

Потребность растения в гормонах обычно чрезвычайно мала – порядка $10-13 \cdot 10^{-5}$ моль/л, и в большинстве случаев они синтезируются в достаточных количествах самим растением из аминокислот и органических кислот, т.е. из продуктов фотосинтеза и дыхания. Гормоны образуются в отдельных частях растения, но распространяются по всему организму, составляя своеобразное единое гормональное поле. Под их действием происходит общая стимуляция обмена веществ. В свете современных представлений о метаболизме в растительной клетке местом действия физиологически активных веществ могут быть: а) ферменты и ферментные системы;

б) белки, липиды, нуклеиновые кислоты, участвующие в молекулярной организации структур цитоплазмы и ядра; в) информационные и транспортные рибонуклеиновые кислоты; г) дезоксирибонуклеиновая кислота. Эффект, или “глубина”, воздействия зависит от того, на что и в какой мере влияет то или иное физиологически активное вещество. В одних случаях это действие ограничивается лишь временным изменением интенсивности каких-либо ферментативных реакций, в других – оно проявляется в устойчивом отклонении физиолого-биохимических процессов, в-третьих – в морфологических процессах, затрагивающих соматическую сферу организма, наконец, в-четвёртых, – в наследственных морфологических изменениях. К числу наиболее активных и изучаемых соединений гормонального действия растительного происхождения относятся ауксины, гиббереллины, цитокинины, абсцизовая кислота и этилен.

В растениях в отличие от животных нет желез, секретирующих гормоны. *Ауксины* (ИУК) образуются преимущественно в зонах с высокой меристематической активностью: в апексах стеблей, в формирующихся семенах, откуда они передвигаются в базипетальном направлении, попадая в боковые побеги и листья. *Гиббереллины* (ГК) и *абсцизовая кислота* (АБК) синтезируются в основном в листьях и оттуда транспортируются вверх и вниз по стеблю. Кроме того, АБК образуется в корневом чехлике. Местом образования *цитокининов* (ЦК) являются корни, откуда они передвигаются вверх по стеблю в акропетальном направлении.

Ауксины – соединения преимущественно индольной природы. Они инициируют деление клеток и специфически влияют на скорость их растяжения, а также регулируют формирование проводящих пучков, обуславливают явления фототропизма и геотропизма у растений, связанные с несимметричностью их распределения. Активация растяжения клеток связана со стимулированной ауксином секрецией протонов в клеточную стенку. Возникающая при этом повышенная концентрация ионов H^+ вызывает более активное ферментативное расщепление поперечных связей, соединяющих между собой целлюлозные микрофибриллы. Среди других свойств ауксина следует отметить его способность вызывать партенокарпию, задерживать опадание листьев и завязей, активировать корнеобразование у черенков. Ткани, обогащенные ауксином, обладают аттрагирующим действием – способны притягивать питательные вещества. Кроме ростовых эффектов, ауксин обеспечивает корреляционное взаимодействие между органами растущего растения.

Гиббереллины – фитогормоны, преимущественно производные флуоренового ряда. Эти гормоны стимулируют деление и растяжение

клеток апикальных и интеркалярных меристем. Под действием гиббереллинов удлиняются листья, цветки и соцветия. Гиббереллины усиливают рост стеблей значительно сильнее, чем ауксины. В то же время гиббереллины, в отличие от ауксинов, практически не влияют на рост корней. Гиббереллины играют важную роль в процессах прорастания семян и перехода длиннодневных растений к цветению. Они способствуют образованию партенокарпических плодов. Этот фитогормон способен смещать пол растений в мужскую сторону. Влияние гиббереллинов на метаболизм растения связано, прежде всего, с их участием в нуклеиновом обмене. Под действием гиббереллинов индуцируется синтез матричных РНК, которые кодируют образование большинства гидролитических ферментов, прежде всего α -амилазы.

Цитокинины – фитогормоны, преимущественно производные пуринов. Они стимулируют цитогенез, прорастание семян, а также способствуют дифференциации почек. Кроме того, цитокинины обладают способностью задерживать процессы старения растительных организмов и поддерживать нормальный обмен веществ у пожелтевших листьев, а также вызывать их вторичное позеленение. Большую роль они играют в мобилизации – притягивании питательных веществ к местам своей локализации: плоды, семена, клубни. Цитокинины освобождают боковые почки от апикального доминирования, вызываемого ауксином, и стимулируют их рост. На молекулярном уровне цитокинины в комплексе со специфическим белковым рецептором усиливают активность РНК-полимеразы и матричную активность хроматина; при этом увеличиваются количество полирибосом и синтез белков. Цитокинины причастны к синтезу фермента нитрат-редуктазы, а также к транспорту ионов H^+ , K^+ , Ca^{2+} .

Абсцизины – естественные ингибиторы терпеноидной природы. Эти фитогормоны задерживают рост в фазе деления и растяжения клеток, не проявляя токсического действия даже в высоких концентрациях. Они индуцируют наступление состояния покоя у растений, ускоряют опадание листьев и плодов (абсцизия), тормозят рост coleoptилей, задерживают прорастание семян. Абсцизины, сдерживая избыточный рост стебля, направляют метаболиты на формирование фотосинтетического аппарата, иными словами, координируют ростовой процесс. Одна из наиболее важных функций абсцизинов – их участие в механизмах стресса путем регулирования устьичных движений. Абсцизовая кислота быстро накапливается в тканях при действии на растения неблагоприятных факторов внешней среды, особенно при водном дефиците, вызывая быстрое закрытие устьиц, что снижает транспирацию и сокращает энергетические затраты. На молекулярном

уровне абсцизины могут ингибировать синтез ДНК, РНК и белков. Они могут также снижать функциональную активность H^+ -помпы, что может иметь многообразные последствия.

Этилен – специфический гормон, синтезируемый во всех органах растения из метионина. Он вносит вклад в регуляцию роста и развития растений. В частности, он участвует в поддержании апикального изгиба у выращенных в темноте проростков, вызывает *эпинастию** у листьев и лепестков. Поэтому его используют для ускорения раскрывания цветков. Опускание листьев под действием этилена уменьшает транспирацию. Этилен непосредственно отвечает за контролируемое ауксином подавление роста латеральных почек у растений, обнаруживающих апикальное доминирование. Он тормозит деление клеток и удлинение проростков, изменяет направление роста клеток с продольного на поперечное, что приводит к уменьшению длины и утолщению стебля. Этилен, способствуя старению тканей, ускоряет опадание листьев, увядание цветков и ускоренное созревание плодов. В большинстве случаев этот гормон увеличивает период покоя семян и клубней, способствует смещению пола растений в женскую сторону, а также играет роль медиатора гормонального комплекса в процессах корреляционных взаимодействий в растении. Этилен тормозит полярный транспорт ауксина и способствует образованию его конъюгатов. Кроме того, этилен регулирует реакцию стресса в растениях. На молекулярном уровне этилен повышает проницаемость клеточных мембран и скорость синтеза белка.

Брассиностероиды – гормоны, поддерживающие в норме иммунную систему растения, особенно в стрессовых ситуациях: понижение температуры, заморозки, затопление, засуха, болезни, действие пестицидов, засоление почвы. Стероиды входят в класс терпеноидов, к которым относятся гиббереллины и абсцизовая кислота. Брассиностероиды содержатся в каждой растительной клетке, но их природный уровень в изменившейся экологической ситуации часто оказывается недостаточно высоким для поддержания иммунитета и нормального развития в течение всей вегетации растений.

Таким образом, действие вышеперечисленных гормонов на обмен веществ растительного организма специфично: гиббереллины участвуют в *транскрипции*** , цитокинины – в *транс-*

**Эпинастия* – это быстрый рост верхней стороны органа, в результате которого лист или лепесток изгибается книзу.

***Транскрипция* – перенос информации о нуклеотидной последовательности ДНК на информационную РНК в процессе синтеза белков.

ляции***, ауксины – в изменении проницаемости мембран, абсцизины ингибируют ионный транспорт и связанные с ним процессы роста клеток, этилен выступает в качестве “разрешающего” фактора роста, контролируя баланс в системе стимуляторы – ингибиторы.

Для эффективного применения регуляторов роста растений необходимо соблюдать следующие условия:

1) положительный эффект может быть достигнут только в том случае, если в растении или в его отдельных органах не хватает эндогенных фитогормонов;

2) клетки, ткани и органы должны быть компетентны (восприимчивы) к фитогормонам;

3) действие всех регуляторов роста зависит от концентрации. При передозировке наблюдается ингибирующий эффект;

4) необходимо достаточное снабжение растений водой и питательными веществами. Регуляторы роста растений не могут заменить питание. По мнению М.Х. Чайлахана (1976), они повышают “аппетит” растения и поэтому стимулируют ростовые процессы.

Регуляторы роста растений используют для:

- 1) стимуляции укоренения черенков;
- 2) получения партенокарпических (бессемянных) плодов;
- 3) повышения производства бессемянных сортов винограда;
- 4) прореживания цветков и завязей у плодовых культур;
- 5) уничтожения сорняков;
- 6) торможения удлинения стебля;
- 7) регуляции покоя;
- 8) ускорения созревания плодов.

Из регуляторов роста ауксиновой природы получили наибольшее применение в сельском хозяйстве 1-нафтилукусная кислота (1-НУК), индометил-3-масляная кислота (ИМК), 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д), 2,4,5 - трихлорфеноксиуксусная кислота (2,4,5 - Т), 2-нафтоксиуксусная кислота (2-НОУК), 4-хлорфеноксиуксусная кислота (4Х), гидразид малеиновая кислота (ГМК), 2-метил-4-хлорфеноксиуксусная кислота (2М 4Х) и 2,4-дихлорфеноксимасляная кислота (2,4-ДМ). 1-НУК и ИМК успешно применяются в садоводстве для укоренения черенков, повышения приживаемости саженцев на новом месте и восстановления корневой системы у пересаженных кустарников и деревьев.

****Трансляция* – процесс перевода последовательности нуклеотидов информационной РНК в последовательность аминокислот синтезируемого полипептида.

Широкое практическое применение получил гиббереллин. Опрыскивание виноградных растений во время цветения водным раствором, содержащим 30-35 г/га гибберелловой кислоты, повышает урожайность бессемянных (кишмишных) сортов на 10-15%. Этот препарат нашел применение и при выращивании цитрусовых.

Цитокинины нашли применение в культуре ткани. Они являются обязательным фактором, необходимым для получения культуры дедифференцированной каллусной ткани, а также для индукции затем органогенеза и соматического эмбриогенеза. Цитокинин необходим и для поддержания функциональной активности многих изолированных тканей и органов.

Этилен рекомендован в качестве стимулятора созревания плодов и овощей.

Из многочисленных известных регуляторов роста растений наибольшую ценность в сельскохозяйственном производстве имеют синтетические ингибиторы роста и, в первую очередь, ретарданты.

Ретарданты – синтетические вещества, тормозящие биосинтез гиббереллинов, подавляющие рост стебля и вегетативных побегов, придающие растению устойчивость к полеганию.

Ретарданты избирательно тормозят рост стебля, не оказывая отрицательного воздействия на физиолого-биохимические процессы, происходящие в растениях. Действие их основано на торможении деления клеток срединной и подверхушечной зон меристемы конуса нарастания, образующих стебель. На верхушечную зону меристемы, из которой развиваются листья и генеративные органы, ретарданты не оказывают существенного влияния. Эти регуляторы роста тормозят рост клеток стебля в длину и усиливают их деление в поперечном направлении, в результате чего стебель становится более коротким и толстым. Одновременно усиливается развитие механических тканей: утолщаются клеточные стенки, увеличивается число сосудисто-волоконистых пучков. Одновременно с этим ретарданты способствуют росту корней, увеличению площади ассимиляционной поверхности листьев и содержания в них пластидных пигментов, а также повышению устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды.

В настоящее время выявлено или синтезировано и изучено свыше тысячи химических соединений, обладающих ретардантными свойствами. Большинство из них относятся к четырем группам веществ, различающимся по химическому строению: 1) четвертичные ониевые соединения; 2) гидразинпроизводные; 3) триазолпроизводные; 4) этиленпродуцирующие. Среди ретардантов, созданных на основе

четвертичных ониевых солей, наибольшее распространение получили хлорхолинхлорид (ССС), морфол и пикс.

Характерный *ретардантный эффект* препаратов из группы четвертичных ониевых солей обусловлен их способностью прерывать биосинтез гиббереллинов. Введением этих препаратов блокируются образование геранилгеранилпирофосфата и последующая циклизация его в энткаурен, который у растений является одним из промежуточных звеньев биосинтеза гиббереллинов. Триазолпроизводные препараты блокируют биосинтез гиббереллинов, препятствуя окислению энткаурена в кауреновую кислоту. В отличие от вышеназванных ретардантов, этиленпродуцирующие препараты непосредственно не прерывают биосинтез гиббереллина, тем не менее, действие их связывают с антигиббереллиновым эффектом, который проявляется или при образовании гормон-рецепторного комплекса или на последующих этапах реализации гормональной активности гиббереллинов. Механизм действия гидразинпроизводных ретардантов также не связан с ингибированием биосинтеза гиббереллинов, а обусловлен подавлением их гормональной активности.

Из всех известных ретардантов наибольшее практическое значение имеет хлорхолинхлорид (ССС), известный в нашей стране под названием Тур. Этот ретардант дает хорошие результаты на посевах зерновых культур – пшеницы, овса, риса, ржи и ячменя. Для повышения устойчивости к полеганию названных культур хлорхолинхлорид вносят в период кущения – начала трубкования растений из расчета 3 - 12 кг/га. Данный агроприем не снижает качество зерна, но увеличивает урожай и уменьшает экономические затраты на уборку. Высока эффективность ретардантов и на посевах риса (табл. 6.18);

Круг применяемых регуляторов роста растений расширяется. Перед современным растениеводством стоит задача применения генетически и экологически безвредных регуляторов роста.

6.18. Урожайность риса сорта Краснодарский 86 при применении ретардантов (Шеуджен А.Х., 2005)

Ретардант	Высота растения, см	Длина метелки, см	Полегаемость, балл	Урожайность зерна, ц/га
Контроль	118,5	17,1	2	52,6
ССС, 10 г/га	112,3	17,3	4	56,9
Ориз, 30 кг/га	100,5	16,9	5	59,0
Сумадик, 30 кг/га	98,3	17,0	5	60,8

6. 12. УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

Гуматы – группа естественных, высокомолекулярных регуляторов роста растений. Они не токсичны, не канцерогенны, не вызывают мутаций и не обладают эмбриологической активностью. Остаточные количества гуматов в растениях не обнаруживаются, т.к. они сравнительно легко и быстро включаются в метаболизм.

При использовании гуминовых кислот в качестве регуляторов роста растений физиологической активностью обладают не гуминовые кислоты, а их соли одновалентных щелочных металлов и аммония. Это объясняется тем, что гуминовые кислоты не растворимы в воде и не могут поглощаться растениями, в то время как соли одновалентных щелочных металлов и аммония гуминовых кислот хорошо растворяются в воде и становятся доступными для растений.

Гуминовые кислоты обладают разносторонней направленностью действия: активирование биоэнергетических процессов, стимуляция обмена веществ, синтетических процессов, улучшение проникновения элементов питания через плазмалемму, усиление ферментативных систем, повышение адаптационных свойств растительного организма. В зависимости от внешних условий, могут быть весьма стойкими и активными. Благодаря этим свойствам, гуминовые кислоты используются и как удобрение, и как стимуляторы роста растений.

Основной причиной физиологической активности гуминовых кислот считается воздействие их на биоэнергетическую систему растительного организма (Христева Л.А., 1973). Повышение энергетических запасов организма способствует активизации синтеза белка, являющегося основным строительным материалом. Эти изменения и создают условия для повышения устойчивости растений в экстремальных режимах, фотосинтетической способности.

Способность гуминовых кислот к комплексообразованию и их сорбционная активность позволяют использовать их для перевода тяжелых металлов в нерастворимые соединения на загрязненных ими почвах.

Механизм взаимодействия гуминовых кислот с катионами металлов различен. Так, ионы кальция при взаимодействии с гуминовыми кислотами образуют солеобразные гуматы кальция, в которых наблюдается типично ионная форма карбоксильных групп. На ион цинка замещаются водородные атомы карбоксильных групп. При взаимодействии с медью в обменную реакцию вступают как карбоксильные, так и фенольные гидроксилы. Во всех случаях происходит переосаждение гуминовых кислот в виде нерастворимых или малорастворимых в воде солей металлов или их комплексов.

Кроме того, гуматы участвуют в формировании почвенной структуры: на легких почвах осуществляют агрегатирование, на тяжелых препятствуют образованию корок и трещин, улучшают аэрацию почвы, ее водоудерживающую и водопропускную способности.

При использовании гуматов в земледелии отмечается следующее: увеличивается урожайность зерновых, овощных и кормовых культур; повышается всхожесть и энергия прорастания семян; усиливается корнеобразование и обмен веществ у растений, поглощение и потребление элементов минерального питания, увеличивается сопротивляемость растений болезням, заморозкам и засухе.

Используют гуматы трех модификаций: гумат натрия, гумат калия и гумат аммония. Гуматы натрия и калия готовятся путем насыщения соответственно едким калием или натрием. Гумат аммония получают путем обработки сырья аммиачной водой. Расход гумата невелик (5%-й раствор для полива разбавляют в соотношении 1:1000, а для обработки семян – 1 : 500, и лишь при обработке клубней и семян зерновых культур расход выше – 1 : 250). Опрыскивание растений в период вегетации осуществляют 2 - 4 раза.

В настоящее время к растворам солей гуминовых кислот стали добавлять микроэлементы, органические кислоты, биологически активные вещества, аминокислоты, витамины, которые используются не только прорастающими семенами и растениями, но и обитающими в почве микроорганизмами. Выпускается более 60 разнообразных препаратов, которые объединены в группу «Удобрения на основе гуминовых кислот».

Разносторонний химический состав этих препаратов расширяет спектр их применения. Они используются для предпосевной обработки семян и опрыскивания вегетирующих растений. Широкое производственное испытание препаратов на основе гуминовых кислот в различных почвенно-климатических зонах показало, что они положительно влияют на урожай всех сельскохозяйственных культур. При этом наиболее отзывчивыми на эти препараты оказались овощные, плодовые и кормовые культуры (кукуруза на зерно, кормовая свекла, клевер и др.). С организационной точки зрения применение удобрений на основе гуминовых кислот целесообразно совмещать с предпосевной подготовкой семян и опрыскивании посевов химическими средствами защиты растений. Совместное применение пестицидов (гербициды, инсектициды, фунгициды) и удобрений на основе гуминовых кислот имеет и то преимущество, что эти препараты снимают стрессовое воздействие, оказываемое ядохимикатами на культурные растения.

6.13. ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Промышленные отходы. Некоторые из органических отходов промышленности могут быть использованы на удобрение. Правильное их использование имеет двойное значение: 1) повышаются урожаи сельскохозяйственных культур; 2) промышленное производство становится более экономичным и избавляется от необходимости специальных затрат на удаление и обезвреживание накапливающихся на их территории масс отходов.

Все органические отходы промышленности, используемые на удобрения, разделяются на три группы:

1. *Отходы, требующие компостирования.* К этой группе относятся отходы, опасные в санитарно-гельминтологическом, энтомологическом и фитосанитарном отношении. В эту группу входят отходы пера, пуха, шелуха семян масличных культур, клюквенный и яблочный жмыхи, выжимки из винограда, винные осадки.

2. *Отходы, требующие заблаговременного внесения в почву.* К числу этих отходов относится мякоть и мезга, шрот из виноградных зерен, отходы щетинных фабрик, подметы шерстяных цехов, срезы от фетровых изделий, шерстяные отходы и шерстяная пыль. Как правило, это отходы с широким отношением углерода к аммонийному азоту ($C:N-NH_4$). При непосредственном внесении их в почву перед посевом наблюдается временное биологическое закрепление доступного азота почвы микроорганизмами, что приводит к азотному голоданию растений и даже снижению урожайности. Поэтому их применяют задолго до посева – под основную обработку почвы, а перед посевом вносят в почву азотные удобрения.

3. *Отходы, пригодные для удобрения без ограничений.* Это свиной и говяжий шлям, сырые рыбные отходы, мездра, отходы клейтукового производства, роговая и галалитовая стружка, шелковичная куколка, шелковый пух, экскременты шелковичных червей, табачная и махорочная пыль, табачные листья после извлечения никотина, клещевинный шрот, клещевинный, хлопковый, рыжиковый, рапсовый, сурепный жмых.

Максимальные нормы промышленных отходов, рассчитанные на внесение в почву, как правило, содержат 80-100 кг общего азота. Удобрения до 6 т/га можно внести навозоразбрасывателями или в виде добавок к навозу и компостам.

Древесная кора и опилки. Удобрительную ценность имеет древесная кора, составляющая от 10 до 20% от общего объема дерева и в

больших количествах скапливающаяся в зоне деятельности деревообрабатывающих комбинатов. Кору деревьев и опилки применяют для мульчирования и удобрения почвы, приготовления искусственного грунта для теплично-парниковых хозяйств, в качестве подстилки на птицефермах и птицефабриках с последующим использованием её в качестве удобрения.

Запасы одной только древесной зелени в Российской Федерации превышают 20 млн. т в год, а используется из них не более 10%. Древесная кора содержит все основные элементы питания, которые в процессе ее минерализации становятся доступными для растений. Она обладает хорошим гумусообразующим потенциалом, в процессе её минерализации выделяется диоксид углерода, улучшая тем самым углеродное питание растений. Кроме того, древесная кора богата целлюлозой (33 - 35%), лигнином (22 - 30%) и содержит 5,3 - 12 мг/100 г калия и незначительные количества фосфора. Прочность, упругость, высокая фильтрационная способность коры улучшают водно-физические свойства почвы, а ее трудноразлагаемая часть обогащает почву лигнином и дубильными веществами, необходимыми для гумусообразования. Недостаток коры как удобрения в том, что она практически не содержит усвояемого растениями азота. Отношение углерода к азоту очень широкое – 140:1. Зольность сосновой коры 2,8 %, еловой – от 3,1 до 5,85 %. Кислотность варьирует в пределах pH 4,8 - 5,7. Кора биологически активна. В ней обнаружено значительное количество бактерий и плесневых грибов.

Древесную кору запахивают в почву на небольшую глубину. При внесении 125 м³/га коры структура почвы значительно улучшается, возрастает ее влагоемкость. При использовании некомпостированной коры необходимо внесение азотных удобрений, т.к. при высоком содержании углерода она содержит мало азота, необходимого для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов, способствующих разложению коры. При измельчении коры хвойных пород до 5 см период ее разложения составляет около 2 лет.

Одно из перспективных направлений утилизации древесной коры – компостирование ее с минеральными и органическими добавками и использование в сельском хозяйстве в качестве удобрений, биотоплива, мульчи и субстратов в защищенном грунте.

Основные способы приготовления компостов: послойный, очаговый, площадочный.

Благоприятные условия компостирования коры создаются при формировании буртов шириной в основании 3,0-4,0 м, высотой 1,5-2 м и длиной не менее 4,0 м. При компостировании в зимнее время,

во избежание промерзания, высота штабеля может быть увеличена до 2 - 5 м, длина не менее 10 м. Оптимальная масса штабеля 100 - 120 т (при массе менее 60 т штабель промерзает); температура в период компостирования 40 - 60° С.

Готовый компост должен содержать не менее 80% органического вещества на сухую массу при влажности не более 60%, 10-15% от общего количества органического вещества гуминовых веществ, рН водной вытяжки – не менее 5,5, отношение С:N – не более 30, азота, фосфора и калия – соответственно 3,0, 0,1 и 0,1% сухой массы. Компост имеет плотность 0,18 - 0,3 г/см³, комковатую структуру и влагоёмкость 250 - 350 г воды на 100 г сухого вещества. Благодаря высокому содержанию кальция, он является ценным мелиорантом для кислых почв. Компост из древесной коры не только улучшает рост растений, но и уменьшает заболеваемость корневой гнилью и почти полностью подавляет развитие нематод.

Использование компостов на основе древесной коры может в значительной степени решить проблему обеспечения тепличных и парниковых хозяйств высококачественными грунтами.

Аналогичное применение находят в сельском хозяйстве опилки. Все виды опилок улучшают физические свойства почв, повышают их порозность и водоудерживающую способность, снижают плотность тяжелых глинистых почв. Как и древесная кора, опилки содержат мало азота и наиболее целесообразно их компостировать с азотными удобрениями.

Гидролизный лигнин – это основной отход гидролизной промышленности, составляющий до 40% от массы исходного сырья. Выгружаемый из гидролиз-аппарата, он в значительной части сохраняет форму частичек исходного сырья, но имеет темно-бурую окраску. По химическому составу гидролизный лигнин представляет собой комплекс веществ, основная масса которых состоит из продуктов конденсации и полимеризации природного лигнина. Здесь присутствуют также негидролизуемые полисахариды, неотмытые сахара, гуминовые вещества, органические кислоты, серная кислота и зольные элементы. Из них первые два – собственно лигнин и полисахариды – составляют 84 - 91% от всей массы гидролизного лигнина. На долю полисахаридов приходится 24 - 45%, а лигнина как такового – 39 - 70%. Лигнин имеет кислую реакцию, а влажность его составляет 63 - 75% (табл. 6.19).

Среди элементов минерального питания растений большой удельный вес в гидролизном лигнине занимают сера и кальций. Фосфора и калия содержится в среднем 0,06 и 0,09% сухого вещества

6.19. Агрехимические показатели гидролизного лигнина
(в пересчете на сухое вещество) (Цуркан М.А., Руссу А.П., 1980)

Показатель	Гидролизный лигнин	Гидролизный шлам
Влажность, %	63,1 - 75,1	61,9 - 89,6
Зольность, %	3,5 - 14,7	4,2 - 72,5
Углерод общий, %	42,9 - 50,8	12,5 - 53,0
Углерод гуминовых кислот, %	3,4 - 6,4	5,2 - 18,4
Углерод фульвокислот, %	3,7 - 7,7	3,0 - 6,4
Азот общий, %	0,34 - 0,54	0,62 - 2,32
Азот нитратный, мг/100 г	0,1 - 0,7	0,5 - 2,5
Азот аммонийный, мг/100 г	2,2 - 7,6	133 - 389
Азот легкогидролизуемый, мг/100 г	40 - 79	183 - 1470
Фосфор общий, % P_2O_5	0,01 - 0,16	0,39 - 2,46
Калий общий, % K_2O	0,01 - 0,22	0,14 - 0,33
Кальций общий, % CaO	0,20 - 1,19	0,16 - 4,07
Сера общая, % SO_4	0,41 - 2,23	0,64 - 9,28
$pH_{вод}$	1,9 - 4,7	3,0 - 4,6

соответственно. Содержание общего азота в гидролизном лигнине невысокое – 0,34-0,39% и только 14% от общего его количества составляет легкогидролизуемая фракция. Отношение C:N очень широкое (75 - 117).

Возврат органического вещества лигнина в биологический круговорот, борьба с загрязнением окружающей среды, увеличение производства местных удобрений, – все это обуславливает необходимость и целесообразность переработки лигнина в удобрение.

Трудность использования лигнина, как удобрения связана с его кислотностью и низким содержанием азота, фосфора, калия. Вместе с тем он обладает и положительными качествами: улучшает воздухопроницаемость, пористость, структуру и другие физико-химические свойства почвы. Особо следует отметить способность его адсорбировать азот легкоподвижных азотсодержащих удобрений и вступать с ним в химическую связь, поэтому вымывание азота из верхних слоев почвы сокращается, а коэффициент его использования растениями – увеличивается.

Разработан промышленный способ приготовления удобрений путем компостирования лигнина с минеральными удобрениями и обработки компоста водным раствором аммиака перед внесением в почву. Для приготовления компостов лигнин предварительно нейтрализуют доломитовой мукой из расчета 30-35 кг на одну тонну удобрения. Наиболее эффективны лигнонавозные компосты при соотношении навоза и лигнина 1:1. Для приготовления 100 т такого компоста требуется 48,2-48,5 т лигнина влажностью 60%, 1,5-1,75 т доломитовой муки и 50 т навоза. Для ускорения созревания компоста бурты делают высотой не более 1,5 м, а компосты хорошо перемешивают. В расчете на сырую массу компост содержит: N – 0,36%, P₂O₅ – 0,32, K₂O – 0,34%, рН 5,7. Хорошо приготовленный лигнонавозный компост по эффективности не уступает торфонавозному.

Бытовые отходы составляют 0,15-0,25 т/год на одного жителя России. Эти отходы, как правило, на 30-40% состоят из органических пищевых компонентов и 20-30% бумаги. Химический состав бытовых отходов довольно широко изменяется. В среднем они содержат 40-70% органических веществ, 28-30% золы, 23-37% углерода, 0,75-1,15 – азота и 2,0-5,5% кальция.

Бытовые отходы имеют высокую степень биологического загрязнения, могут быть опасны в эпидемиологическом отношении и требуют обеззараживания. Эта проблема решается тремя способами: обеззараживанием на свалках, сжиганием, биотермическим обеззараживанием при производстве компостов на заводских установках.

Обеззараживание мусора путем длительного компостирования на свалках хотя и является наиболее распространенным способом, однако санитарная служба считает его неперспективным из-за зловония и опасности распространения инфекций и инвазий. Обеззараженный на свалках прокомпостированный мусор без удаления примесей непригоден для удобрения, так как применение его приводит к сильному засорению полей металлом, битым стеклом, кирпичом, пластиками, полиэтиленовой пленкой и другими отходами.

Более совершенным способом обеззараживания и переработки бытовых отходов по сравнению с обеззараживанием на городских полигонах является полевое компостирование. Однако полевым компостированием нельзя переработать весь мусор крупных городов.

В настоящее время на практике наибольшее распространение получают промышленные методы биотермического обеззараживания и переработки в компост и биотопливо бытовых отходов.

Бытовые отходы доставляют на завод в контейнерных мусоровозах и разгружают в два бункера-накопителя полезной емкостью по 900 м³ и глубиной 10 м. Грейферным краном грузоподъемностью 5 т отходы подают из приемного бункера в дозирующие бункера и на конвейеры. Черные металлы из отходов извлекаются электромагнитными ленточными сепараторами. Частота вращения барабанов составляет 0,1-1,14 об/мин. В барабаны подают воздух и воду с температурой не менее +40°С. Мусор самонагревается до 60-70°С. Обеззараживание происходит за трое суток.

Полученный компост содержит 40-52% от сухой массы органических веществ, 1,0-1,3 – азота, 0,8-0,7 – фосфора и 0,4-0,6% калия. Допускается присутствие в компосте не более 3% стекла с размером частиц не более 15 мм и 4% посторонних включений. Влажность компоста составляет 30-40%, рН – 7,8.

Промышленный компост из твердых бытовых отходов вносят под плодовые культуры в количестве 50-150 т/га, виноград – 20, зерновые – 20-50, подсолнечник, кукурузу, – 30-100 т/га. В среднем прибавка урожайности от их применения в зависимости от культуры, почвы и других условий колеблется в пределах 10-50%. Компост безопасен в санитарно-гигиеническом, гельминтологическом и энтомологическом отношении. Действие компоста на урожайность сельскохозяйственных культур близко к действию навоза. Осеннее внесение их целесообразнее весеннего. Из-за высокого содержания в компосте свинца и цинка применять компосты из твердых бытовых отходов для удобрения овощных культур запрещается.

6.14. ОСАДКИ СТОЧНЫХ ВОД

Рост городского населения, развитие промышленности сопровождаются увеличением водопотребления, а вместе с тем объемов сточных вод и их осадков. В индустриально развитых странах в среднем на одного жителя в год образуется около 19-25 кг сухого осадка сточных вод, или 52 г на человека в сутки. В Российской Федерации с численностью 141 млн. чел., в том числе городского – 101, расчетный среднегодовой объем выхода сухого осадка оценивается ориентировочно в 2,5 млн. т.

На очистных сооружениях городов и крупных населенных пунктов количество осадка составляет обычно 0,5-1,0% объема очищаемых сточных вод. Свежий осадок, получаемый после механической

очистки в первичных отстойниках, имеет влажность 92-95%. В связи с высокой бактериальной загрязненностью и большой влажностью его обеззараживают, а затем обезвоживают.

Одним из основных методов утилизации осадков служит использование их в качестве удобрения. В среднем в индустриально развитых странах в качестве удобрения используется 32,4% осадков (табл. 6.20).

В Российской Федерации в качестве удобрения используется лишь 5-7% осадков сточных вод. Это связано с недостаточным внедрением на очистных сооружениях передовых технологий по их подготовке к использованию в сельском хозяйстве, а также недостаточной информированностью потребителей об удобрительной ценности и особенностях применения.

6.20. Производство и использование осадков сточных вод
(Ладонин В.Ф., Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А. и др., 2002)

Страна	Численность населения, млн. чел.	Производство сухого вещества в год, тыс. т	Утилизация, %				
			сельское хозяйство	сбрасывание в отвалы	сжигание	сброс в океан	специфическое использование
Швеция	8,3	210	60	30	–	–	10
Финляндия	4,8	130	40	45	–	–	15
Дания	5,1	130	45	45	10	–	15
Германия	59,7	1950	38	50	8	2	2
Франция	54,2	510	23	46	31	–	–
Бельгия	9,8	22	10	80	10	–	–
Люксембург	0,4	11	90	10	–	–	–
Нидерланды	1,4	201	53	32	3	13	2
Ирландия	3,5	197	4	51	–	45	–
Великобритания	56,1	1240	45	29	3	23	–
Швейцария	6,5	120	70	30	–	–	–
Италия	57,2	800	20	60	–	–	20
США	232,6	3200	25	*	*	*	*

* данные отсутствуют.

Основной операцией подготовки ОСВ к использованию является их обеззараживание. В настоящее время на очистных сооружениях используют методы химического, термического и биологического обеззараживания осадков сточных вод.

Химическое обеззараживание ОСВ основано на их обработке фунгицидами. Однако при таком способе подготовки ОСВ получают продукт с влажностью около 60%, что осложняет его разбрасывание по удобряемому участку. Практический интерес представляет термическое обеззараживание ОСВ, в результате которого образуются термически высушенные осадки сточных вод (ТВО) с влажностью менее 60%. Обеззараживание осуществляют при температуре 56-58°С путем сбраживания массы в метантенках, куда подают осадок из первичных отстойников и избыточный активный ил в отношении 1:1.

В зависимости от технологической схемы обработки, потребителям могут быть переданы для использования в качестве удобрения три вида осадков: жидкие, влажностью 92-97%; подсушенные или обезвоженные, влажностью 60-80%; термически высушенные, влажностью 10-40%.

Химический состав осадков подвержен значительным колебаниям по содержанию макро-, микро и особенно ТМ находится в большой зависимости от технологии производства и состава очищаемых сточных вод (табл. 6.21).

Осадки сточных вод характеризуются высоким содержанием азота, фосфора и кальция, но они бедны калием. Количество органического вещества в сыром осадке достигает 75% в расчете на сухое вещество. Оно состоит главным образом из протеинов, углеводов, жиров, лигнина и бактерий. В состав осадка входят также микроэлементы: марганец 500-2000 мг/кг сухого вещества, медь – 1000-5000 и цинк

6.21. Состав осадков сточных вод, % на абсолютно сухое вещество (Васильев В.А., Лукьяненок И.И., Минеев В.Г. и др., 1984)

Осадок	Азот		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	общий	подвижный				
Сброженный	3,07	0,27	2,33	0,210	3,48	–
Сброженный с активным илом	3,93	0,70	3,70	0,180	3,29	0,95
Термически высушенный	1,96	–	3,92	0,007	5,21	5,81

– 1200-6000 мг/кг сухого вещества. Зольный состав осадка специфичен и определяется составом промышленных вод. По содержанию тяжелых металлов значительная часть осадков удовлетворяет международным агроэкологическим требованиям (табл. 6.22).

Осадок, предназначенный для использования в качестве удобрения, должен содержать не менее 40 % органического вещества, 1,6 – азота (N), 0,6 – фосфора (P_2O_5), 0,2 % – калия (K_2O) и иметь влажность не более 82 %.

Компостирование с осадками сточных вод. В целях ускорения процесса дегельминтизации осадков готовят компосты. При использовании в качестве наполнителей твердых бытовых отходов и опилок соотношение наполнитель-осадок берется соответственно от 0,5:1 до 1-1,5:1 в летнее время и от 1:1 до 2-3:1 в зимнее. Для компостирования с осадком пригодны все виды торфа. Компост с торфом готовят в любое время года. Соотношение осадка и торфа зависит от качества последнего и времени закладки компоста. В зимнее время для лучшего разогревания компоста относительное содержание торфа увеличивают, соотношение 2-1,5:1. При весенне-летнем приготовлении компоста это соотношение 1,5-1:1. Качество

6.22. Содержание тяжелых металлов в осадках сточных вод, мг/кг сухого веществ (Ладонин В.Ф., Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А. и др., 2002)

Элемент	Москва	Санкт-Петербург	Щекино	Сочи	ПДК в странах Западной Европы	Директивы ЕЭС	Нормативы РФ по группам	
							I	II
Ag	4 - 86	–	–	–	10 - 100	–	10	20
Hg	0,2 - 11	–	–	–	6 - 10	16	7,5	15
Pb	20 - 325	100		27	300 - 900	750	250	500
Cd	8 - 175	60	0,9	6	8 - 15	20	15	30
Ni	32 - 880	220	10	<100	26 - 500	300	200	400
Cr	265 - 4700	910	2		40 - 1000	750	500	1000
Mn	50 - 1860	305		810	500	–	–	–
Zn	560 - 7900	1450	51	1662	2000 - 10000	2500	1750	3500
Cu	69 - 1740	1250	3	381	300 - 3000	1000	750	1500

компоста повышается при добавлении в смесь торф-осадок извести из расчета 15-20 кг/т компоста. Срок созревания компостов 1,5-2 месяца в летнее время и 3-4 месяца зимой. Конец компостирования определяют по отсутствию яиц гельминтов в образцах компостов, отобранных с глубины 0,5 м. Правильно приготовленные компосты без добавок минеральных удобрений при pH 6,7-7,0 в расчёте на сухое вещество должны содержать не менее 50% органического вещества, 1,8-2,0 – Nобщ, 1,0-1,2 – P₂O₅ общ. и 0,2-0,5% K₂O.

Осадки и компосты в первую очередь следует применять в пригородных хозяйствах, прилегающих к очистным станциям. При этом необходимо учитывать наличие в них токсических веществ.

Оптимальный срок внесения удобрений на основе осадков сточных вод – осенний под основную обработку, а также летний – при обработке паровых и других рано освобождающихся полей севооборота. При этом в период осенних осадков и весеннего снеготаяния происходит вымывание из корнеобитаемого слоя входящих в их состав легкорастворимых соединений, особенно хлора. На слабо- и среднеокультуренных дерново-подзолистых почвах удобрения следует применять в нормах 10-15 т/га по сухому веществу, на окультуренных дерново-подзолистых почвах супесчаных и чернозёмах – 5-10 т/га. ОСВ применяют совместно с минеральными удобрениями.

Обязательное условие использования осадков сточных вод и компостов в качестве удобрения – соблюдение требований охраны окружающей среды. Их следует применять на ровных участках, не подверженных водной эрозии, с уровнем грунтовых вод не выше 40 см от поверхности почвы. При внесении удобрений на мелиорированных площадях вдоль магистральных каналов следует оставлять защитные полосы шириной не менее 30 м.

ИЗВЕСТКОВАНИЕ КИСЛЫХ И ГИПСОВАНИЕ СОЛОНЦОВЫХ ПОЧВ

7.1. ИЗВЕСТКОВАНИЕ ПОЧВ

Известкование – внесение в почву кальция (и магния) в виде карбоната, окиси или гидроокиси для нейтрализации кислотности. Это прием химической мелиорации, направленный не только на нейтрализацию избыточной кислотности почвы, но и на улучшение ее агрохимических, агрофизических и биологических свойств, обеспечение растений кальцием и магнием, мобилизацию и иммобилизацию макро- и микроэлементов в почве, снижение поступления радионуклидов и тяжелых металлов в растения, создание оптимальных физических, водно-физических, воздушных и других условий жизни культурных растений и повышение качества урожая (рис. 7.1).

Большинство растений развивается, как правило, при нейтральной или близкой к нейтральной реакции среды в почве, наиболее благоприятной для развития многих полезных почвенных микро-

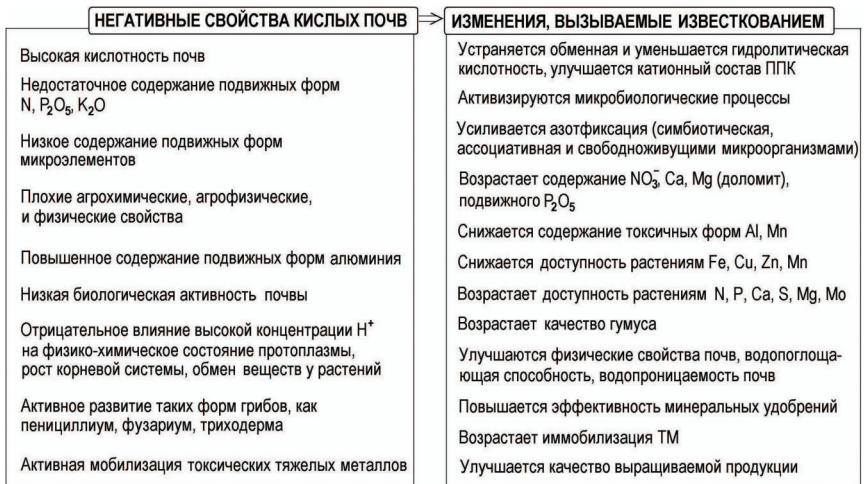


Рис. 7.1. Влияние известкования на улучшение свойств кислых почв

организмов. Реакция среды оказывает чрезвычайно сложное действие на условия питания растений, подвижность азота, фосфора, калия, микроэлементов, активность микрофлоры, физико-механические свойства почвы, поэтому оптимальный интервал рН для роста культуры одного и того же вида на различных почвах неодинаков. На почвах с повышенным содержанием органического вещества, а также на почвах легкого гранулометрического состава оптимальный интервал реакции сдвигается в кислую сторону.

Научное обоснование известкования почв состоит в следующем:

1. *Неблагоприятная* для культурных растений *реакция среды* отрицательно отражается на их росте и развитии вследствие ряда причин. Высокая концентрация водорода отрицательно влияет на физико-химическое состояние протоплазмы клеток корня, затрудняет рост корневой системы, нарушает нормальную проницаемость, обмен веществ в корнях. В связи с этим ухудшаются условия питания растения в целом.

Массовая гибель озимых зерновых культур и многолетних трав при перезимовке под покровом снега в большинстве районов Нечернозёмной зоны России связана не с низкими температурами, а с негативными свойствами почв – кислой реакцией среды, повышенным содержанием подвижных форм алюминия. Так, при перезимовке в одинаковых температурных условиях ($-12...-14^{\circ}\text{C}$, ниже которых редко опускается температура под покровом снега 15-20 см) растения клевера, озимой пшеницы полностью погибали на кислых, неизвесткованных почвах, а на произвесткованных почвах сохранились на 70-90% и давали 50-80 ц/га сена и 25-35 ц/га зерна озимой пшеницы.

2. Почвы с повышенной кислотностью имеют *плохие физико-химические и физические свойства*. Коллоидная часть почв бедна кальцием, магнием, но богата водородом и подвижными катионами алюминия, марганца и даже железа. Этим объясняются малое содержание коллоидной фракции в кислых почвах, их низкая ёмкость поглощения, слабая буферность и бесструктурность.

Следует иметь в виду, что процесс обеднения поглощающего комплекса пахотного слоя почвы основаниями постоянно протекает в естественных условиях. Причины этого могут быть различными, да и скорость процесса бывает разной. Под влиянием атмосферных осадков, а в ряде случаев и интенсивного применения удобрений происходит дальнейшее уменьшение в ППК кальция и магния и замена их водородом. Почвенный поглощающий комплекс постепенно разрушается, понижается и уровень агрономически ценной структуры.

Ежегодные потери кальция из почвы весьма значительны. Так, по данным лизиметрических опытов, средние потери CaCO_3 составляют 187 кг/га. В зависимости от количества выпадающих осадков эти потери колеблются от 89 до 287 кг/га и более.

3. При кислой реакции *алюминий*, содержащийся во многих почвах, образует растворимые соединения, оказывающие вредное действие на многие растения. Кроме этого, избыток водородных ионов в почвенном растворе отрицательно действует на питание растений: нарушаются поступление питательных катионов и анионов в растение, углеводный и белковый обмен.

4. На почвах с повышенной кислотностью *подавляется жизнедеятельность полезных микроорганизмов*, почти не развиваются аммонифицирующие и нитрифицирующие микробы, азотобактер, бактерии, разрушающие фосфорорганические соединения, и т.д. Такие же формы грибов, как пенициллиум, фузариум и триходерма, которые выделяют ядовитые вещества для растений, развиваются здесь хорошо. Все это создает неблагоприятные условия для жизни растений, а такие почвы являются малопродуктивными. Отношение почвенных микроорганизмов к реакции почвенной среды приведено в табл. 7.1.

7.1. Оптимальная реакция среды для различных почвенных микроорганизмов

Основные физиологические группы микроорганизмов	Наименование микроорганизмов	Оптимальные значения pH	Нижняя граница pH
Азотфиксаторы, связывающие молекулярный азот воздуха	<i>Симбиотические (клубеньковые):</i>		
	люцерны	6,8 - 7,2	4,9 - 5,0
	клевера	6,8 - 7,2	4,2 - 4,7
	гороха и вики	6,5 - 7,0	4,0 - 4,7
	люпина и сераделлы	5,5 - 6,5	3,2 - 3,5
	<i>Свободно живущие:</i>		
	азотобактер	6,5 - 7,5	5,5 - 6,0
Микроорганизмы, разлагающие растительные остатки	клубенидиум	5,0 - 7,0	4,7 - 5,0
	Грибы	4,0 - 5,0	1,5 - 2,0
	Маслянокислые бактерин	6,5 - 7,0	4,5 - 5,5
	Целлюлозо-разрушающие	6,2 - 7,2	—
	Аммонификаторы	6,2 - 7,0	—
Микроорганизмы, минерализующие гумусовые вещества	Денитрификаторы	7,0 - 8,0	6,0 - 6,2
	Нитрификаторы	6,5 - 7,5	4,8 - 5,0
	Фосформобилизующие	6,5 - 7,5	—

5. Известкование выполняет важную *экологическую функцию* в агроценозе, так как этот прием приводит к иммобилизации тяжелых металлов, радионуклидов и других токсических элементов. Это позволяет получать экологически безопасную продукцию растениеводства в агроэкосистемах на техногенно загрязненных территориях.

Среди пахотных площадей стран СНГ почв с повышенной кислотностью около 45 млн га, а нуждающихся в известковании – свыше 60 млн га. В основном это дерново-подзолистые и светло-серые лесные почвы. Часть кислых почв встречается среди болотных, серых лесных почв и краснозёмов.

Одним из главных приемов улучшения свойств таких почв, с помощью которого достигается нейтрализация их кислотности, является известкование. Этот прием улучшения почв известен человечеству давно, однако сознательно применение извести в целях повышения урожая различных культур стало проводиться с прошлого столетия. По дешевизне, эффективности и ресурсообеспеченности известкованию нет альтернативы.

Большой вклад в исследования роли известкования в повышении плодородия почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур внесли российские ученые И.А. Стебут, Д.И. Менделеев, А.Н. Энгельгардт, П.А. Костычев, Д.Н. Прянишников, П.С. Коссович, К.К. Гедройц, О.К. Кедров-Зихман и др.

Научной основой теории и практики известкования почв явилось учение К.К. Гедройца о почвенном поглощающем комплексе. На основании этого учения установлено, что многие важные агрономические свойства почвы находятся в тесной зависимости от степени насыщенности почвенного поглощающего комплекса кальцием. Выявлены различные формы почвенной кислотности, что имеет существенное значение для научного обоснования необходимости известкования и определения дозы извести. За последние годы проделана большая работа по установлению условий высокой эффективности известкования кислых дерново-подзолистых почв в сочетании с рациональной системой применения удобрений и другими приемами агротехники.

ИЗМЕНЕНИЯ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ В ПОЧВЕ ИЗВЕСТЬЮ

Известь оказывает многостороннее положительное действие на почву. Нейтрализует органические кислоты в почве и вытесняет ионы H^+ из поглощающего комплекса, что приводит к устранению обменной и значительному снижению гидролитической кислотности почвы. При этом улучшается катионный состав почвенного поглоща-

ющего комплекса вследствие замены ионов водорода и алюминия на катионы кальция и магния, что приводит к повышению степени насыщенности почв основаниями и увеличению емкости поглощения. После внесения извести хорошие агрохимические свойства почвы и ее структуры сохраняются в течение ряда лет. Это создает благоприятные условия для активизации полезных микробиологических процессов по мобилизации питательных веществ. Усиливается деятельность аммонификаторов, нитрификаторов, свободноживущих азотфиксирующих бактерий. Известкование способствует усиленному размножению клубеньковых бактерий и лучшему снабжению азотом растения-хозяина. На кислых почвах бактериальные удобрения не эффективны.

Внесение высоких доз извести не оказывает существенного влияния на содержание гумуса в почве, но значительно улучшает его качество. В органическом веществе при этом сужается соотношение углерода и азота, увеличивается содержание наиболее ценных гуминовых кислот. Внесенные в почву органические материалы, такие, как навоз, зеленое удобрение, корневые остатки и стерня в почве, обеспеченной известью, быстрее разлагаются. Однако при этом образуются более стойкие гуминовые вещества, чем на неизвесткованной почве.

Известкование приводит к лучшему обеспечению растения не только азотом, но и зольными элементами вследствие усиления активности бактерий, разлагающих органические фосфорные соединения почвы, а также и перехода фосфатов железа и алюминия в более доступные растениям фосфорнокислые соли кальция.

При известковании кислых почв в результате усиления микробиологических и биохимических процессов увеличивается количество нитратов, усвояемых форм фосфора и калия. С известкованием увеличивается количество кальция, а при внесении в почву доломитовой муки – и магния. При этом подвижные токсические формы алюминия и марганца переходят в нерастворимую, осажденную форму, доступность железа, меди, цинка и марганца снижается, а азота, серы, калия, кальция, магния, фосфора и молибдена возрастает. В интервале рН 5,5-7 получают наиболее агрономически благоприятная структура почвы, самое высокое качество гумуса, оптимальный водный режим. Поэтому закрепление отдельных питательных элементов в почве при известковании до рН 5,5-7 рекомендуется возмещать путем внесения соответствующих удобрений.

После известкования бор переходит в менее доступные для растений соединения, образуя менее растворимые соединения с известью. Кроме того, усиление микробиологической деятельности вызывает

большее поглощение бора бактериями. Это создает недостаток бора для растений, поэтому внесение борных удобрений бывает особенно эффективно на почвах, подвергнутых известкованию.

Известкование улучшает физические, физико-химические и биологические свойства почвы. Кальций способствует коагуляции почвенных коллоидов и предотвращению их вымывания, вследствие этого облегчается обработка почвы, улучшается аэрация известкованной почвы. На песчаных гумусных почвах хорошая обеспеченность кальцием улучшает их водопоглощающую способность, а на тяжелых глинистых почвах известь способствует образованию почвенных агрегатов и комковатости, улучшает их водопроницаемость.

Важная функция известкования – предотвращение декальцинирования пахотного слоя почвы, а также поддержание положительного баланса кальция, а при применении доломитовой муки – и магния. Это позволяет систематически улучшать свойства этих почв, повышать их плодородие и создавать условия для более эффективного использования возрастающих доз минеральных удобрений.

Известкование полностью удовлетворяет потребность всех растений в кальции как элементе минерального питания, что для некоторых культур имеет большое значение, повышает эффективность физиологически кислых минеральных удобрений, особенно аммиачных и калийных. Без внесения извести положительное действие физиологически кислых удобрений затухает, а со временем переходит даже в отрицательное действие, т.е. на участках с применением минеральных удобрений урожай оказывается даже ниже, чем на удобренных, поэтому важно, чтобы вносимые дозы известковых материалов обеспечивали бы нейтрализацию не только почвенной кислотности, но и кислотности физиологически кислых форм минеральных удобрений. В этом случае эффективность минеральных удобрений значительно возрастает. Сочетание известкования с применением удобрений повышает их эффективность на 25 - 50%.

Расходы на известкование окупаются обычно в течение двух лет, а действие извести длится много лет. Значение известкования кислых почв намного возрастает в связи с переходом на интенсивные системы земледелия, где ведущими культурами являются пшеница, кукуруза, сахарная свекла, горох и другие, получить высокий урожай которых на этих почвах без внесения извести невозможно.

Известкование активизирует ферментативные процессы в почве, по которым косвенно можно судить об ее плодородии. При известковании снижается гибель озимых культур и многолетних трав, улучшается качество сельскохозяйственных растений, особенно

бобовых культур. У бобовых содержание белка возрастает в связи с увеличением клубеньковых бактерий, фиксирующих азот воздуха, а у небобовых – из-за устранения излишней кислотности почвы, а также связывания подвижных форм алюминия, отрицательно влияющих на синтез белка. На известкованных почвах получают растительную продукцию с содержанием белка на 2-5% выше, чем на кислых. Качество продукции возрастает также за счет иммобилизации в почве токсических элементов и радионуклидов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗВЕСТКОВАНИЯ

В известковании почв возникает необходимость тогда, когда создается несоответствие между реакцией почвы и требованиями возделываемых растений к ней. Необходимость известкования устанавливается по ряду признаков (рис. 7.2).

1. Плохой рост и развитие возделываемых растений, несмотря на хорошую агротехнику и удобрение. При этом культурные растения (ячмень, кукуруза, сахарная свекла, пшеница, бобовые), требующие нейтральной или слабокислой реакции, растут плохо, а сорные растения (щавель, хвощ, ситник, щучка и др.) сильно распространены. На кислых луговых землях распространены: белоус, щучка, лютик ползучий, полевица, вереск, багульник, ситник лягушечный, а клевер, лисохвост, ежа сборная и другие сладкие травы не растут или почти отсутствуют. Такие луга нуждаются в известковании.

2. Низкий показатель pH. Для определения потребности почв в известковании определяют реакцию почвенной среды (обычно pH солевой вытяжки) и степень насыщенности почвы основаниями.



Рис. 7.2. Признаки необходимости известкования

В настоящее время приняты следующие градации: рН 4,5 и ниже – потребность в известковании высокая; 4,6-5,0 – потребность в известковании средняя; 5,1-5,5 – слабая; выше 5,5, как правило, отсутствует; $V = 50\%$ – высокая, $V = 51-70\%$ – средняя, $V = 70\%$ – обычно отсутствует.

3. Состояние гидrolитической кислотности почвы, суммы поглощенных оснований, гранулометрического состава почвы, содержание подвижного алюминия, а также специализация севооборота. Учет всех этих показателей дает довольно точные рекомендации для известкования того или иного поля.

На тяжелых по гранулометрическому составу почвах необходимость известкования бóльшая, чем на почвах более легких. Наличие подвижного алюминия увеличивает потребность в известковании.

4. Кислые дерново-подзолистые почвы имеют хорошо развитый ясный белый подзолистый горизонт глубиной не меньше 8-10 см, сильно заплывающую поверхность пахотного слоя; на них очень часто проявляется корка, они не имеют структуры. Если подпахотный горизонт неясно выражен и имеет небольшие подзолистые прослойки, то такие почвы обладают слабой кислотностью и в известковании не нуждаются или слабо нуждаются. Однако такая закономерность ясно проявляется на суглинистых и глинистых почвах.

Песчаные и супесчаные почвы даже при отсутствии белёсого подзолистого горизонта нужно известковать небольшими дозами.

Почвы, которые подстилаются на глубине 40-50 см известковыми породами, обычно не нуждаются в известковании.

При установлении очередности известкования надо учитывать кроме агрохимических показателей и биологические особенности растений. Различные растения по-разному относятся к известкованию почв. Большинство растений к этому приему относится положительно, однако урожай таких культур, как картофель, лен, люпин, может снизиться и ухудшиться его качество. В этом случае нужно вносить невысокие дозы извести или сочетать ее внесение с навозом. Под культуры, чувствительные к кислотности, при равных агрохимических показателях известь надо вносить в первую очередь, т.е. нужно считаться с типом севооборота (табл. 7.2).

Почвы первой и второй очереди известкуют обязательно, а почвы третьей очереди можно известковать только в тех случаях, когда известковый материал расположен недалеко от хозяйства и затраты на его перевозку небольшие. Почвы с высокой, средней и слабой потребностью в севооборотах с набором интенсивных культур, а

7.2. Очередность известкования почв в зависимости от типа севооборота

Структура посевных площадей и севооборот	Очередность известкования при			
	высокой потребности	средней потребности	слабой потребности	отсутствии потребности
Полевые интенсивные севообороты с 20% кукурузы, 5% – сахарной свёклы, 20% – зернобобовых культур от посева зерновых	первая очередь	первая очередь	первая очередь	проводится известкование малыми дозами
Овощные севообороты	то же	то же	то же	то же
Полевые севообороты с большим удельным весом льна и картофеля	то же	вторая	не известкуется	не известкуется
При коренном улучшении лугов	вторая	третья	поддерживается малыми дозами	то же

также в овощных севооборотах требуют обязательного известкования, а в севооборотах с большим удельным весом льна и картофеля в первую очередь известкуются только почвы с высокой потребностью. На лугах известь вносится во вторую и третью очередь.

В первую очередь необходимо известковать почвы сильно- и среднекислые при возделывании на них культур, более требовательных к условиям реакции, т.е. в овощных, кормовых и полевых севооборотах (с многолетними травами, клеверами, люцерной), а также кислые почвы при закладке культурных лугов и пастбищ. В этом случае кислые почвы известкуют до посева травосмесей. Поверхностное известкование, как правило, менее эффективно и проводится только на естественных кормовых угодьях.

Результаты исследований, проведенных в последние годы, показали, что опасность отрицательного влияния полных доз извести на лен, картофель и люпин, считавшихся ранее кальциефобами, преувеличена. Систематическое применение органических и минеральных удобрений, повышение плодородия почвы, сочетание известкования с применением магния, бора и повышенных доз калийных удобрений без ущерба для урожая и качества продукции льна, люпина и картофеля в севооборотах с этими культурами позволяют рекомендовать на песчаных и супесчаных почвах 1/2 - 2/3 дозы извести, а на суглинистых – 3/4 - 1 от полной дозы известковых удобрений.

На фоне высоких доз извести возрастает эффективность калий-ных, магниевых и борных удобрений. В севооборотах со льном известь лучше вносить под покровную для многолетних трав культуру, если травы являются предшественником льна. В других случаях известкование целесообразно приближать к посевам этой культуры.

В специализированных севооборотах, когда картофель занимает 30 - 40% в структуре посевных площадей, следует уменьшить дозы извести. В этом случае известкование приближают к посадке картофеля, что предотвращает поражение клубней паршой обыкновенной.

Лучшие формы известковых удобрений в севооборотах со льном, картофелем и люпином – магниесодержащие (доломитовая и магниезиальная известняковая мука).

На эффективность известкования существенное влияние оказывает качество известкового материала, в частности тонина помола. Средняя ежегодная прибавка урожая в зависимости от фракции известняковой муки следующая:

Фракции, мм	0,25	0,25 - 1,0	1 - 3
В ц/га кормовых единиц	16,6	14,8	9,4
В относительных числах	100	89	57

Это объясняется тем, что грубая фракция извести слабее реагирует с почвой, в меньшей мере снижает ее кислотность, содержание подвижных форм алюминия, марганца и в первый год внесения слабо улучшает свойства почвы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗ ИЗВЕСТКОВЫХ УДОБРЕНИЙ

Значение известкования особенно возрастает при систематическом применении повышенных доз физиологически кислых минеральных удобрений, а также с освоением новых земель, как правило требующих окультуривания пахотного слоя.

Для повышения эффективности известкования необходимо выполнить следующие условия: 1) определить степень кислотности почвы; 2) учесть отношение культур севооборота к известкованию; 3) правильно установить дозу извести; 4) умело сочетать известкование почв с применением органических и минеральных удобрений; 5) равномерно внести известковые удобрения.

Потребность в известковании устанавливается только на основе агрохимических анализов почвы, приводимых на картограммах их кислотности или в паспортах полей.

Дозы извести зависят от чувствительности основных культур севооборота к кислотности, гранулометрического состава почвы, ее

кислотности, содержания гумуса, глубины пахотного горизонта и качества известковых удобрений. Половинные дозы извести (эквивалентные или менее 0,5 гидролитической кислотности) дают значительные прибавки урожаю сельскохозяйственных культур, но не обеспечивают коренного изменения реакции почвы. На величину сдвига реакции почвы при известковании наряду с дозой извести большое влияние оказывают емкость поглощения почвы, ее буферная способность, которые зависят главным образом от содержания гумуса, гранулометрического состава почвы и уровня исходной кислотности.

При слабокислой реакции почвы, например при рН 5,5-6,0, в большинстве случаев можно ограничиться нормой извести из расчета 2/3 от полной гидролитической кислотности. Если гидролитическая кислотность ($H_{г}$) выражена в миллимолях на 100 г почвы, то количество $CaCO_3$ в тоннах на 1 га при полной норме численно равно гидролитической кислотности, умноженной на 1,5. Это вытекает из формулы

$$CaCO_3, \text{ т/га} = \frac{H_{г} \times 50 \times 3\,000\,000}{100\,000\,000}$$

Если известь вносить по 2/3 от полной гидролитической кислотности, то сама величина гидролитической кислотности будет соответствовать дозе извести в тоннах на гектар. Если для известкования применяются другие известковые удобрения, а не $CaCO_3$, то вычисленную дозу извести умножают на коэффициенты: для $MgCO_3$ – 0,84, $Ca(OH)_2$ – 0,74, CaO – 0,56. Известняковая мука содержит примеси и влагу, а также частицы крупнее 1 мм, которые медленно взаимодействуют с почвой. Дозу конкретного известкового удобрения рассчитывают по следующей формуле:

$$Д = \frac{100^3 \times Н}{(100 - В)(100 - К) \times П},$$

где $Д$ – доза известкового удобрения в физическом весе, т/га; $В$ – содержание влаги, %; $К$ – количество частиц крупнее 1 мм, %; $Н$ – нейтрализующая способность, % $CaCO_3$; $П$ – полная доза $CaCO_3$, т/га.

В севооборотах, где преобладают культуры слабо чувствительные к кислотности почвы (картофель, лен, рожь, овес, козлятник, люпин, сераделла и др.) не требуется полное устранение кислотности, а необходимо поддерживать оптимальную для культур слабокислую реакцию (pH_{KCl}) почвы. Дозы $CaCO_3$ для достижения заданного уровня реакции почвы рассчитывают по формуле:

$$Д = 10 \Delta pH \cdot M,$$

где D – доза CaCO_3 , т/га; ΔpH - планируемый сдвиг pH; 10 – коэффициент; M – норматив расхода CaCO_3 , т/га для сдвига pH на 0,1.

Углекислый кальций постепенно нейтрализует почвенную кислотность. После известкования почвы по гидролитической кислотности нейтральная реакция устанавливается обычно через 2-3 года. Дозы извести можно определить согласно pH солевой вытяжки и гранулометрическому составу почв (табл. 7.3).

Торфяно-болотные почвы с кислой реакцией почвенного раствора обычно имеют высокую потенциальную кислотность, обусловленную главным образом ионом водорода. В то же время эти почвы обладают большой буферной способностью вследствие высокого содержания органического вещества, поэтому при pH более 5,0 в известковании не нуждаются.

Дозы извести, установленные для торфяно-болотных почв представлены в табл. 7.4.

Черноземные почвы в севооборотах с сахарной свеклой известкуют при гидролитической кислотности выше 1,8 ммоль и степени насыщенности основаниями менее 93%. Дозы извести для этих почв устанавливают по величине гидролитической кислотности. Приведенные дозы извести пригодны только для внесения при вспашке на глубину 20 см. При другой глубине вспашки дозу известкового удобрения соответственно изменяют.

Если хозяйство не имеет возможности провести известкование полной дозой, то можно известковать пониженными дозами. При этом должны применяться и различные способы внесения извести.

7.3. Дозы CaCO_3 для почв Центрального района Нечерноземной зоны, т/га (ВИУА. 2003)

Почвы	pH_{KCl}									
	3,8- 3,9	4,0- 4,1	4,2- 4,3	4,4- 4,5	4,6- 4,7	4,8- 4,9	5,0- 5,1	5,2- 5,3	5,4- 5,5	5,6- 5,8
Песчаные	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,2	1,0	-
Супесчаные	7,0	5,5	4,5	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,2	-
Легкосуглинистые	8,0	6,5	5,5	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	1,5
Средне-суглинистые	9,0	8,0	6,5	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5
Тяжелосуглинистые	10,5	9,5	7,5	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,0
Глинистые	12,5	10,5	9,0	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	3,5

7.4. Дозы CaCO₃ для торфяно-болотных почв, т/га (ВИУА. 2003)

pH _{KCl}	Гидролитическая кислотность, ммоль/100 почвы	Степень насыщенности основаниями, %	Масса почвы в слое 0-20 см	
			< 500 т/га	> 500 т/га
< 3,9	> 100	< 25	10 - 12	12 - 16
3,91-4,3	100-60	25 - 50	4 - 6	6 - 8
4,31-4,7	60-40	50 - 65	3 - 4	4 - 5
4,71-5,2	40-30	65 - 75	2 - 3	3 - 4
> 5,2	< 30	> 75	не вносят	

Если вносится 1/4 - 1/2 часть от полной дозы, то лучше заделывать культиватором или бороной. При еще меньшей дозе лучше использовать местное внесение извести в лунки при высадке капусты (5 - 15 ц/га) или вместе с семенами и другим посадочным материалом. Кроме этого, целесообразно применять известкование для нейтрализации кислых минеральных удобрений:

- на 1 ц (NH₄)₂SO₄ – 1,25 ц CaCO₃;
- на 1 ц NH₄NO₃ – 0,75 ц CaCO₃;
- на 1 ц Ca(H₂PO₄)₂ – 0,1 ц CaCO₃;
- на 1 ц (NH₂)₂CO – 1,2 ц CaCO₃;
- на 1 ц аммиачной воды – 0,5 ц CaCO₃;
- на 1 ц хлористого аммония – 1,4 ц CaCO₃.

Известь предотвращает подкисление почвы этими удобрениями и повышает их эффективность.

Вносить известь нужно под те культуры, которые особенно чувствительны к кислотности почвы: это сахарная свекла, кукуруза, озимая пшеница, ячмень, клевер, люцерна, донник. После внесения извести такие культуры дают высокие прибавки урожая. Можно вносить известь также под вспашку занятых паров. Рекомендуются следующие оптимальные периоды проведения известкования:

АПРЕЛЬ – МАЙ

Под культуры ярового сева, занятые пары, покров многолетних трав, по многолетним травам, сенокосам и пастбищам

ИЮНЬ – ИЮЛЬ – АВГУСТ

После уборки озимых, однолетних трав на зеленый корм и многолетних трав. На вновь осваиваемых землях. Под озимые культуры

СЕНТЯБРЬ – ОКТЯБРЬ

После уборки озимых и яровых культур по вспаханной зяби и до вспашки зяби на вновь осваиваемых землях

Рожь, яровая пшеница, овес легче переносят кислотность почвы и слабее реагируют на известкование, но их и не угнетают повышенные дозы извести. Лен, картофель, люпин, сераделла повышают урожай только при умеренных дозах извести, повышение же ее дозы без соответствующих доз минеральных удобрений, особенно калия, может оказать вредное влияние на урожай и его качество.

Под капусту, свеклу целесообразно дозу извести рассчитывать по полной гидролитической кислотности, а если в севообороте большие площади заняты картофелем, льном или если малобуферные легкие почвы, то можно ограничиться дозой извести на уровне 1/2 гидролитической кислотности. На лугах известь применяют в дозах по 1/2 и 3/4 гидролитической кислотности осенью или весной и заделывают бороной. При коренном улучшении лугов под вспашку вносят полную дозу извести. Все плодово-ягодные культуры, как правило, хорошо отзываются на известкование почвы. Поэтому при закладке питомников и садов почву следует произвестковать полной дозой извести.

Известь можно вносить вместе с органическими удобрениями самыми различными способами. Не рекомендуется лишь совместное внесение навоза и жженой или гашеной извести, так как в этом случае неизбежны потери аммиака. Не следует вносить совместно фосфорит-ную муку и костяную с известью (кроме компостов), так как в этом случае будет задерживаться переход P_2O_5 из труднодоступной в усвояемую для растений форму.

На супесчаных и песчаных почвах важно применять доломитовую муку, так как на этих почвах ощущается высокая потребность не только в кальции, но и в магнезии. Песчаные и супесчаные почвы в 5-6 раз беднее кальцием и в 15-20 раз беднее магнезией, чем суглинистые и глинистые. Доломитовая мука не только нейтрализует кислотность почв и улучшает физические и физико-химические свойства, но является одновременно кальциевым и магниевым удобрением. Доломитовую муку можно вносить по 1/2 гидролитической кислотности.

При внесении извести или доломитовой муки надо выполнять главное агротехническое требование – равномерно распределять их по поверхности поля, так как при неравномерном внесении получают переизвесткованные участки, на которых впоследствии растения могут погибнуть от щелочной реакции. Наиболее совершенно механизированное внесение извести, при котором равномерно распределяются материалы по поверхности почвы. Сухие известковые удобрения вполне удовлетворительно высеваются различными туко-

высевающими машинами. Самые благоприятные для внесения известковых материалов безветренные дни и дни с оттепелями.

При известковании почв в условиях холмистого рельефа следует учитывать следующие факторы.

1. Рассев извести пневморазбрасывателями РУП-8, АРУП-8 на полях с уклоном 7 - 10° не рекомендуется.

2. На полях с более крутыми склонами рекомендуется пользоваться разбрасывателем РУМ-3, который может нормально рассеивать известь на склонах с крутизной до 15°.

3. На пологих склонах с уклоном 5 - 7° заезды агрегатов-разбрасывателей можно ориентировать в зависимости от ветра в любом направлении, в том числе и поперек склона.

4. На полях с уклоном более 10° заезды агрегатов-разбрасывателей следует направлять при крутизне склона до 15° вверх по склону, при крутизне склона более 15° – только вниз по склону.

5. Коэффициент неравномерности распределения извести по полю с холмистым рельефом может быть на 5 - 10% больше, чем на полях с выровненным рельефом.

При проведении известкования необходимо систематически осуществлять агрохимический контроль за выполнением агротехнических требований по качеству работ. К наиболее важным показателям относятся: неравномерность разбрасывания по ширине захвата, отклонение от расчетной дозы, россыпи на поле и разворотных полосах, соблюдение технологических требований на разворотах и т.д.

Наиболее важные из требований представлены в табл. 7.5.

7.5. Показатели оценки качества работы (равномерности) при внесении известковых удобрений

Технологические показатели	Оценка качества			
	отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
Неравномерность разбрасывания по рабочей ширине захвата агрегата:				
а) с центробежным разбрасывателем	до ±15%	±16-20%	±21-25%	свыше ±25%
б) с пневматическим разбрасывателем	до ±20%	±21-25%	±26-30%	свыше ±30%
Отклонение от дозы	до ±3%	±4-5%	±6-10%	свыше ±10%
Рабочая ширина захвата	выдерживается	выдерживается	небольшие отклонения	огрехи на стыках проходов

В период работы агрегатов следует контролировать ширину разбрасывания, равномерность распределения известковых удобрений и соблюдение нормы внесения. Величина отклонения ширины захвата не должна превышать $\pm 10\%$ от рекомендуемой. Неравномерность разбрасывания – $\pm 25 - 30\%$.

Ежедневный контроль качества работы разбрасывателей проводят визуально. При этом выявляют огрехи или участки с повышенным количеством внесенной извести.

Дозу внесения извести определяют, исходя из фактического веса внесенного удобрения и произвесткованной площади. Периодичность определения фактической дозы извести зависит от проектируемой дозы внесения и качества известковых удобрений. Если доза отличается от заданной более чем на 10% , то необходимо провести её корректировку дозирующим рабочим органом разбрасывателя.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЕСТКОВАНИЯ

Высокое положительное действие извести зависит от многих факторов:

- 1) от доз, сроков и приемов внесения извести;
- 2) от видов и качества известковых удобрений;
- 3) от отзывчивости культур на известкование;
- 4) от свойств почвы и ее гранулометрического состава;
- 5) от сочетания известкования с применением удобрений и др.

Необходимо также учитывать длительность действия известкования в севообороте.

Растения неодинаково относятся к почвенной кислотности и известкованию. По отношению к кислотности почвы полевые культуры делятся на группы (рис. 7.3).

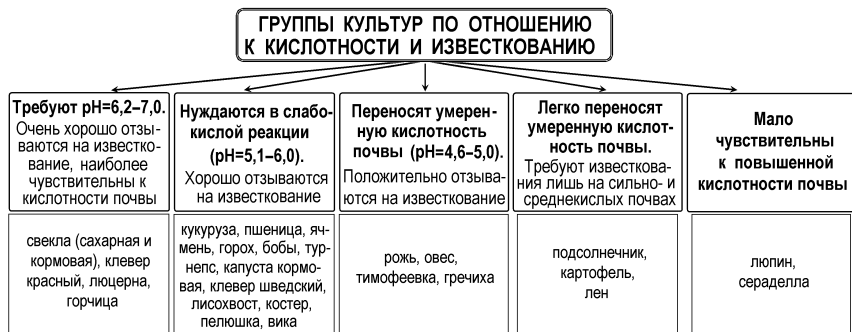


Рис. 7.3. Основные группы сельскохозяйственных культур по отношению к кислотности почв и известкованию

По отношению к кислотности почвы и отзывчивости на известкование сельскохозяйственные культуры условно подразделяют на пять групп.

К *первой группе* относятся наиболее чувствительные культуры, для которых оптимальной является слабощелочная ($pH_{H_2O} - 7,0 - 8,0$; $pH_{KCl} - 6,8 - 7,5$) среда: сахарная, кормовая и столовая свекла, капуста белокочанная, люцерна, эспарцет, горчица, рапс, лук, чеснок, сельдерей, шпинат, перец, пастернак, смородина и др. При возделывании этих культур на очень кислых почвах урожайность снижается в 2-3 раза и растения сильно поражаются болезнями. Поэтому почвы, предназначенные для их возделывания следует известковать в первую очередь.

Ко *второй группе* относятся основные культуры: пшеница, ячмень, кукуруза, горох, клевер, вика, фасоль, нут, чина, чечевица, цветная и кормовая капуста, кольраби, брюква, турнепс, салат, лук-порей, огурец, костер, лисохвост, для которых наиболее благоприятной является реакция почвы близкая к нейтральной, оптимальное значение $pH_{KCl} - 6,0 - 6,5$. Они хорошо отзываются на известкование. Повышение кислотности почвы до pH 4,5 снижает урожайность этих культур в 1,5-2 раза и существенно повышает заболеваемость.

К *третьей группе* относятся озимая рожь, овес, гречиха, тимофеевка, помидоры, подсолнечник, морковь, тыква, кабачки, петрушка, редька, репа, ревень, топинамбур и другие культуры, переносящие умеренную кислотность и щелочность почвы. Эти культуры не имеют явно выраженного оптимального значения реакции среды. Большое влияние оказывают сопутствующие факторы роста. При благоприятном пищевом режиме и экологических условиях они могут давать высокие урожаи в широком диапазоне pH_{KCl} от 5 до 7,5.

К *четвертой группе* относятся картофель, лён-долгунец, просо, сорго и др. Для этих культур оптимальное значение $pH_{KCl} - 5,1 - 5,6$. Они довольно хорошо переносят умеренную кислотность почвы, положительно отзывается на известкование при сохранении в почве оптимального соотношения между кальцием, калием, магнием, бором и другими элементами питания.

В *пятую группу* включены: чай, кофе, какао, люпин желтый и синий, козлятник, щавель, сераделла и др. Оптимальные условия для роста и развития данных культур создаются при $pH_{KCl} 4,5 - 4,8$. Они малочувствительны к повышенной кислотности и нуждаются в известковании только на очень сильнокислых почвах ($pH_{KCl} < 4,0$).

Несмотря на различное отношение к кислотности взрослых растений, для большинства сельскохозяйственных культур при

прорастании и в молодом возрасте требуется среда близкая к нейтральной – pH_{KCl} 5,8-6,2 или pH_{H_2O} – 6,4-7,0. Такая реакция наиболее благоприятна для физиологических процессов роста.

Физиологический (биологический) оптимум реакции среды для растений может заметно отличаться от экологического (технологического), связанного с изменением подвижности элементов питания и условиями развития болезней. Так, например, для картофеля и льна, если растения и почва не заражены болезнями, биологический оптимум реакции среды соответствует pH_{KCl} 6,0-6,2, однако из-за поражения растений в этих условиях болезнями (картофель при нейтральной и слабощелочной реакции почвы поражается паршой, вызываемой актиномицетами, лен – фузариозом), в полевых условиях их урожайность и качество выше при pH_{KCl} 5,2-5,6; – экологический оптимум. Несовпадение биологического и экологического оптимального значения реакции среды для многих сельскохозяйственных культур чаще всего обуславливается изменением доступности элементов питания при изменении pH почвы, нежели иными факторами.

В этой связи следует учитывать не только отношение различных сельскохозяйственных культур к реакции почвы, но и изменение доступности азота, фосфора, калия и микроэлементов, вызываемое известкованием. Известкование почвы до pH выше 6,6 неэффективно, поскольку значительно увеличивается вынос и вымывание вносимого кальция из почвы и снижается подвижность микроэлементов кроме Mo .

Действие извести продолжительно, при внесении ее необходимо учитывать отношение к ней всех культур севооборота или, по крайней мере, ведущих, т.е. важно учитывать специализацию севооборота и гранулометрический состав почв.

В табл. 7.6 предоставлены ориентировочные оптимальные уровни pH_{KCl} почв для севооборотов различных типов. Оптимальными на дерново-подзолистых и серых лесных почвах являются дозы известковых удобрений, близкие к полным по гидролитической кислотности, обеспечивающие смещение реакции до $pH_{(сол.)}$ 5,4-5,8.

Реакция среды оказывает сложное действие на условия питания растений, подвижность азота, фосфора и калия и микроэлементов, активность микрофлоры, физико-химические свойства почвы и др., поэтому оптимальный интервал для роста культуры одного и того же вида на различных почвах неодинаков.

Известкование – один из наиболее экономически выгодных приемов повышения урожая сельскохозяйственных культур на кислых почвах. В табл. 7.7 приведены средние прибавки урожая сельскохозяйственных культур от внесения извести в почву с различной

7.6. Ориентировочные оптимальные уровни реакции почв (рНкис) для севооборотов различных типов

Гранулометрический состав почвы*	Типы севооборотов**					Культурные пастбища и сенокосы	
	1	2	3	4	5	злаковые	бобово-злаковые
Песчаные и супесчаные	5,0 - 5,3	5,3 - 5,5	5,8 - 6,0	5,5 - 6,0	5,8 - 6,0	5,2 - 5,4	5,4 - 5,6
Легко- и среднесуглинистые	5,5 - 5,6	5,5 - 6,0	6,0 - 6,2	5,8 - 6,0	6,0 - 6,2	5,4 - 5,6	5,6 - 5,9
Тяжелосуглинистые и глинистые	5,5 - 5,8	5,8 - 6,2	6,2 - 6,5	6,0 - 6,2	6,2 - 6,5	5,6 - 5,8	6,0 - 6,2
Торфяные	4,6 - 4,8	4,8 - 5,2	5,2 - 5,8	5,0 - 5,4	5,2 - 5,6	4,6 - 4,8	5,0 - 5,2

Почвы* с содержанием органического вещества до 5%;

Типы севооборотов**: 1 – полевые с высоким удельным весом льна, картофеля и люпина; 2 – полевые с многолетними травами и небольшими площадями льна, картофеля и люпина; 3 – севообороты с сахарной свеклой и люцерной; 4 – кормовые (прифермские); 5 – кормовые и овощекормовые.

7.7. Примерные прибавки урожая различных культур в зависимости от дозы внесения извести, ц /га (Шильников, 2001)

Культура	Кислотность почвы, рН	Доза извести (CaCO ₃), т/ га			
		2 - 4	4 - 6	6 - 8	8
Озимая пшеница	4,5 и ниже	3,9	4,6	5,4	6,6
	4,6 - 5,0	2,7	4,0	4,6	5,0
	5,1 - 5,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Ячмень	4,5 и ниже	3,6	4,0	4,5	5,1
	4,6 - 5,0	3,0	3,6	4,1	4,4
	5,1 - 5,5	1,4	1,8	2,0	2,0
Озимая рожь	4,5 и ниже	2,0	3,0	3,4	3,8
	4,6 - 5,0	1,7	2,0	2,4	2,8
	5,1 - 5,5	0,5	1,0	1,2	1,2
Овес	4,5 и ниже	2,0	2,3	2,6	2,9
	4,6 - 5,0	1,7	2,0	2,2	2,5
	5,1 - 5,5	0,5	1,0	1,2	1,2
Кукуруза (на силос)	4,5 и ниже	40	60	70	80
	4,6 - 5,0	20	30	40	40
	5,1 - 5,5	10	15	20	20

Культура	Кислотность почвы, pH	Доза извести (CaCO ₃), т/га			
		2-4	4-6	6-8	8
Яровая пшеница	4,5 и ниже	2,0	2,4	2,6	2,8
	4,6 - 5,0	1,0	1,5	2,0	2,0
	5,1 - 5,5	0,5	0,8	0,8	1,0
Многолетние травы (сено)	4,5 и ниже	18	25	27	30
	4,6 - 5,0	12	15	18	20
	5,1 - 5,5	9	12	13	15
Однолетние травы (сено)	4,5 и ниже	12	14	16	16
	4,6 - 5,0	6	8	10	10
	5,1 - 5,5	5	8	8	8
Сахарная свекла	4,5 и ниже	35	60	80	110
	4,6 - 5,0	30	40	60	90
	5,6 и выше*	40	40	40	50
Корнеплоды	4,5 и ниже	60	90	120	140
	4,6 - 5,0	20	40	50	60
	5,1 - 5,5	10	15	15	15
Картофель	4,5 и ниже	10	14	18	20
	4,6 - 5,0	13	17	17	10
	5,1 - 5,5	5	5	5	–
Лен (соломка)	4,6 и ниже	1,4	2,1	2,6	3,0
	4,6 - 5,0	1,8	2,0	2,2	2,2
Капуста кочанная	4,6 - 5,0	40	44,0	41,0	39,0
	5,1 - 5,5	–	–	–	–
Томаты	4,5 и ниже	–	–	48,0	18,0
	4,6 - 5,0	–	22,0	12,0	–
	5,1 - 5,5	–	–	–	–
Морковь	4,5 и ниже	–	29,0	–	34,0
	4,6 - 5,0	–	–	–	–
	5,1 - 5,5	–	–	–	–
Сеяные луга и пастбища и бобово-злаковые (сено)	4,5 и ниже	10	15	18	20
	4,6 - 5,0	6	8	12	–
	5,1 - 5,5	4	–	–	–
Естественные луга (сено)	4,5 и ниже	3	4	4	–
	4,6 - 5,0	2	2	–	–
Соя (зерно)	4,5 и ниже	–	–	3,0	–
	4,6 - 5,0	1,7	–	1,5	–

*Для чернозёмных почв.

кислотностью. За ротацию 6-8-польного севооборота 1 т CaCO₃ обеспечивает прибавку урожая сельскохозяйственных культур около 6-8 ц/га зерновых единиц.

Из зерновых культур на кислых почвах особенно хорошо отзываются на известкование озимая пшеница и ячмень, а из зернобобовых – горох и кормовые бобы. Эти культуры при внесении извести дают более высокие прибавки зерна, чем озимая рожь и овес. Клевер также хорошо отзывается на внесение извести под покровную культуру.

По расчетам специалистов ФРГ, увеличение pH сильнокислых почв на единицу приводит ежегодно в среднем к повышению урожая сельскохозяйственных культур на 5-6 ц/га в пересчете на зерно.

Систематическое применение физиологически кислых азотных удобрений (например, аммиачной селитры) ухудшает агрохимические свойства почвы: снижает сумму поглощенных оснований и степень насыщенности основаниями, повышает обменную и гидролитическую кислотность, что значительно снижает урожай культур, например ячменя (табл. 7.8).

7.8. Влияние агрохимических свойств почвы на урожай ячменя (после 18 лет применения аммиачной селитры)

Урожай, ц/га	Сумма поглощенных оснований	Обменная кислотность	Гидролитическая кислотность	Степень насыщенности основаниями, %
	ммоль на 100 г почвы			
25-30	12-15	0,5	3,5	86-90
20-25	8-15	1	3-4	60-90
15-20	6-13	1,5-2,0	3-8	50-60
10-15	4-5	2,0	7-8	50
5-10	4-5	2,5	7-8	50
5	4-5	3,0	9-10	40-50
Коэффициент корреляции	+0,81	-0,89	-0,65	+0,85

На эффективность известкования в значительной мере влияют не только агрохимические свойства почвы, но и дозы, формы, способы, техника внесения и заделки извести в почву, тонина помола известковых материалов и другие факторы. Наибольший эффект получается при сочетании известкования, внесения минеральных удобрений и навоза. В этом случае урожай на сильнокислой и среднекислой почвах выравнивается (табл. 7.9).

7.9. Влияние сочетания извести, минеральных удобрений и навоза на урожай сельскохозяйственных культур (среднее за 6 лет), в кормовых единицах ц/га

Варианты	Почва сильнокислая		Почва среднекислая	
	урожай	прибавка	урожай	прибавка
Минеральные удобрения – фон	21,9	–	54,7	–
Фон + известь	52,2	30,3	59,9	5,2
Фон + навоз 80 т/га	50,8	28,9	62,3	7,6
Фон + известь + навоз	69,7	47,8	68,9	14,2

Известкование почв должно опережать применение минеральных удобрений, эффективность которых на фоне извести повышается. Эффективность известкования резко возрастает при длительном применении физиологически кислых минеральных удобрений. В этом случае суммарный эффект от известкования и применения удобрений часто бывает большим, чем прибавки урожаев от отдельного их применения, т.е. наблюдается положительное взаимодействие известкования и применения удобрений. Это особенно отмечается на культурах, хорошо отзывающихся на известкование почв.

Применение физиологически кислых форм минеральных удобрений приводит также к резкому обеднению пахотного горизонта кальцием и магнием. Таким образом, длительное внесение минеральных удобрений на кислых землях приводит не только к нерациональному их использованию, но и отрицательно влияет на плодородие почвы. Плодородие почв, ухудшенное длительным применением минеральных удобрений, последующим известкованием восстанавливается очень медленно и не полностью.

Система удобрения на кислых почвах высокоэффективна при правильном сочетании с известкованием. Известкование – непременный фон для наиболее полного использования питательных веществ удобрений. Известь, внесенная в почву совместно с органическими удобрениями (навоз, торфокомпосты), понижая кислотность, существенно изменяет условия их разложения. Микроорганизмы, активность которых при известковании возрастает, быстрее переводят в доступное для растений состояние содержащиеся в органических удобрениях питательные вещества. Чем кислее почва, тем выше эффективность сочетания известкования с органическими удобрениями.

Карбонатные формы известковых удобрений – известняковую и доломитовую муку, известковый туф, мел и др. – можно вносить вместе с навозом, торфом или компостом, а также смешивать или компостировать

с органическими удобрениями. Потеря азота из навоза при этом не происходит. На произвесткованных почвах повышается эффективность азотных удобрений вследствие более полного использования растениями находящегося в них азота. Азотные удобрения, содержащие аммиачные формы азота, для улучшения их физических свойств можно смешивать только с карбонатными формами известковых удобрений; не допускается смешивание с едкими формами извести (содержащими CaO или Ca(OH)_2) во избежание потерь азота.

Известкование изменяет соотношение кальция и калия в почве в сторону резкого преобладания кальция. Нарушение нормального соотношения между кальцием и калием отрицательно сказывается на развитии и урожае растений, особенно льна, картофеля, люпина, трав и кукурузы, поэтому дозы калийных удобрений на произвесткованных почвах следует увеличивать.

Известкование, понижая кислотность почвы, уменьшает растворимость фосфоритной муки и, следовательно, ее эффективность. Во избежание этого необходимо использовать приемы, исключающие непосредственный контакт этих удобрений в почве: внесение извести и фосфоритной муки на один и тот же участок в разные сроки под различные культуры (раньше фосфоритную муку, а в последующем известь); послойное внесение этих удобрений (фосфоритную муку под вспашку, а известь под культивацию); предварительное компостирование фосфоритной муки с навозом и торфом для перевода фосфора в доступные растениям формы. На полях, произвесткованных половинными дозами извести, применение фосфоритной муки достаточно эффективно. На почвах, в которых после известкования реакция изменилась до уровня, не превышающего $\text{pH } 5,1-5,2$ в солевой вытяжке, можно также применять фосфоритную муку.

Известкование не только повышает урожай культур, но и улучшает качество продукции – содержание в ней белков, сахаров, крахмала и т.д.

Известкование кислых почв является одним из эффективных способов снижения поступления радионуклидов из почвы в растения. По данным белорусских исследователей внесение извести в дозе, эквивалентной гидролитической кислотности, снижает содержание стронция-90 и цезия-137 в продукции растениеводства в 1,5-2 раза, а в отдельных случаях в три раза. Дозы известковых удобрений на этих почвах зависят от плотности загрязнения радионуклидами.

В республике Беларусь при первом уровне загрязнения ($1-5 \text{ Ки/км}^2$ цезия-137 и $0,15-0,3 \text{ Ки/км}^2$ стронция-90) дозы известковых удобрений увеличиваются только на торфяных почвах и дополнительно известкуются рыхлосупесчаные почвы с $\text{pH}_{\text{КС1}} 5,51-5,75$; связно-

супесчаные почвы с pH_{KCl} 5,51-6,00. При втором уровне загрязнения (5-40 Ки/км² цезия-137 и 0,30-3,0 Ки/км² стронция-90) дозы известковых удобрений устанавливаются из расчета доведения реакции почвенной среды до оптимального уровня за один приём (табл. 7.10, 7.11).

7.10. Средние дозы известковых удобрений (т/га CaCO₃) для известкования кислых дерново-подзолистых и торфяных почв при плотности загрязнения радионуклидами 5,0 - 40,0 Ки/км² цезием-137 или 0,30 - 3,0 стронцием-90

Группы почв	Содержание гумуса, %	pH_{KCl}							
		4,25 и ниже	4,26 - 4,50	4,51 - 4,75	4,76 - 5,00	5,01 - 5,25	5,26 - 5,50	5,51 - 5,75	5,76 - 6,00
Минеральные									
Песчаные	Менее 1,50	8,0	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	–	–
	1,51 – 3,0	8,5	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	–	–
	Более 3,0	9,0	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	–	–
Рыхло-супесчаные	Менее 1,50	10,0	9,0	8,5	7,0	5,5	5,0	3,0	–
	1,51 – 3,0	10,5	9,5	9,0	8,0	6,5	6,0	3,5	–
	Более 3,0	11,0	10,0	9,5	8,5	7,5	7,0	4,5	–
Связно-супесчаные	2,0 и менее	12,0	10,5	10,0	9,0	8,0	6,5	5,0	4,0
	Более 2,0	13,0	11,5	11,0	10,0	8,5	7,0	5,5	4,5
Легко- и среднесуглинистые	2,0 и менее	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	9,5	7,0	6,0
	Более 2,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	10,5	8,0	7,0
Торфяные									
Торфяные	–	13,0	10,0	7,5	5,0	–	–	–	–
		(19,0)*							

Примечание. (19,0)* - для почв с pH_{KCl} 4,0 и ниже.

ИЗВЕСТКОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Известковые удобрения делятся на: 1) твердые известковые породы, требующие размола или обжига; 2) мягкие известковые породы, не требующие размола; 3) отходы промышленности, богатые известью (рис. 7.4).

По содержанию CaO и MgO твердые породы делятся на следующие группы: известняки – 55-56% CaO и до 0,9% MgO; известняки доломитизированные – 42-55% CaO и до 9% MgO; доломиты – 32-30% CaO и 18-20% MgO. По содержанию глины, песка и других примесей твердые породы также делятся на чистые известковые

7.11. Средние дозы известковых удобрений (т/га CaCO₃)
для известкования кислых почв сенокосов и пастбищ

Группы почв	pH _{KCl}							
	4,25 и менее	4,26 - 4,50	4,51 - 4,75	4,76 - 5,00	5,01 - 5,25	5,26 - 5,50	5,51 - 5,75	5,76 - 6,00
<i>Не загрязненные радионуклидами почвы</i>								
Песчаные	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	–	–
Рыхлосупесчаные	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	–	–
Связносупесчаные	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	4,5	–	–
Легко- и средне- суглинистые	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,0	5,0	4,0
Тяжелосуглинистые	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,0	6,0	5,0
Торфяные	8,0 (12,0)*	6,5	5,0	3,0	–	–	–	–
<i>Плотность загрязнения цезием-137 – 1,0 – 4,9, стронцием-90 – 0,15 – 0,29 Ки/км²</i>								
Песчаные	6,0	5,0	5,0	4,5	4,0	3,5	–	–
Рыхлосупесчаные	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	–
Связносупесчаные	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	4,5	4,0	3,5
Суглинистые и глинистые	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,0	5,0	4,0
Торфяные	13,0 (19,0)*	10,0	7,5	5,0	–	–	–	–
<i>Плотность загрязнения цезием-137 – 5,0 – 40,0, стронцием-90 – 0,30 – 3,0 Ки/км²</i>								
Песчаные	9,0	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	–	–
Рыхлосупесчаные	11,0	10,0	9,5	8,5	7,5	7,0	4,5	–
Связносупесчаные	13,0	11,5	11,0	10,0	8,5	7,0	5,5	4,5
Суглинистые и глинистые	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	10,5	8,0	7,0
Торфяные	13,0 (19,0)*	10,0	7,5	5,0	–	–	–	–

* – Для почв с pH_{KCl} 4,0 и ниже.

породы – не более 5% примесей (известняк, доломит); мергелистые или песчаные известковые породы – 5-25%; мергель или песчаные известковые породы – от 25 до 50% глины или песка.

К мягким известковым породам относятся известковые туфы – 80-98% CaCO₃; гажа (озерная известь) – 80-95% CaCO₃ и др.

Из промышленных отходов сланцевая зола содержит 30-50% CaO, 1,5-4,0% MgO, а также другие элементы; дефекат – 60-75% CaCO₃, 10-15% органического вещества, а также N, P₂O₅, K₂O.

Основными известковыми удобрениями являются *известняки* – 75-100% оксидов Ca и Mg в пересчете на CaCO₃. Можно применять известковые материалы, содержащие до 25% примеси песка и

ИЗВЕСТКОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Твердые известковые породы, требующие размола или обжига	Мягкие известковые породы, не требующие размола	Отходы промышленности, богатые известью
<p>Известняки – 75–100% Ca и Mg в пересчете на CaCO_3 (55–56% CaO, 9% MgO)</p> <p>Долмитизированные известняки – 79–109% Ca и Mg в пересчете на CaCO_3 (42–55% CaO и до 9% MgO)</p> <p>Доломитовая мука – 100% CaCO_3 и MgCO_3, (30–32% CaO и 18–20% MgO)</p> <p>Мергель – 25–75% CaCO_3 и MgO (20–50% примеси песка и глины)</p>	<p>Известковые туфы – 80–90% CaCO_3, 0,1% P_2O_5 (до 25% примеси глины и песка)</p> <p>Жженая известь (CaO) – до 170% CaCO_3</p> <p>Гашеная известь (Ca(OH)_2) – до 135% CaCO_3</p> <p>Гажа (озерная известь) – 80–95% CaCO_3</p>	<p>Сланцевая зола – 30–50% CaO, 1,5–4% MgO</p> <p>Дефекационная грязь (дефекат) – до 40% CaO (60–75% CaCO_3), 10–15% органического вещества, N – 0,5%, P_2O_5 – 1–2%. Отходы свеклосахарных заводов</p>

Рис. 7.4. Классификация известковых удобрений

глины. Однако действие этого удобрения медленное, и, конечно, по возможности надо применять известняки хорошего качества. Это неперемное условие высокой эффективности известкования.

Долмитизированный известняк с содержанием 79 - 109% действующего вещества (д.в.) в пересчете на CaCO_3 можно рекомендовать в севооборотах с бобовыми, картофелем, льном, корнеплодами, а также на сильно оподзоленных почвах.

Мергель с содержанием CaCO_3 до 25-75% и глины с песком до 20-40% действует также медленно. Целесообразно применять на легких почвах.

Мел – 90-100% CaCO_3 , действует быстрее известняка, ценное известковое удобрение в тонкоразмолом виде.

Жженая известь (CaO) с содержанием CaCO_3 больше 170% – сильно- и быстродействующий известковый материал.

Гашеная известь (Ca(OH)_2) с содержанием CaCO_3 до 135% – сильное и быстродействующее известковое удобрение.

Доломитовая мука с содержанием CaCO_3 и MgCO_3 около 100% действует медленнее, чем известковые туфы. Ее важно применять там, где требуется магний.

Известковые туфы – 75-96% CaCO_3 , примеси до 25% глины и песка, также до 0,1% P_2O_5 , действуют быстрее известняка. Встречаются в пониженных местах в Нечерноземной зоне.

Озерная известь (гажа). По своему химическому и гранулометрическому составу близка к ключевой извести. При влажности 15-20% содержит 75-80% CaCO_3 , а также небольшие примеси

минеральных и органических веществ. Гажа ценное известковое удобрение, мелкозернистого сложения, при внесении легко рассыпается.

Дефекационная грязь (дефекат) – отходы свеклосахарных заводов. Состоит в основном из CaCO_3 и Ca(OH)_2 . Содержание извести на CaO до 40%. Кроме этого, в ней имеется азота 0,5%, P_2O_5 – 1-2%. Имеет значение не только на кислых почвах, но и на черноземах в районах свеклосеяния.

Кроме перечисленных материалов в практике известкования применяют следующие отходы промышленности.

Сланцевая зола циклонов – это сухой пылевидный материал с содержанием действующего вещества 60-70%. Применяется в Прибалтике и Белоруссии.

Пыль печей и цементных заводов с содержанием CaCO_3 свыше 60%. Обычно применяется в хозяйствах, прилегающих к цементным заводам. Эти известковые материалы вносят машинами с закрытыми ёмкостями и с пневмоустройствами.

Кроме этого, используются также **металлургические шлаки**, в основном в областях Урала и Сибири. Обычно они негигроскопичны, хорошо распыляются.

Потребность в известковых материалах обычно покрывается прежде всего за счет местных ресурсов – известьесодержащих отходов промышленности и местных залежей рыхлых карбонатных пород. В большинстве случаев это известковые туфы, озерная известь, рыхлый мел, доломитовая мука и др. Однако в целом по стране местные известковые материалы и известьесодержащие отходы промышленности не играют основной роли в балансе известковых материалов.

Основное известковое удобрение – **известняковая мука** – получается путем разлома твердых пород – известняков. Это высокоэффективное известковое удобрение, пригодное для всех сельскохозяйственных культур. **Доломитовую и магниезальную известняковую муку**, содержащую магний, в первую очередь необходимо применять на почвах легкого гранулометрического состава. **Цементная пыль** содержит значительное количество калия, имеет очень тонкий гранулометрический состав и является быстродействующим известковым удобрением. Её применение особенно эффективно на бедных подвижными соединениями калия почвах и под чувствительные к недостатку этого элемента культуры.

Иногда применяют известковые удобрения, не соответствующие требованиям стандарта и технических условий, равномерность внесения бывает ниже агротехнических требований. Все это приводит

не только к понижению эффективности известкования почв, но в некоторых случаях (при переизвестковании или неравномерном внесении извести) к отрицательным последствиям.

Дополнительными источниками, положительно влияющими на изменение кислотности почвы, могут быть также органические удобрения (содержание кальция в пересчете на CaCO_3 составляет 0,32 - 0,40%) и фосфоритная мука (нейтрализующая способность около 22% CaCO_3). Кроме того, кальций может поступать в почву с атмосферными осадками (около 15-25 кг/га), но его роль во влиянии на кислотность ничтожна и при пересчете баланса не учитывается. Содержащийся в суперфосфате кальций также существенно не влияет на pH почвы.

При составлении баланса кальция учитывается и вынос его растениями. Ориентировочный вынос кальция и магния с урожаем сельскохозяйственных культур представлен в табл. 7.12.

7.12. Вынос кальция и магния с урожаем сельскохозяйственных культур (кг на 10 ц продукции) в пересчете на CaCO_3

Культура	CaCO_3	MgCO_3	Сумма** карбонатов
Озимая рожь*	8,8	6,0	14,8
Озимая пшеница*	6,3	6,5	12,8
Яровая пшеница*	5,6	7,8	13,4
Ячмень яровой*	7,7	6,3	14,0
Овес*	9,7	7,2	16,9
Гречиха*	18,0	8,5	26,5
Горох*	31,5	10,0	41,5
Лен-долгунец*	17,1	16,4	33,5
Сахарная свекла (корни)	2,9	1,3	4,2
Картофель (клубни)	0,5	1,5	2,0
Кормовые корнеплоды	0,5	1,0	1,5
Кормовой люпин (зеленая масса)	2,9	1,5	4,4
Клевер красный (сено)	42,2	19,0	61,2
Люцерна	45,5	7,8	53,3
Многолетние травы (сено)	27,0	12,5	39,5
Однолетние травы (сено)	30,0	10,6	40,6
Капуста	1,3	0,8	2,1
Луговые бобово-злаковые травы (сено)	17,1	10,2	27,3
Луговые злаковые (сено)	7,2	5,0	12,2

* Зерно + солома.

** Из произвесткованных почв вынос кальция и магния выше на 10 - 20%.

Баланс кальция на основе лизиметрических опытов показывает, что на кислых почвах отмечается постоянный дефицит кальция – этого «стража» плодородия почвы, т.е. идет систематическое обеднение пахотного слоя почвы кальцием. Поэтому известкование следует рассматривать как важное средство охраны и повышения плодородия кислых почв.

6.2. ГИПСОВАНИЕ ПОЧВ

Гипсование почв – внесение в почву гипса для улучшения ее химических, физических и биологических свойств.

Солонцы и солонцеватые почвы занимают в РФ более 30 млн. га, из них около 11 млн. га, представляют пашню. Солонцы широко распространены в южных районах Поволжья, Западной и Восточной Сибири, Южного Урала и Северного Кавказа. Значительные площади эти почвы занимают в степных районах Казахстана. Эти почвы отличаются большой связностью, плохими физико-химическими свойствами. Во влажном состоянии они диспергируют благодаря высокому содержанию натрия, превращаясь в мажущую массу. При обработке таких почв образуются глыбы. В сухом же состоянии обработка таких почв совсем невозможна. Урожай в этом случае бывает низкий и плохого качества. Для улучшения этих почв нужно изменить их реакцию и состав катионов, что достигается гипсованием.

В зависимости от содержания поглощенного натрия почвы разделяются на:

- несолонцеватые – не больше 3 - 5% Na от ёмкости поглощения,
- слабосолонцеватые – 5 - 10,
- солонцеватые – 10 - 20,
- солонцы – больше 20.

Солонцы подразделяются на мелкие, или корковые, у которых солонцовый горизонт залегает на глубине не более 7 см, средние – с залеганием на глубине 7 - 15 см, и глубокостолбчатые – с залеганием солонцового горизонта на глубине более 15 см.

Помимо солонцов встречаются засоленные почвы. По степени засоления (количеству солей и глубине залегания соленосных горизонтов) их подразделяют на: 1) слабосолончаковатые (более 0,25% солей находится на глубине 80 - 150 см); 2) солончаковатые (более 0,25% солей находится на глубине 30 - 80 см); 3) солончаковые (соленосный горизонт на глубине 5 - 30 см); 4) солончаки (в верхнем слое почвы содержится не менее 1% солей). Количество солей в солончаках может быть от 1 до 10% и более.

По составу преобладающих солей солончаки разделяют на сульфатные (главным образом Na_2SO_4), содовые (главным образом Na_2CO_3 и NaHCO_3), хлоридные (NaCl и MgCl_2) и смешанные. Для улучшения солонцовых почв нужно устранить из них углекислые соли натрия, заменить кальцием, а образующийся Na_2SO_4 удалить промыванием. Одним из методов коренного улучшения солонцовых почв является их гипсование, т.е. химическая мелиорация. Этот метод научно обоснован и разработан отечественными учеными.

Установлено, что негативное влияние натрия на физические свойства почвы определяется его долевым содержанием в ППК. Существенное отрицательное действие натрия на свойства почвы и урожайность культур наблюдается лишь при содержании обменного Na в почве более 10% от ЕКО. Поэтому гипсование почв проводят в том случае, если доля обменного натрия в ППК выше 10%. Наряду с натрием в составе обменных катионов может содержаться много (15 - 35% и более) магния. Высокое содержание натрия вызывает пептизацию почвенных коллоидов и постепенное вымывание их из верхнего в нижний слой почвы, где они образуют плотный столбчатый горизонт.

Следует отметить, что некоторые хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные солонцы каштановых почв на глубине 35 - 45 см содержат слои гипса. Для окультуривания таких солонцов можно применить самогипсование путем проведения плантажной вспашки трехъярусным плугом на глубину 45 - 50 см, при которой гипсоносный слой перемешивается с верхним солонцовым горизонтом. При высоком содержании в подпахотном слое почвы карбоната кальция его также можно использовать для самомелиорации солонцов, хотя CaCO_3 действует значительно хуже, чем $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Образующийся при этом Na_2SO_4 (если он будет в избытке) удаляется орошением.

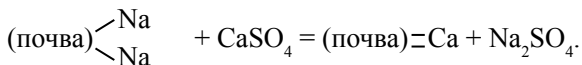
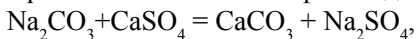
Иногда применяют метод планировки (перевозят незасоленную почву на солонцовые участки в течение 3 - 5 лет из расчета примерно 500 т/га). Но этот метод весьма трудоёмкий и не может получить большого распространения.

Наряду с гипсованием в систему агротехнических мероприятий по улучшению плодородия солонцов входит посев многолетних трав, внесение органических и минеральных удобрений, что существенно повышает его эффективность.

Слабосолонцеватые почвы хорошо улучшают повышенные дозы навоза, компостов и других органических удобрений, применяемые под глубокую вспашку.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИПСОВАНИЯ

При гипсовании почвы происходит следующая химическая реакция:



Na_2SO_4 – нейтральная соль и в небольших количествах не вредит растениям. Если натрия больше 20% от ёмкости поглощения, необходимо удаление Na_2SO_4 путем орошения. Вследствие этого устраняется щелочная реакция, улучшаются физико-химические и биологические свойства почвы, облегчается их обработка, улучшается аэрация. Это приводит к усилению микробиологической деятельности и улучшению плодородия почвы.

Средняя эффективность гипсования на черноземе 3-6 ц/га зерна, а в зоне каштановых почв – 2-3 ц/га. Орошение значительно увеличивает эффективность гипсования. Повышению эффективности гипсования способствуют глубокая вспашка, снегозадержание, применение местных и промышленных удобрений. При сочетании гипсования с внесением навоза прибавки урожая от гипса и навоза часто суммируются.

Лучшими формами удобрений на солонцовых почвах являются **сульфат аммония и простой суперфосфат**.

Изменения, вызванные гипсованием, сохраняются на протяжении многих лет.

ДОЗЫ, СРОКИ И СПОСОБЫ ВНЕСЕНИЯ ГИПСА

Дозу гипса (т/га) можно рассчитать по формуле:

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,086 (\text{Na} - 0,1 T) \cdot H_{\text{п}} \cdot d,$$

где Na – содержание Na, ммоль на 100 г почвы; T – ёмкость поглощения, ммоль на 100 г почвы; $H_{\text{п}}$ – глубина пахотного слоя, см; d – объёмный вес солонцового горизонта, г/см³.

Почвы сухостепной и полупустынной зон обычно имеют высокое содержание поглощенного кальция. С развитием солонцеватости количество поглощенного кальция уменьшается с одновременным увеличением поглощенного натрия и магния. Процесс же рас-солонцевания должен сопровождаться не только с замещением кальцием обменного натрия, но и определенной части магния. Коренное преобразование свойств солонцов возможно при следующих условиях: 1) замещение кальцием натрия, если он содержится в количестве свыше 10% от суммы катионов; 2) вытеснение той части поглощенного магния, которая превышает 30% от суммы катионов;

3) насыщение кальцием поглощающего комплекса до 70% от суммы катионов. В основу расчета потребности солонцовых почв в химических мелиорантах положена степень насыщенности почвенного поглощающего комплекса кальцием.

По степени насыщенности кальцием солонцы бывают не насыщенными кальцием, когда в поглощающем комплексе его содержится меньше 70%. Часто такие солонцы преобладают в полупустынной зоне. Солонцы, насыщенные кальцием, содержат его в поглощающем комплексе около 70% от суммы катионов. Доза гипса для мелиорации этих солонцов может быть определена по приведенной выше формуле.

Не насыщенные кальцием солонцы могут быть многонариевые (типичные) и малонатриевые, когда поглощенный натрий не превышает 10% от всех катионов. Норма гипса для многонариевых солонцов должна соответствовать сумме замещаемого поглощенного натрия (до уровня 10%) и той части магния, которая превышает 30% от суммы обменных катионов:

$$Г = 0,086 (Na - 0,1 T) + (Mg - 0,3 T) H \cdot d.$$

Для малонатриевых солонцов потребность в химических мелиорантах определяется по содержанию поглощенного магния:

$$Г = 0,086 (Mg - 0,3 T) H \cdot d.$$

Для солонцовых почв, содержащих соду, необходимо увеличить норму гипса для нейтрализации токсического действия соды на растения. Насыщение почвенного поглощающего комплекса кальцием в сухостепной и полупустынной зонах до 65-70% подавляет диспергирующую роль натрия и магния.

Важно отметить, что в условиях степного богарного (неполивного) земледелия гипсование солонцов эффективно лишь в зоне с годовым количеством осадков более 400 мм. В сухостепной зоне, где среднегодовое количество осадков менее 300-350 мм химическая мелиорация эффективна лишь при орошении.

Большие дозы гипса можно вносить постепенно в течение 2-3 лет. Лучшим местом в севообороте для внесения гипса являются чистые пары и пропашные культуры. Применяют его обычно под зяблевую вспашку. Гипс можно вносить под яровую пшеницу. На корковых солонцах гипс вносят после вспашки и заделывают культивацией. На средних и глубоких столбчатых солонцах при мощности перегнойного горизонта не менее 20 см гипс перед вспашкой заделывают плугом с предплужником. На солонцах с меньшей мощностью перегнойного горизонта гипс вносится в два приема: перед вспашкой и под культивацию после вспашки.

Ориентировочные нормы гипса, т/га:

	Для черноземов	Для каштановых почв
<i>Корковые солонцы</i>		
а) содовые	8 - 10	—
при незначительной щелочности гипса	3 - 4	—
б) хлоридно-сульфатные средне- и глубокостолбчатые солонцы	3 - 4	5 - 8
при наличии соды	5 - 10	3 - 5
<i>Солонцеватые почвы</i>	—	1 - 3

Солонцы и солонцеватые почвы встречаются обычно пятнами среди зональных почв. Если они занимают меньше 30% площади поля, то гипс вносят только на солонцовые пятна, если больше, то гипсование проводят на всей площади.

Лучшим местом в севообороте для внесения гипса являются чистые пары и пропашные культуры. Применяют его обычно под яблечную вспашку.

Гипсование позволяет наиболее эффективно улучшить водно-физические и химические свойства солонцов и значительно повысить их плодородие. Применение гипса снижает щелочность почвы, содержание обменного натрия в ППК и повышает степень насыщенности его кальцием.

Для гипсования в настоящее время применяют следующие удобрения:

Сыромолотый гипс – белый мягкий порошок, класс А содержит более 85%, класс Б – 70% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Получается путем размолы природного гипса. Остаток на сите с размером ячеек 0,25 мм не должен быть более 25%.

Фосфогипс – мелкий порошок белого или сероватого цвета, при повышенной влажности слеживается. Является отходом производства экстракционной фосфорной кислоты. Содержит около 90-92% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и 1,5-2,5% (15-25 кг/т) фосфора (P_2O_5). При применении фосфогипса, при расчете доз фосфорных удобрений, необходимо учитывать содержащийся в нем фосфор.

Глиногипс – природная смесь гипса и глины. Содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ различное, размолы не требует.

Для вытеснения натрия из ППК можно применять также **кальцийсодержащие отходы промышленности** (дефекат и др.), однако их использование ограничено.

Часть 3.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ

СИСТЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

ГЛАВА 8.

ПОНЯТИЯ О СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЙ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В СЕВООБОРОТЕ

Правильная система удобрения – это комплекс агрономических и организационных мероприятий по рациональному использованию удобрений в целях повышения плодородия почвы, урожая сельскохозяйственных культур, улучшения качества продукции и повышения производительности труда в хозяйстве. Научную систему удобрения можно разделить на три понятия.

1. Научно-организационная система использования удобрений в хозяйстве.

2. Система применения удобрений в севообороте как важнейшее звено научной системы земледелия.

3. Система удобрения отдельных культур севооборота, составленная из оптимальных доз, форм, сроков и способов внесения удобрений.

Все эти понятия систем применения удобрений – в хозяйстве, в севообороте и отдельных культур – тесно взаимосвязаны и требуют специального рассмотрения.

Система удобрения в хозяйстве – это комплекс агрономических и организационно-экономических мероприятий по рациональному использованию минеральных и органических удобрений, а также химических мелиорантов (известки, гипса и др.) в целях оптимизации плодородия почвы, повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, улучшения качества растениеводческой продукции, а в конечном счете – повышения производительности труда в сель-

ском хозяйстве. Она является важнейшим условием интенсификации сельскохозяйственного производства. В этот комплекс мероприятий входят: 1) наличие складов для правильного хранения минеральных удобрений с механизированной погрузкой, разгрузкой и тукосмешением; 2) накопление и правильное хранение органических удобрений; 3) организация транспортных средств для перевозки удобрений; 4) наличие комплекса машин по внесению минеральных и органических удобрений; 5) известкование кислых и гипсование солонцовых почв; 6) наличие научно обоснованной системы применения удобрений в севооборотах.

Основными задачами системы удобрения в хозяйстве являются: получение высоких и устойчивых урожаев с хорошим качеством продукции, повышение плодородия почв, реализация экологических функций удобрений в агроценозе, экономической эффективности удобрений, производительности труда, снижение себестоимости продукции растениеводства, обеспечение максимальной прибыли в хозяйстве.

Поскольку удобрения являются интенсивным фактором научного земледелия, то их применение тесно связано не только с комплексом агрономических мероприятий, но и организационно-экономических, планово-финансовых вопросов, знаниями которых должен владеть агрохимик. Система удобрения – это плановая организация целого комплекса мероприятий, связанных с применением минеральных и органических удобрений. Этот комплекс можно разделить на две части. Первая часть – это разработка и выполнение организационно-хозяйственных и экономических мероприятий, связанных с производством, заготовкой, закупкой, перевозкой и хранением удобрений. Сюда входит выявление всех ресурсов по производству местных удобрений, их заготовке, правильному хранению, планирование мелиоративных мероприятий для известкования кислых и гипсования солонцовых почв, определение потребности в промышленных минеральных удобрениях, организация их завоза, правильное их хранение и внесение в почву. Важно предусмотреть организацию тукосмешения и внесения удобрения в заданном соотношении питательных элементов с учетом плодородия почвы, требований культуры и условий агротехники. При планировании этих работ максимально учитывается комплексная механизация всех технологических процессов по применению как органических, так и минеральных удобрений. Важный первый этап разработки системы применения удобрений в хозяйстве – это вскрытие местных удобрительных ресурсов, химических мелиорантов, разработка техно-

логий их рационального использования, обеспечение материально-технической базы технологий по рациональному использованию агрохимических средств. Система применения удобрений в хозяйстве непременно должна базироваться на принятых научно обоснованных специализированных севооборотах и на положительном, или бездефицитном, балансе питательных веществ и гумуса в системе почва - растение.

Вторая часть комплекса – это рациональное размещение удобрений по севооборотам с учетом специализации (свекловичный, картофельный, льняной, овощной и т.д.), местных почвенно-климатических условий, экономики хозяйства, наличия удобрительных ресурсов и т.д.

Под *системой удобрений в севообороте* понимается распределение органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов и других удобрительных средств по полям севооборота с учётом обеспечения максимального агрономического и экономического эффекта при непрерывном росте плодородия почв и улучшении их агрохимических, агрофизических и биологических свойств. Система удобрения в севообороте является частью общей системы удобрения в хозяйстве. В ее основе должно быть наличие освоенных научно обоснованных севооборотов в хозяйстве. При этом важно учитывать специализацию севооборота. Эффективность удобрений в севообороте при правильном чередовании культур – более высокая, чем при монокультуре или нарушении севооборота.

Севооборот – *важнейшее условие высокой эффективности применяемой системы удобрений.* Без научно обоснованной системы удобрения в севообороте нельзя говорить о правильной системе удобрения в хозяйстве.

Система удобрения отдельных культур при их чередовании в севообороте – это план применения органических и минеральных удобрений, в котором предусматриваются дозы, формы, сроки и способы их внесения с учетом следующих условий: планируемого урожая, биологических особенностей питания культуры, чередования культур в севообороте и особенностей их агротехники, почвенно-климатических условий (агрохимической характеристики почв, их естественного плодородия и состояния погоды конкретного года), свойств удобрений, сочетания органических и минеральных удобрений, экономических условий в хозяйстве. Этот план будет реальным при наличии в хозяйстве необходимого количества и ассортимента минеральных и органических удобрений и химических мелиорантов.

При разработке системы удобрения в севообороте необходимо учитывать систему почвозащитной обработки почвы, особенности предшественников, характер пожнивных и корневых остатков, их влияние на агрохимические, водно-физические свойства, микробиологическую активность и другие условия. При этом нельзя не учитывать отзывчивость отдельных культур на некоторых почвах на кальций, магний, серу, микроэлементы. Например, на песчаных почвах часто проявляется потребность культур в калийных и магниевых удобрениях, на нейтральных, а также карбонатных почвах часто эффективны марганцевые удобрения, на торфяно-болотных почвах получить хороший урожай зерновых культур без внесения медных удобрений обычно не удастся. На дерново-подзолистых, особенно известкованных почвах проявляется повышенная потребность культур в азотных удобрениях. Поэтому система удобрений в севообороте отражает научно обоснованную оптимизированную систему удобрения каждой культуры данного севооборота.

Оптимизация системы удобрения отдельных культур в целях реализации потенциальной их продуктивности проводится одним из рассмотренных нами методов. Системы удобрения в севообороте и отдельных культур находятся в тесной неразрывной связи. Если на основе оптимизации питания растений макро- и микроэлементами разработана система удобрений, позволяющая реализовать потенциальную продуктивность культуры севооборота, то и от севооборота в целом будет получена максимальная продуктивность. Однако между системой удобрения отдельной культуры и севооборотом нельзя ставить знак равенства, так как культуры севооборота существенно различаются: по отзывчивости на отдельные макро- и микроэлементы и их соотношения в зависимости от характера корневой системы и биологических требований к формам азотных и фосфорных удобрений, способам заделки удобрений, к органическим удобрениям, известкованию, кислотности почвы и др.

Система удобрений в севообороте – это не простое суммирование удобрений отдельных культур, а сложное взаимодействие биологических, физиолого-биохимических факторов растений с физическими, физико-химическими и биологическими факторами самой почвы и воздействиями человека на условия роста и развития растений. В целом же можно отметить общие основные положения научной системы применения удобрений.

1. Наибольшая эффективность удобрений проявляется на фоне высокой культуры земледелия с применением всего комплекса агро-

технических мероприятий и постоянной заботой о повышении плодородия почв. Роль агротехники особенно возрастает при применении высоких доз удобрений, поэтому без высокой культуры земледелия нельзя получить должного эффекта от применяемой системы удобрения. Высокими дозами удобрений нельзя компенсировать нарушения других звеньев научного земледелия.

2. Все культурные растения в процессе вегетации должны получать оптимальное количество и соотношение питательных элементов, что достигается внесением удобрений и мобилизацией питательных элементов почвы. Это объясняется тем, что молодые растения имеют слаборазвитую корневую систему и весьма чувствительны к недостатку питательных веществ, особенно фосфору, что в дальнейшем отрицательно сказывается на росте, развитии растений и формировании урожая.

В молодом возрасте они чувствительны и к повышенной концентрации солей, что важно учитывать при применении удобрений. Во второй период вегетации с развитием корневой системы и вегетативной массы повышенная потребность растений в питательных веществах удовлетворяется за счет как минеральных удобрений, так и мобилизации плодородия почвы.

3. Важным условием правильного применения удобрений является послойное размещение их в почве в зоне наибольшего развития корневой системы. Это объясняется тем, что в разные периоды жизни растения потребляют неодинаковое количество питательных веществ и нуждаются в разной концентрации почвенного раствора. Кроме того, фосфор суперфосфата, например, внесенный в почву, обычно слабо продвигается по профилю почвы и закрепляется в местах его внесения. Возникает необходимость вносить удобрения в разные сроки и слои почвы: под вспашку (основное внесение), при посеве (припосевное) и во время вегетации (подкормки). (Приемы внесения удобрений будут рассмотрены позднее.) Все эти приемы внесения удобрений имеют большое значение при разработке системы удобрения той или иной культуры с учетом получения запланированного урожая и качества продукции. Сочетание этих приемов позволяет создать условия питания сельскохозяйственных культур в соответствии с их биологическими требованиями.

4. Поскольку в каждом хозяйстве имеется несколько севооборотов, важно правильно распределить удобрения с учетом их специализации. В первую очередь удобрениями обеспечиваются овощные сево-

обороты, которые требуют повышенного количества питательных веществ для формирования высокого урожая. Эти культуры хорошо окупают внесенные удобрения. Резко возрастает потребность в удобрениях полевых севооборотов, насыщенных пропашными, особенно техническими культурами (сахарная свекла, хлопчатник, конопля, лен и др.). В высоких дозах удобрений нуждаются кормовые севообороты, насыщенные кукурузой, кормовыми корнеплодами и т.д. Не последнюю роль при распределении удобрений по различным севооборотам играет удельный вес экономически выгодной культуры. Такие высокоценные культуры хорошо оплачивают единицу внесенного удобрения.

5. Органические и минеральные удобрения при длительном их применении примерно одинаково эффективны, за исключением отдельных условий (легкие почвы, культуры, чувствительные к повышенной концентрации солей, негативное влияние балластных элементов в минеральных удобрениях, физиологическая их кислотность и т.д.). При равных же прочих условиях по суммарному количеству биогенных элементов органические и минеральные удобрения равноценны.

Учитывая это обстоятельство, а также экономические показатели, органические удобрения лучше вносить в севообороты, насыщенные высокопродуктивными кормовыми культурами, а минеральные удобрения – в полевые севообороты, особенно насыщенные зерновыми культурами и размещенные на массивах, более удаленных от животноводческих ферм. Важно учитывать также удобренность полей в предшествующие годы, особенно возможное систематическое внесение различных видов органических удобрений, что может существенно изменить баланс гумуса в почве.

6. Систематическое внесение фосфорных удобрений приводит к накоплению подвижных фосфатов в почве и резкому повышению эффективности азотных удобрений. При недостатке азота, вследствие нарушения соотношения питательных элементов, последствие фосфорных удобрений заметно падает.

7. Научная система удобрений в севообороте предусматривает постоянный контроль за воспроизводством плодородия почвы, за балансом питательных веществ и гумуса почвы, добываясь оптимального их содержания с учетом требований культуры и реализации их потенциальной продуктивности.

НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЗОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В СЕВОБОРОТАХ

ЗОНА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ И СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Важным принципом правильного построения системы применения удобрений во всех зонах страны является производственная специализация хозяйства, определяющая типы севооборотов и состав культур. Максимальный урожай всех культур удобрения обеспечивают при наличии научно обоснованного севооборота. Использование удобрений в севооборотах имеет свои особенности, поскольку здесь наряду с прямым действием удобрений проявляется и их последствие. При рациональном использовании удобрений в системе севооборотов обеспечивается неуклонный рост урожаев и плодородия почвы.

Почвы Нечернозёмной зоны в основном характеризуются низким уровнем естественного плодородия: кислая реакция среды, низкий процент содержания гумуса, слабая обеспеченность основными элементами питания. На таких почвах основными элементами системы удобрения являются известкование кислых почв, максимальное накопление и использование органических удобрений, применение достаточно высоких доз минеральных удобрений.

Необходимость известкования, количество минеральных и органических удобрений, распределение их между отдельными культурами и ряд других вопросов системы удобрения решаются с учетом следующих важных факторов: 1) почвенные условия – тип и разновидность почвы, ее гранулометрический состав, кислотность, содержание в почве подвижных питательных элементов; 2) тип севооборота – полевой, кормовой, лугопастбищный, овощной; 3) наличие органических удобрений, возможность заготовки различных видов компостов; 4) необходимый ассортимент минеральных удобрений; 5) наличие известковых удобрений, уровень агротехники; 6) наличие высокопродуктивных сортов; 7) уровни планируемых урожаев.

Системы удобрений должны предусматривать последовательный рост урожаев сельскохозяйственных культур, повышение качества растительной продукции от одной ротации севооборота к другой. Обязательным условием эффективной системы удобрения в Нечернозёмной зоне является известкование кислых почв. Разработку системы удобрения в севообороте в этой зоне следует начинать с определения места известкования и дозы известковых удобрений. Желательно, чтобы известкование кислых почв предшествовало применению на них удобрений. Органические и минеральные удобре-

ния оказывают максимальное положительное действие на растения прежде всего в условиях нейтральной и слабокислой среды почвы. Сочетание органических и минеральных удобрений – важный принцип эффективной системы удобрений в севообороте.

Эффективность органических удобрений в севообороте возрастает при применении их под пропашные культуры (картофель, корнеплоды, кукурузу на силос и др.); под покровную культуру с посевом трав в севооборотах с многолетними бобово-злаковыми травами (таким образом, последствие органических удобрений, внесенных под пропашные и покровные культуры, будет сказываться и на последующих культурах севооборота); в сочетании с минеральными удобрениями на бедных гумусом почвах легкого гранулометрического состава.

В севооборотах для животноводческих комплексов промышленного типа, в которых накапливается большое количество бесподстилочного навоза, это удобрение вносится как в основном приеме, так и при подкормке многолетних трав (но не менее чем за 20-24 дня до скашивания или скармливания). Минеральные удобрения вносятся в оптимальных дозах прежде всего под технические культуры – сахарную свёклу, лен и др., которые наиболее эффективно используют удобрения, а также под картофель, зерновые культуры, культурные луга и пастбища. Целесообразно повышение доз минеральных удобрений прежде всего на почвах с отрегулированным водным режимом, известкованных или не требующих известкования, а также на почвах, очищенных от камней, кустарников, сорняков и т.д.

Система удобрения отдельных культур в севообороте в Нечернозёмной зоне складывается из основного внесения, припосевного и подкормок. В *основное удобрение* под зябь в первую очередь вносят органические удобрения, известковые, фосфорные и калийные туки. При возделывании яровых зерновых и пропашных культур азотные удобрения лучше вносить весной под культиватор, а под озимые – в подкормку. При повышенных дозах азотных удобрений (90-120 кг/га и более) на суглинистых почвах примерно 1/3 нормы необходимо внести под зябь. Удобрение, внесенное весной до посева под вспашку или культиватор, следует также считать основным.

Особую осторожность следует соблюдать при определении доз азотных удобрений для озимых и яровых культур, под покров которых подсеваются бобовые травы. Мощный хлебостой и высокие урожаи зерна покровной культуры резко ухудшают условия водного и пищевого режима трав, а также солнечной инсоляции, что ослабляет их рост, приводит к изреживанию, а в конечном счете к резкому снижению урожая. В Нечерноземной зоне нецелесообразно внесе-

ние высоких доз азота (свыше 90 кг/га) в один срок или приём. Дробное внесение таких доз позволяет повысить коэффициент использования азотных удобрений, их эффективность, улучшить качество сельскохозяйственной продукции.

На песчаных и супесчаных почвах азотные удобрения под яровые колосовые и пропашные культуры вносятся только весной. Под озимые культуры на всех почвенных разностях примерно 1/3 нормы азотных удобрений (30-40 кг/га) целесообразно вносить до посева этих культур. Если же озимые в севообороте размещаются после зернобобовых культур и бобовых трав, внесение азота до посева часто не даёт должного эффекта.

При наличии в хозяйстве достаточного количества фосфорно-калийных туков целесообразно в системе удобрения предусмотреть внесение их под многолетние травы, «в запас», т.е. на 3-4 года, так как фосфор и калий слабо передвигаются в почве и при поверхностном внесении в подкормку менее эффективны. Особенно целесообразно внесение «в запас» такого малорастворимого удобрения, как фосфоритная мука.

Припосевное удобрение предусматривает внесение в рядки при посеве яровых и озимых культур гранулированного суперфосфата, аммофоса, нитрофосок и других сложных удобрений. На хорошо заправленных удобрениями почвах эффективность этого приема несколько снижается, однако применение его целесообразно, так как удобрения, внесенные при посеве, способствуют получению хороших всходов, усилению кущения и хорошей перезимовке озимых.

Подкормка главным образом азотными удобрениями предусматривается в первую очередь для озимых культур, которые после перезимовки выходят обычно ослабленными и нуждаются прежде всего в азоте. Подкормка фосфорно-калийными удобрениями осуществляется в том случае, когда та или иная культура получила недостаточное количество этих удобрений при основном внесении. Подкормка азотом многолетних трав с преобладанием бобовых нецелесообразна. По мере снижения удельного веса бобового компонента в травосмеси (менее 50%) (что обычно наблюдается во второй год пользования травами) предусматривается весенняя подкормка азотом N₄₀₋₆₀.

В севооборотах со льном под эту культуру вносится полное минеральное удобрение, но с дозой азота, значительно меньшей по сравнению с фосфором и калием. Преобладание азота ведет к полеганию льна и ухудшению качества льноволокна. Особенно это важно учитывать при размещении льна после высокоурожайных

многолетних трав с преобладанием клевера. В этом случае доза азота не должна превышать 30 кг/га. По другим предшественникам, в том числе и по обороту пласта, дозу азота повышают до 40-60 кг/га. На окультуренных почвах, где существует опасность полегания льна, посеvy льна по пласту клевера с урожайностью сена 50 ц/га и более не обеспечат получения урожая с хорошим качеством волокна. В этом случае лен размещается по обороту пласта или по другим предшественникам.

В севооборотах на песчаных и супесчаных почвах большое место занимают посеvy бобовых культур, особенно люпина на корм и зерно, зеленое удобрение, а также сераделлы. Эти растения обладают хорошей азотфиксирующей способностью и больше нуждаются в фосфорно-калийном удобрении. В повышении эффективности макроудобрений, особенно при применении повышенных доз, большое значение имеют микроэлементы, существенно увеличивающие урожай и улучшающие качество продукции.

Система удобрения сельскохозяйственных культур, возделываемых на торфяно-болотных почвах, обладающих высокой продуктивностью, основана на возможности использования больших запасов почвенного азота и ежегодном внесении фосфорных и калийных удобрений. Азотные удобрения применяют в основном для подкормки озимых зерновых и многолетних злаковых трав, особенно на менее мощных слабоокультуренных торфяно-болотных почвах.

Эффективность удобрений в Нечерноземной зоне в значительной мере определяется повышением общей культуры земледелия, применением мелиоративных мероприятий, внедрением высокопродуктивных сортов, всего комплекса приемов агротехники.

ЗОНА ЧЕРНОЗЁМНЫХ И КАШТАНОВЫХ ПОЧВ

Эта зона занимает обширную территорию России (ЦЧО, Северный Кавказ, Поволжье и др.), Украины и Казахстана (Северный, Южный и Юго-Восточный Казахстан). При рассмотрении научных принципов систем удобрения эту зону следует разделить на две части: лесостепную и степную. Эти подзоны существенно различаются по почвенно-климатическим условиям, специализации растениеводства, обеспечению их минеральными удобрениями и т.д.

Лесостепные районы. Вследствие дефицита минеральных удобрений в этих районах они вносятся в основном под технические культуры, картофель, кормовые и частично под зерновые культуры. Баланс питательных веществ в земледелии здесь характеризуется высоким дефицитом, что приводит к снижению потенциального

плодородия почв, к потерям органического вещества, ухудшению их водно-физических свойств.

Удовлетворение оптимальной потребности земледелия этих районов в минеральных удобрениях возможно при обеспечении ими порядка 150-200 кг/га д.в. При распределении удобрений в севообороте оптимальные по возможности дозы вносят под сахарную свеклу, подсолнечник, картофель, кукурузу на зерно и силос, озимые хлеба, а также кормовые культуры при орошении. Яровые зерновые, зернобобовые и крупяные культуры обычно возделываются по удобренным предшественникам, используя последствие удобрений. Непосредственно под эти культуры вносится припосевное фосфорное удобрение (P₁₀₋₁₅).

В год внесения растения используют из минеральных туков примерно 20-25% фосфора, 50-60% азота и калия; из навоза – 20-30% азота, 30-40% – фосфора, 60-70% калия.

Важно правильно выбрать место внесения навоза в севообороте. С учетом последствия навоза, которое здесь сильнее, чем в Нечерноземной зоне, в 9-11-польных севооборотах его вносят дважды за ротацию, а в 6-7-польных – достаточно внести один раз. Более дробное внесение навоза за ротацию не имеет преимуществ. Лучшим местом внесения навоза в севообороте является предшественник озимых, непосредственно под озимые, если культура рано убирается (вико-овсяная смесь на сено, кукуруза на зеленый корм и др.). Хорошие результаты дает навоз при внесении под картофель, овощные культуры, кукурузу на зерно и силос.

В полевых севооборотах лесостепи навоз вносится в дозах: под озимую пшеницу и рожь – 20-30 т/га; под кукурузу, сахарную свеклу и картофель – 30-40 т/га. В районах достаточного увлажнения кроме навоза необходимо широко применять также различные торфяные и другие компосты.

В почвозащитных севооборотах на склонах многолетние травы выращивают не менее 3-4 лет, в связи с этим для обеспечения высоких урожаев трав за 1-2 года до их посева под озимую пшеницу или кукурузу рекомендуется вносить повышенные дозы навоза – по 40-60 т/га. Такие дозы навоза повышают плодородие и свойства эродированных почв.

В лесостепных районах Черноземья возрастает роль основного удобрения. В этот прием вносится не менее 2/3 годовой дозы удобрения, причем под зяблевую вспашку в непересыхающие слои почвы. В районах достаточного и избыточного увлажнения азотные удобрения под вспашку зяби вносить не рекомендуется, а лучше применять их весной под припосевную культивацию и в подкормку.

В районах, граничащих с Полесьем, на почвах легкого гранулометрического состава, а также в местах с близким залеганием грунтовых вод применять под зябь все селитры (натриевую, кальциевую, аммиачную) не следует, потому что азот этих удобрений за зимний период будет вымыт в нижние слои и не будет использован растениями. В этой подзоне под пахоту целесообразно вносить азот в аммиачной форме.

Фосфорно-калийные удобрения во всех районах лесостепи лучше вносить под вспашку. Такие фосфорные удобрения, как фосфоритная мука и фосфатшлак, вносят только под вспашку, и в первую очередь на кислых почвах (серые лесные, оподзоленные и выщелоченные черноземы). Культуры севооборота, не получившие основного удобрения, нужно обязательно сеять с припосевным внесением суперфосфата или сложного удобрения (аммофос, нитрофоска, нитроаммофоска).

Подкормки сельскохозяйственных культур проводят только азотными удобрениями в рекомендуемых дозах и в оптимальные для каждой культуры сроки. Особенно эффективна азотная подкормка озимых хлебов, идущих в севообороте по занятым парам и непаровым предшественникам.

В лесостепи имеется большой набор почвенных разностей: от серых лесных почв и оподзоленных черноземов на севере до типичных карбонатных почв на юге. В северной части большее увлажнение, меньше накапливается нитратов. К тому же их несколько больше вымывается в зимнее время, поэтому на этих почвах в системе удобрения преобладает азот, который здесь обычно в первом минимуме.

Карбонатные и типичные черноземы этой зоны имеют сравнительно хорошие водно-физические свойства и обладают повышенной нитрификационной способностью. Образовавшиеся в летнее время нитраты обычно не вымываются из корнеобитаемого слоя почвы. Карбонатность почв делает запасы фосфора менее подвижными, поэтому здесь наиболее эффективны фосфорные удобрения. Калием эти почвы достаточно обеспечены, однако калийные удобрения в северной лесостепи довольно эффективны.

На карбонатных черноземах в связи с их слабощелочной реакцией более эффективны физиологически кислые удобрения. В системе удобрения сельскохозяйственных культур для оподзоленных почв и сильно выщелоченных черноземов один раз за ротацию севооборота следует предусматривать проведение известкования. Лучшим местом внесения известковых материалов в севообороте является поле, где размещаются сахарная свекла, озимые по пару или зернобобовые

культуры. В качестве известкового материала прежде всего нужно использовать дефекационную грязь – отходы свекло-сахарного производства.

Обстоятельные исследования эколого-агрохимической и экономической эффективности различных известковых удобрений на выщелоченном и типичном черноземе в Центрально-Черноземной зоне показали существенное положительное действие их на физико-химические свойства, нейтрализацию кислотности, улучшение азотного и фосфорного режимов почвы (Шишкин, 2002).

На солонцеватых почвах, для улучшения их физических свойств, один раз в 8-10 лет важно внести сыромолотый гипс под сахарную свеклу или озимую пшеницу, предшествующую ей или гороху.

Как и в Нечерноземной зоне, в лесостепных районах довольно часто проявляется сильное действие микроудобрений (на сахарной свекле – бор, на бобовых и зернобобовых культурах – молибден и т.д.).

Степные районы также имеют большой набор почвенных разностей – от типичных и обыкновенных черноземов на севере до южных и приазовских черноземов на юге. В этих районах имеется много карбонатных почв. В восточных районах, где степь переходит в сухую степь, распространены каштановые почвы. *Степные районы в РФ расположены на юге ЦЧО, на севере Северного Кавказа и в Поволжье, в Казахстане – Северный, Южный и Юго-Восточный регионы.* В этой зоне большой дефицит минеральных удобрений, поэтому здесь особенно важно использовать наиболее эффективные приемы их применения.

В системе удобрения севооборотов должно преобладать основное удобрение, вносимое с осени под вспашку. Этот прием исключает возможность смыва и сноса ветром удобрений и газообразные потери азота. Удобрения при этом располагаются в более влажных слоях почвы и более доступны растениям. Однократное внесение удобрений с осени дает часто более высокую прибавку урожая сельскохозяйственных культур, чем применение такой же дозы в несколько приёмов.

В степных районах влагообеспеченность растений является фактором, лимитирующим урожай и эффективность удобрений, поэтому все мероприятия, направленные на накопление и сохранение влаги в почве (орошение, содержание почвы под чистым паром, оптимальная обработка почвы), будут способствовать повышению эффективности удобрений. В свою очередь удобрения позволяют более экономно расходовать влагу на создание урожая. Расход воды на создание единицы сухого вещества на правильно удобренном фоне снижается на 15-20%.

В степных районах обычно в минимуме находится фосфор. Фосфорное голодание растений – важный фактор, лимитирующий урожай сельскохозяйственных культур. Улучшение обеспеченности почвы фосфором достигается в основном внесением фосфорных удобрений. Максимальный урожай достигается при внесении всех трёх элементов со значительным преобладанием фосфора.

Основным приемом использования удобрений, существенно повышающим урожай, здесь является внесение их с осени под зяблевую вспашку. В этот прием желательно внести до 85 - 90% годовой нормы удобрений под данную культуру. Остальная часть удобрений, в основном фосфор, вносится в рядки при посеве культур. Подкормки здесь малоэффективны, за исключением подкормки озимых азотом, которая дает хорошие результаты.

При разработке системы удобрения в севообороте на богарных землях важно определить место внесения основного удобрения. При этом необходимо учитывать два обстоятельства: 1) внесение удобрений небольшими дозами под большинство культур севооборота не всегда является рациональным, это особенно важно учитывать в связи с большим дефицитом удобрений в этой зоне; 2) высокое последствие, особенно фосфорных и калийных удобрений, прибавки урожая от последствия в этих районах иногда превосходят эффект от их прямого действия, поэтому оценивать основное удобрение необходимо с учетом последствия. В этом случае окупаемость удобрений резко возрастает.

В связи с этим в степных районах севооборота с непродолжительной ротацией (5-6-польные) заправочное удобрение может вноситься один или два раза. В 9-11-польных паропропашных и зернопропашных севооборотах основное удобрение рекомендуется вносить 3-4 раза за ротацию.

В качестве основного заправочного удобрения прежде всего надо использовать навоз, который лучше внести в черном пару и под кукурузу. Вносят навоз с осени под зяблевую вспашку или при подъеме пара. Минеральные удобрения в основном приеме в 10-12-польном севообороте вносят в чистом и занятом пару под озимые культуры, под кукурузу и под одну яровую пшеницу. Все остальные культуры севооборота используют последствие основного удобрения и получают в рядки при посеве гранулированный суперфосфат или сложное удобрение.

В условиях **Северного Казахстана**, при высоком содержании калия в почве, система применения удобрений сводится к разработке приёмов и методов оптимизации фосфорного и азотного питания культур.

Высокий дефицит фосфора в почве обуславливает высокую эффективность фосфорных удобрений под все сельскохозяйственные культуры. Так, внесенный под зерновые культуры $R_{сд}$, в зависимости от доз и дефицита обеспечивал прибавку урожая от 2,5 - 5 до 8 - 9 ц/га.

На чернозёмах лесостепной и степной зонах с осадками 350 - 370 мм припосевное внесение равноценно основному (в равновеликих дозах) или превосходит его. Но в сухостепной зоне на темно-каштановых почвах основное внесение фосфорных удобрений в пару в 1,5 - 2 раза превосходит по эффективности ежегодное припосевное. В сухостепной зоне устойчивую прибавку припосевное внесение обеспечивает лишь на 1 первой культуре после пара, где достаточно азота и лучше условия увлажнения.

В паровых полях, при наличии влаги и под влиянием обработок, как правило, накапливается значительное количество минерального азота в виде нитратов ($N-NO_3$). Содержание же подвижных форм фосфора изменяется незначительно. Этим и объясняется высокая эффективность фосфорных удобрений по пару. Пар является лучшим местом в севообороте для внесения фосфорных удобрений.

Наибольший эффект они дают при внесении во влажный слой почвы, на глубину на 16 - 20 см, но не менее 12 см, в зону устойчивого увлажнения. При отсутствии спецмашин удобрения могут вноситься зернутоковыми сеялками по предварительно обработанному на 14 - 16 см пару. Поверхностное внесение фосфорных снижает их эффективность в 2 - 3 раза.

В плодосменных беспаровых севооборотах фосфорные удобрения необходимо вносить под ведущую культуру севооборота. В севооборотах с многолетними травами – под распашку многолетних трав. Это единственный случай при котором удобрения можно вносить поверхностно.

Учитывая длительное последствие фосфорных удобрений, их необходимо вносить в паровом поле в зону устойчивого увлажнения - на глубину 12 - 20 см один раз в 4 - 5 лет – на всю ротацию севооборота.

При локальном внесении оптимальных доз фосфорных удобрений окупаемость 1 кг д.в. удобрений за ротацию 4 - 5 полного севооборота составляет 10 - 15 кг зерна, в благоприятные годы она может достигать 20 и более кг.

Многолетние исследованиями азотного режима почв и эффективности азотных удобрений в условиях Северного Казахстана (Черненко В.Г., 1993, 1997) показали, что *основными факторами определяющими эффективность азотных удобрений являются: содержание в почве азота нитратов, подвижного фосфора, их соотношения и условия*

увлажнения. Между ними установлена количественная взаимосвязь. Азотные удобрения могут повышать урожайность в течение 2 лет – год действия и 1 год последствия.

Преобладающей минеральной формой азота в почвах Северного Казахстана является азот нитратов. Наиболее благоприятные условия для процесса нитрификации складываются в паровом поле, где содержание нитратов по отношению к исходному может увеличиваться в 2-3 раза и обеспечивать высокий уровень азотного питания первой культуры после пара. Но как показали исследования, в случае экстремально засушливых условий в период парования поля, когда за сельскохозяйственный год выпадает менее 200 мм осадков, процесс нитрификации в почве подавляется. После таких лет азотный режим почвы может складываться неудовлетворительно уже на первой культуре после пара. По мере удаления культур от пара содержание азота нитратов в почве снижается в 2-3 раза, а иногда и в 3-4 раза. И это является общей закономерностью для почв региона.

Фосфорные удобрения эффективны там, где выше уровень азотного питания, т.е. на первой культуре после пара, а азотные – на культурах, более удаленных от пара. Эта закономерность и лежит в основе эффективности удобрений на почвах Северного Казахстана.

На южном карбонатном черноземе по данным Казахского научно-исследовательского института зернового хозяйства (КазНИИЗХ) по второй культуре после пара существенное увеличение урожайности зерновых культур от азотных удобрений отмечено в 22% случаев, по третьей – 37%, по четвертой – 60%, по пятой – 82%.

Но в экстремально засушливые годы с осадками за сельскохозяйственный год менее 200 мм азотные удобрения вносить не целесообразно. Они не дадут эффекта независимо от содержания азота в почве, в связи с острым дефицитом влаги.

Эффективность использования азотных удобрений зависит от сроков внесения, что связано с условиями увлажнения. В чернозёмной зоне с годовым количеством осадков 320 мм и более, осеннее внесение аммиачной селитры уступает по эффективности весеннему. В каштановой зоне с годовыми осадками, как правило, менее 300 мм, сроки внесения аммиачной селитры не оказывали существенного влияния на их эффективность, но в годы с дождливой осенью эффективнее весеннее, а в годы с сухой весной – осеннее. Лучшей формой азотных удобрений для яровой пшеницы при внесении под предпосевную культивацию является мочевины, для ячменя – сульфат аммония.

Эффективность азотных удобрений возрастает с повышением содержания P_2O_5 до оптимального уровня, который для яровой пшеницы составляет 35 мг P_2O_5 /кг почвы. При дальнейшем насыщении почв фосфором эффект снижается, что связано с нарушением соотношения между элементами питания.

Из азотных удобрений для почв региона рекомендуются мочевины, аммиачная селитра, сульфат аммония. Неприемлемы физиологически щелочные азотные удобрения, усиливающие подщелачивание почв.

По не паровым предшественникам и в беспаровых плодосменных севооборотах эффективно применение комплексных азотно-фосфорных удобрений, таких как нитрофос, нитроаммофос, как при основном, так и при рядковом внесении и особенно в подкормках. Аммофос по эффективности равноценен двойному суперфосфату, несколько уступая по экономической эффективности, в связи с более высокой стоимостью.

Из калийных удобрений, предпочтение следует отдавать хлористому калию и сульфату калия

Органические удобрения (навоз) целесообразно вносить, прежде всего, на полях с низким уровнем плодородия. Ориентировочными дозами навоза могут быть для зерновых 20 - 30 т/га, пропашных 30 - 40, овощных 40 - 50 т.

В качестве органического удобрения можно использовать солому злаковых культур. Установлено, что по своему влиянию на плодородие почвы 1 тонна соломы эквивалентна 3 - 3,5 тоннам навоза. По данным КазНИИЗХ, при урожайности 15 - 20 ц/га зерна оставление в поле соломы обеспечивает бездефицитный баланс гумуса в 4 - 6-польных зернопаровых севооборотах.

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТАХ ПРИ ОРОШЕНИИ

При орошении важно обеспечить минеральными удобрениями сельскохозяйственные культуры с учетом их оптимальной потребности. Здесь система удобрения строится с учетом специализации севооборота, гранулометрического состава почв, обеспеченности их питательными элементами, уровня грунтовых вод, режима увлажнения. При этом используются такие способы и сроки внесения, которые позволяют повысить коэффициент использования питательных веществ растениями и предотвратить их потерю в окружающую среду.

На всех почвах при орошении растения больше всего нуждаются в азоте. Внесение азотного удобрения (на фоне Р или РК) повышает

урожай зерна озимой и яровой пшеницы и зеленой массы кукурузы в 1,5 - 2 раза. Эффективность фосфорных удобрений значительно ниже, чем азотных, и проявляется главным образом при их совместном внесении. Прибавка урожая зерновых и кормовых культур от фосфорных удобрений на орошаемых почвах обычно 20 - 30%, в зависимости от обеспеченности почв фосфором. Калийные удобрения на орошаемых землях малоэффективны при их внесении под пшеницу, кукурузу и люцерну. В последние годы заметно возрастает эффективность калийных удобрений.

Проблема азота решается комплексно: за счет применения минеральных удобрений, навоза и других органических удобрений и расширения посевов люцерны на орошаемых землях. Дефицит же фосфора в основном покрывается применением минеральных фосфорных удобрений. На каждый гектар орошаемой пашни минеральные удобрения необходимо вносить по полной потребности. При высоком уровне агротехники в условиях орошения отмечается наибольшая окупаемость удобрений, что существенно укрепляет экономику хозяйства.

В условиях орошения большое значение имеют сроки внесения удобрений. Фосфорные и калийные удобрения под все культуры севооборота вносят осенью под основную обработку почвы. Азотные удобрения на суглинистых и глинистых почвах с глубоким залеганием грунтовых вод можно вносить как с осени под вспашку, так и весной под культивацию. На песчаных и супесчаных хорошо дренированных почвах азотные удобрения нужно применять весной незадолго до посева, чтобы не допустить потерь азота за счет вымывания. При этом важно правильно подобрать формы азотных удобрений. Лучшими в условиях орошения являются мочевины, сульфат аммония, азот в составе карбофосок, так как нитратные формы азота в значительной мере мигрируют по профилю почвы и теряются.

Во время вегетации растений проводят подкормку азотными удобрениями посевов озимой пшеницы (поздно осенью или рано весной поверхностно), кукурузы (в фазе 4 - 5-го листа культиваторами-растениепитателями), люцерну подкармливают фосфорными удобрениями (рано весной поверхностно). Для повышения качества зерна яровой и озимой пшеницы наиболее эффективны подкормки азотными удобрениями (мочевинной и аммиачной селитрой) в период колошения – конца цветения.

Глава 9.

СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР В СЕВООБОРОТЕ

Система удобрения отдельных культур в севообороте – наиболее ответственная часть работы агронома, требующая максимальной мобилизации агрохимических знаний. При этом важно решить две взаимосвязанные задачи.

1. Выявить наиболее эффективные приемы и технику внесения удобрений, а также их материально-техническое обеспечение.

2. Разработать систему удобрения конкретной сельскохозяйственной культуры с учетом комплекса условий с целью реализации потенциальной продуктивности данной культуры и воспроизводства плодородия почвы.

ЭФФЕКТИВНЫЕ ПРИЕМЫ И ТЕХНИКА ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ, ИХ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Основная задача комплекса приемов внесения удобрений – обеспечить для растений оптимальные условия питания в течение всей вегетации. При выборе приемов внесения удобрений важно знать потребность культуры в отдельных питательных элементах по фазам роста и возможность размещения их в зоне наибольшего соприкосновения с корневой системой. Существенное влияние на выбор приемов внесения удобрений оказывают свойства самих удобрений, степень их подвижности, особенности взаимодействия с почвенным поглощающим комплексом, наличие в удобрении балластных элементов и отношение к ним сельскохозяйственных культур. От выбора приема внесения и способа заделки удобрений в значительной мере зависит размещение их в пахотном слое (табл. 9.1).

При заделке бороной 75-98% внесенных удобрений располагаются в верхнем слое почвы (0-3 см). Такой прием может быть эффективен в районе достаточного увлажнения или при орошении на легких почвах и при поверхностной подкормке культур сплошного сева (например, озимой пшеницы) легкорастворимыми и подвижными азотными удобрениями. В степных районах при недостаточном и неустойчивом увлажнении такой прием заделки удобрений малоэффективен.

9.1. Размещение удобрений (в %) в пахотном слое почвы
в зависимости от способа заделки

Глубина пахотного слоя, см	Способ заделки				
	легкой бороной	тяжелой бороной	тяжелым культиватором	плугом	плугом с предплужником
0 - 3	98	75	55	11	3
3 - 6	2	22	21	12	4
6 - 9	–	3	23	16	12
9 - 12	–	–	1	16	14
12 - 15	–	–	–	23	20
15 - 20	–	–	–	22	47

С другой стороны, плугом с предплужником значительная часть удобрений заделывается в нижние слои почвы, где они будут хорошо действовать и использоваться растениями при достаточном развитии корневой системы. В начале же вегетации культура может испытывать недостаток питательных веществ. В этом случае возникает необходимость в дополнительных приемах внесения удобрений, обеспечивающих начальное оптимальное питание растений.

При разбросном внесении удобрений по поверхности поля заделка в почву части удобрений различными почвообрабатывающими орудиями осуществляется неудовлетворительно и не соответствует требованиям сельскохозяйственных культур. При заделке плугами удобрения размещаются слишком глубоко и становятся недоступными растениям в начальный период роста; при заделке различными боронами и культиваторами питательные вещества оказываются в верхнем пересыхающем слое почвы и не могут быть в полной мере использованы растениями.

Общее количество удобрений, предусмотренное планом под ту или иную культуру, обычно вносится в один или несколько приёмов с применением различных способов внесения и заделки.

По срокам и технике внесения различают удобрения: основное (допосевное), припосевное (рядковое, гнездовое) и послепосевное (подкормка).

ОСНОВНОЕ УДОБРЕНИЕ

Основное (допосевное) удобрение чаще всего заделывается плугом при вспашке зяби. Это удобрение обеспечивает питание растений на протяжении всего периода вегетации, особенно в период интенсивного роста и развития растений, а следовательно, и наибольшего потребления питательных элементов. При внесении основного удобрения необходимо учитывать ряд обстоятельств. До посева

любой культуры и в процессе ее вегетации растения должны быть обеспечены в каждый период определенным количеством питательных веществ. Это достигается или мобилизацией естественного плодородия почвы, или внесением удобрений. Но этого еще недостаточно.

Важно иметь правильное соотношение питательных элементов в почве. Нарушение его затрудняет использование этих элементов растением. Например, недостаток фосфора в почве вызывает избыточное накопление в растениях нитратного азота и дальнейшее повышение доз азотных удобрений без фосфорных – к еще большему их увеличению в растениях. При совместном же внесении фосфорных и азотных удобрений количество нитратного азота в растениях резко падает. Следовательно, правильное соотношение питательных элементов в значительной мере влияет на поступление их в растение, на направленность процессов синтеза органических соединений, а в конечном счете на рост и формирование урожая и качества продукции.

Еще Ю. Либих отмечал, что удобрения действуют наиболее благоприятно в том случае, если при их посредстве в почве устанавливается правильное соотношение питательных веществ. На это же указывал и Д.Н. Прянишников, который писал, что действие фосфорнокислых удобрений находится в большой зависимости от обеспеченности растений другими элементами, и в первую очередь азотом.

До посева обычно вносится большая часть общей дозы удобрений, предусмотренной под данную культуру. Если основное удобрение заделывается плугом, помещается в глубокий, более влажный слой почвы, то эффективно используется растением в течение почти всего периода вегетации.

Сроки внесения основного удобрения и способ заделки его определяются рядом условий. Важнейшими из них являются климатические условия зоны, свойства почвы, свойства удобрений и биологические особенности возделываемых культур. Например, в лесостепи европейской части нашей страны, где лучшие условия увлажнения, в основном внесении используется 60 - 70% от всей дозы удобрений, а остальная часть вносится в рядки при посеве и в подкормку. Под пропашные культуры в этой зоне глубокая заправка удобрений с осени имеет существенное преимущество перед заделкой их весной при культивации зяби.

В зоне дерново-подзолистых почв при достаточном увлажнении, а также при орошении система удобрения сельскохозяйственных культур обычно состоит из трех приемов (основного, припосевного и

подкормок). В этой зоне до посева часто вносится около 50% удобрений от всей нормы, выделяемой под культуру.

В зоне достаточного увлажнения, на тяжелых заплывающих почвах часто проводят перепашку зяби весной. Особенно это необходимо делать при подготовке почвы под пропашные культуры с хорошо развитой корневой системой. В этом случае удобрения можно вносить весной под перепашку зяби. В этих условиях отмечается хороший эффект от удобрений при внесении их весной до посева с последующей заделкой культиватором.

Заделка культиватором удобрений, внесенных до посева, допустима и в лесостепи под озимые хлеба. Здесь при уборке поздних парозанимающих культур, а также при недостатке влаги в почве во избежание ее иссушения ограничиваются поверхностной предпосевной обработкой почвы (дискованием, культивацией, глубоким лущением). В этом случае удобрения, предназначенные для основного приема, должны быть внесены после уборки предшественников озими и заделаны последующей соответствующей обработкой почвы.

Выбор оптимальных сроков внесения удобрений в значительной мере определяется и свойствами почвы, особенно их гранулометрическим составом. Например, на легких почвах и при достаточном увлажнении значительная часть питательных веществ, особенно азота, будет мигрировать по профилю почвы за пределы корнеобитаемого слоя и теряться. В этих условиях заделка удобрений, прежде всего азотных, необходима весной.

При определении срока внесения и способа заделки удобрений также нужно исходить из свойств самих удобрений. Фосфорные удобрения хорошо поглощаются почвой в местах их внесения, фосфор слабо мигрирует по профилю почвы, быстро фиксируется в ней в результате химического поглощения, особенно на почвах с высокой емкостью поглощения и степенью насыщенности основаниями. Опасность вымывания фосфора на таких почвах ничтожна. Хорошо удерживается почвой и калий, внесенный с калийными удобрениями, за исключением легких почв с малой емкостью поглощения. Более подвижны азотные удобрения. Почти во всех земледельческих районах нашей страны наблюдается большой эффект от внесения фосфорных, а часто и калийных удобрений с осени с последующей заделкой их плугом при вспашке зяби. Азотные же удобрения в районах достаточного увлажнения, особенно на легких почвах, следует вносить весной с последующей заделкой их плугом при перепашке зяби или культиватором. Под озимые хлеба часть азотных удобрений необходимо внести до посева в целях создания оптимальных условий для осеннего их развития.

При внесении азотных удобрений важно учитывать и особенности культур. Например, под пропашные культуры с хорошо развитой корневой системой большой эффект получается от глубокой заделки удобрений. Кроме того, следует учитывать их форму. Например, аммиачные формы азотных удобрений можно вносить и с осени, так как аммоний обладает положительной адсорбцией и хорошо удерживается почвой. У нитратной же формы азота анион не адсорбируется почвой и, находясь в почвенном растворе, передвигается вместе с ним по профилю почвы. Поэтому внесение нитратных форм азотных удобрений с осени при достаточном увлажнении, особенно на почвах легкого гранулометрического состава, недопустимо, так как приведет к значительным потерям азота.

Калийные удобрения часто содержат большое количество балластных элементов, поэтому внесение хлорсодержащих удобрений под культуру, отрицательно реагирующую на хлор, приводит к существенному снижению урожая и ухудшению его качества. При необходимости внесения калийных удобрений, а также при отсутствии бесхлорных форм хлорсодержащие калийные удобрения (сильвинит, калийные соли, хлористый калий) следует вносить с осени под зяблевую вспашку. Это приводит к адсорбции калия почвой как катиона, а хлор, обладающий отрицательной адсорбцией, будет промываться в нижележащие слои почвы и не будет оказывать отрицательного действия на формирование урожая и его качества даже тех культур, которые отрицательно относятся к хлору. Особенно недопустимо внесение хлорсодержащих калийных удобрений под хлорофобные культуры в процессе вегетации. Следует изыскивать возможность обеспечивать сельскохозяйственные растения, отрицательно реагирующие на хлор, бесхлорными калийными удобрениями.

Эффективным является локальное внесение основного удобрения – лентами, шнуром на дно борозды и другими способами. При таких способах удобрения не перемешиваются с почвой, находятся ближе к питающей части корневой системы и используются растениями более эффективно. Можно предположить, что повышение эффективности от применения удобрений лентами связано с локализацией фосфорных удобрений. При этом способе у фосфорных удобрений контакт с почвой меньший, в результате чего водорастворимые фосфаты кальция, внесенные с удобрениями, в меньшей мере переходят в труднорастворимое состояние и полнее усваиваются растениями.

Кроме того, локальное внесение основного минерального удобрения оказывает положительное влияние на рост и физиологическое состояние листьев, обуславливает повышенную водоудерживающую их способность, повышает продуктивность фотосинтеза.

Одним из существенных преимуществ локального способа внесения минеральных удобрений является более высокий по сравнению с внесением вразброс коэффициент использования удобрений. Дозу удобрений при локальном внесении можно сократить на 30 - 50% по сравнению с разбросным способом.

Все это приводит к заметному повышению урожая сельскохозяйственных культур от локализации удобрений (табл. 9.2).

Более перспективным является двухслойное локальное внесение удобрений до посева сельскохозяйственных культур (табл. 9.3).

9.2. Сравнительная оценка способов внесения удобрений

Культура	Урожай, ц/га			Прибавка от локализации, ц/га
	без удобрений	при внесении удобрений		
		вразброс	локально	
Чернозёмы				
Озимые	28,4	38,5	42,2	3,7
Яровые	26,6	30,9	34,7	3,8
Свекла	331	386	410	24
Подсолнечник	21,3	24,4	25,6	1,2
Дерново-подзолистые суглинистые почвы				
Озимые	27,9	37,6	40,0	2,4
Яровые	20,6	34,2	38,1	3,9
Картофель	159	220	236	16
Дерново-подзолистые супесчаные и песчаные почвы				
Озимые	15,8	24,2	27,3	3,1
Яровые	15,2	22,1	25,2	3,1
Картофель	137	206	217	11

Двухслойное локальное внесение удобрений обеспечивает интенсивное поступление питательных веществ из удобрений в процессе всей вегетации растений, что приводит к заметному повышению эффективности этого приема не только перед разбросным, но и перед локальным внесением удобрений до посева в один слой.

Следовательно, основное внесение удобрений может быть разбросным и локальным. Разбросное внесение менее эффективно, но применяется в нашей стране десятки лет. Основное удобрение вносят разбросными туковыми сеялками, разбрасывателями минеральных удобрений и авиационными разбрасывателями.

9.3. Эффективность двухслойного локального внесения минеральных удобрений

Культура	Урожай без удобрений, ц/га	Прибавка, ц/га от удобрений, внесенных		
		вразброс	локально в 1 слой	локально в 2 слоя
Картофель	117	42	66	90
Кукуруза	327	3,8	7,1	10,8
Озимая рожь	12,5	4,3	6,2	9,2
Озимая пшеница	12,7	7,1	11,9	14,2
Ячмень	11,5	7,9	9,8	12, а
Овес	12,2	7,8	10,7	12,7
Сахарная свекла	393	112	143	198
Капуста	370	107	190	241
Огурцы	313	–	103	158

ПРИПОСЕВНОЕ УДОБРЕНИЕ

Основная задача припосевного внесения удобрений заключается в улучшении корневого питания растений в первый период их жизни. Этот прием был разработан в нашей стране А.Е. Зайкевичем еще в 1880 г. Впервые минеральные удобрения стали вносить в рядки при выращивании сахарной свеклы; позднее стали применять суперфосфат при посеве зерновых и других культур. В настоящее время промышленность поставляет сельскому хозяйству специальные комбинированные сеялки для одновременного высева семян и удобрений. В этом приеме удобрение вносится также непосредственно в лунки при посадке картофеля или рассады овощных и других культур и используется ими более длительный период, особенно при достаточной влажности верхнего слоя почвы. При таком способе следует вносить небольшие дозы удобрений.

При внесении удобрений комбинированной сеялкой семена от удобрений отделяются прослойкой почвы. Такой способ хорош тем, что прорастающие семена и молодые проростки, очень чувствительные к повышенной концентрации солей в почвенном растворе, не соприкасаются с удобрениями. Чувствительность эта обычно более высокая у мелкосемянных растений по сравнению с крупносемянными.

Обеспечение растений элементами питания в первый период жизни имеет большое значение и для последующего развития растений. В молодом возрасте растения особенно чувствительны к недостатку питательных элементов. Рядковое или гнездовое внесение

небольших доз удобрений при посеве позволяет создать благоприятные условия питания молодых растений, которые вследствие этого быстрее развиваются и легче переносят неблагоприятные условия, например засуху, повреждения от вредителей и болезней, и легче борются в дальнейшем с сорной растительностью.

Благоприятные условия питания в начале роста позволяют молодым растениям за более короткий период развить достаточно мощную корневую систему, что дает возможность им в дальнейшем лучше использовать питательные элементы почвы и основного удобрения.

Какие удобрения следует вносить в рядки при посеве? Многие ученые отмечают повышенную потребность растений в фосфорной кислоте в начальный период вегетации. Это объясняется участием фосфора в процессах синтеза и гидролиза углеводов. Расщепление запасных полисахаридов на моносахариды совершается в значительной мере путем их фосфоролиза. Фосфорная кислота участвует также в процессе синтеза аминокислот в растениях. Фосфорные удобрения, внесенные в рядки вместе с семенами, способствуют более экономному расходованию пластических веществ семени вследствие более медленного гидролиза крахмала и пониженной активности окислительных ферментов. При появлении же у растений ассимиляционного аппарата фосфор ведет к усиленному гидролизу крахмала семени, который более продуктивно используется на процессы роста.

Под влиянием азота усиливается гидролиз крахмала, интенсивность дыхания и активность окислительных ферментов, что ведет к преждевременному расходу пластических веществ семени. Чтобы устранить отрицательное влияние азота на процессы превращения веществ в семени до образования фотосинтезирующего аппарата, требуется некоторая изоляция азота удобрений от семени. Рассчитывать на устойчивое положительное действие рядкового внесения азота близко к семенам можно лишь в отношении некислых почв, высоко насыщенных кальцием, достаточно обеспеченных доступной для данного растения фосфорной кислотой и нуждающихся в азотном удобрении, а также в отношении растений, имеющих семена со значительными запасами углеводов (пшеница, овес, ячмень и т.д.).

Между тем некоторые исследователи обращают внимание на тесную взаимосвязь между азотным и фосфорным питанием. Установлено, что от внесения азота в питательный раствор наиболее значительно возрастает содержание фосфора в азотистых фракциях фосфорорганических соединений, и прежде всего во фракции нуклеопротеидов – веществ, играющих важную роль в процессе дифференциации меристематических тканей, иными словами, намечаются пути

эффективного воздействия посредством удобрений на формообразовательные процессы в растениях.

Следовательно, нарушение правильного соотношения азота и фосфора уже в начале роста приводит к нарушению синтеза аминокислот, нуклеопротеидов, которые определяют первоначальный нормальный рост растений. Поэтому многие ученые предлагают на почвах, бедных азотом, совместно с фосфорным удобрением вносить при посеве небольшие дозы азота, который способствует образованию в молодых проростках наиболее активных аминокислот, ускоряющих рост корней и стеблей. Гранулированный суперфосфат, внесенный в рядки вместе с семенами, усиливает рост корней. На малоплодородных почвах при недостаточном содержании азота в них некоторые исследователи рекомендуют вносить в рядки при посеве помимо фосфорно-калийных удобрений и азотные. Доза азота в этом случае 5 - 10 кг/га.

В качестве припосевного удобрения вполне следует рекомендовать аммофос, нитрофоску. Эффект от них получается не хуже, чем от смеси простых удобрений с одинаковой дозой азота, фосфора и калия. О высокой эффективности припосевного удобрения свидетельствуют многочисленные данные, полученные в различных районах нашей страны и за рубежом. Отмечается высокая окупаемость удобрений, внесенных в рядки при посеве (табл. 9.4).

9.4. Сравнительная эффективность гранулированного суперфосфата при внесении в рядки и вразброс под культиватор

Культура	Доза P_2O_5 , кг/га		Прибавка урожая, ц/га, при внесении гранулированного суперфосфата		Прибавка урожая зерна, в кг на 1 кг P_2O_5 , при внесении	
	под культиватор	в рядки	под культиватор	в рядки	под культиватор	в рядки
Озимые	22	15	2,6	3,1	11	21
Яровые	24	15	2,5	2,8	10	28

Состав удобрений рядкового внесения и их эффективность в значительной мере определяются биологическими особенностями культур, агрохимическими свойствами и плодородием почвы, свойствами и формами применяемых удобрений, предварительной удобренностью полей и рядом других условий. Однако бесспорным является то, что при многообразии культур, возделываемых в различных почвенно-климатических условиях в нашей стране, отмечается высокое действие гранулированного суперфосфата, внесенного в ряды при посеве. Это объясняется различными

причинами. С одной стороны, повышенной потребностью культур в фосфорной кислоте в начале вегетации, которая принимает активное участие в метаболизме веществ, в процессах фосфоролиза и как носитель источника энергии (АДФ, АТФ). С другой стороны, благодаря грануляции и местному внесению процессы ретроградации фосфорной кислоты суперфосфата протекают слабее вследствие меньшего контакта с почвенным поглощающим комплексом. Благодаря же водорастворимой форме P_2O_5 в суперфосфате и близкому расположению к корневой системе она активно используется растениями. Коэффициент использования P_2O_5 из суперфосфата при местном внесении повышается в 2 - 3 раза по сравнению с разбросным его внесением. Фосфор улучшает развитие корневой системы у растений, тем самым повышает устойчивость их к засухе и другим неблагоприятным условиям.

Припосевное внесение удобрений обычно сочетается с посевом или посадкой сельскохозяйственных культур. Для этого используют различные комбинированные сеялки, высевают семена и минеральные удобрения из отдельных ящиков, а при посеве между ними образуется прослойка почвы.

ПОДКОРМКА

Для получения высокого урожая и улучшения его качества большое значение имеет подкормка. Этот прием позволяет усилить питание растений в определенные периоды их развития. Подкормка является приемом, дополняющим или улучшающим действие основного внесения удобрений. Сочетание этих приемов позволяет обеспечить оптимальное питание растений в процессе всей вегетации, т.е. в периоды наибольшего их потребления.

Целесообразность вегетационных подкормок бесспорна на почвах легкого гранулометрического состава, в районах достаточного увлажнения. Например, при возделывании озимых хлебов и пропашных культур в дерново-подзолистой зоне, а часто и в северной лесостепи особенно эффективны подкормки на супесчаных почвах с малой емкостью поглощения, требующих дробного внесения удобрений, особенно легкорастворимых форм. Внесение полной нормы удобрений в основном приеме приведет к значительным потерям питательных веществ за счет миграции их по профилю почвы за пределы корнеобитаемого слоя. В этом случае снижается эффективность удобрений, усиливается загрязнение грунтовых вод, поэтому планировать разовое внесение всей повышенной дозы удобрения в этих условиях недопустимо.

Часто создаются благоприятные условия подкормки пропашных культур и в районах недостаточного увлажнения. Например, при хорошем увлажнении почвы в период весенне-летней вегетации и недостаточном внесении удобрений в основном приеме под эту культуру подкормка окажется весьма эффективной. Если же до посева, в основном приеме, внесена полная доза удобрений, то подкормку проводить не следует. Подкормка может проводиться поверхностно на почву, в почву во время вегетации растений и некорневая, когда раствор удобрений наносится непосредственно на вегетирующие части растений (листья).

Поверхностная подкормка растений применяется чаще всего для культур сплошного сева – это, прежде всего, зерновые культуры. Например, высокоэффективным приемом для озимой пшеницы является ранняя весенняя подкормка. Удобрения в этом случае вносятся туковывсевающими машинами – наземным способом или специально приспособленными для этого самолетами и вертолетами.

Особенно широкое распространение получила подкормка пропашных культур, таких, как сахарная свекла, хлопчатник, кукуруза, картофель и др. В этом случае удобрения вносятся растениепитателями или специальными приспособлениями к орудиям междурядной обработки. Удобрения в подкормку вносят сухими или в виде раствора.

На эффективность подкормки оказывают влияние природные условия; условия увлажнения в период вегетации культуры; плодородие почвы и ее гранулометрический состав; биологические особенности культур; свойства удобрений; условия агротехники и ряд других факторов.

Эффективность подкормки в значительной мере зависит от вида и форм применяемых удобрений. Фосфорные удобрения, как правило, полной нормой должны быть внесены в основном приеме до посева. Эти удобрения, прежде всего водорастворимые формы, в результате химического поглощения осаждаются в верхних слоях почвы. Потери фосфора этих удобрений практически исключены.

Не наблюдается существенных потерь и калия при использовании калийных удобрений в основном внесении, за исключением легких почв и достаточного увлажнения. Большая часть дозы этих удобрений должна быть внесена до посева.

Наиболее подвижными являются азотные удобрения. Это объясняется тем, что все формы азота – аммиачные (сернокислый аммоний, хлористый аммоний, аммиачная вода, безводный аммиак) и амидные (мочевина) – при благоприятных условиях увлажнения и оптимальной температуре в результате процесса нитрификации переходят в нитратную форму, которая не поглощается почвой,

а мигрирует по профилю почвы вместе с влагой. Поэтому внесённые полной нормой до посева азотные удобрения за зимний период могут частично теряться вместе с тальми водами.

В сельскохозяйственной практике подкормка озимых хлебов и пропашных культур проводится прежде всего азотными удобрениями. При этом желательно использовать нитратные формы азотных удобрений (селитру), которые быстро растворяются, передвигаются с влагой почвы и достигают наиболее активной поглощающей части корневой системы.

Не нужно забывать также, что многие культуры по своим биологическим особенностям не переносят повышенную концентрацию солей, особенно в начале вегетации. Поэтому внесение повышенных доз минеральных удобрений до посева может даже отрицательно повлиять на начальное развитие растений, а в последующие периоды требуется повышенное количество питательных веществ. Поэтому здесь подкормки являются важным приёмом, регулирующим оптимальное питание растений по фазам роста.

Действие подкормки в значительной мере определяется применением комплекса других приемов агротехники. Например, при орошении зерновых культур подкормки, особенно азотными удобрениями, являются важнейшим приемом повышения урожая и улучшения качества зерна. В районах старого поливного земледелия при возделывании хлопчатника внесение всей дозы азота до посева всегда дает значительно меньший эффект, чем внесение его в несколько приемов. Это объясняется тем, что при поливе азотные удобрения мигрируют вместе с поливными водами вниз по профилю почвы, а весной с восходящими токами воды они поднимаются на поверхность почвы и концентрируются в верхних слоях, где почти отсутствует корневая система.

Поздние некорневые подкормки сельскохозяйственных культур проводятся чаще всего растворами удобрения. Наибольшее практическое значение получила поздняя подкормка для повышения белковости зерна или улучшения других показателей качества пшеницы.

Лучшим удобрением для некорневой подкормки пшеницы является мочеви́на, которая, попадая с раствором на листовую поверхность пшеницы, непосредственно используется ею на синтез белков. Этим объясняется положительный эффект от некорневой подкормки пшеницы мочеви́ной в период колошения и цветения. К началу молочной спелости зерно содержит до 40 - 50% азота от всего количества азота в полной спелости зерна, к началу восковой – до 80, остальная часть азота (20 - 30%) поступает в зерно в восковую спелость. Внесение азотных удобрений в период молочной спелости повышает содержание азота в зерне и увеличивает урожай.

Положительное действие мочевины объясняется тем, что она является источником азотного питания, а также и физиологически активным веществом. Она активизирует процессы азотного обмена, в частности образования сульфгидрильных групп (метионин, цистеин и трипептид глутатион). Аминокислоты, содержащие SH-группы, играют большую роль в процессах обмена веществ, роста и закладки репродуктивных органов. Действие мочевины проявляется и на водном режиме растений. Поздняя азотная подкормка повышает степень гидратации коллоидов вследствие увеличения общего количества азота, водорастворимых и неэкстрагируемых белков. Увеличивается также количество прочносвязанной воды и повышается вододерживающая способность листьев. Механизм поглощения листьями минеральных веществ такой же, как и корнями. Первым этапом поглощения ионов из раствора является обменная адсорбция – процесс, протекающий на поглощающей поверхности почти мгновенно. И у корней и у листьев поглощение солей из раствора в большой степени зависит от pH среды, концентрации раствора, состава соли, длительности соприкосновения раствора с поглощающей поверхностью, а также от возраста поглощающего органа растения. Нужно иметь в виду, что азот очень быстро поступает в растение независимо от способа его внесения.

У растения, как единого целого организма, существует тесная взаимосвязь между всеми жизненно важными процессами, в том числе между корневым и некорневым питанием. Поэтому некорневую подкормку следует рассматривать как агротехнический прием, повышающий при определенных условиях эффективность удобрений, внесенных в почву, и эффективность использования почвенного плодородия. При этом важным звеном цепи, связывающим некорневое и корневое питание, является фотосинтез.

Взаимосвязь между некорневым питанием и фотосинтезом может оказать влияние на растение двумя путями. С одной стороны, некорневые подкормки, повышая интенсивность фотосинтеза, могут обеспечивать интенсивный приток в корни органической пищи и энергетического материала. Это приводит к усилению дыхания, более быстрому росту корней, увеличению их поглощающей поверхности, что в свою очередь приводит к усилению поглощения минеральных веществ. С другой стороны, введение в листья химических элементов может повлечь за собой связывание и задержку продуктов фотосинтеза на месте их образования, а это должно оказать отрицательное влияние на деятельность корней и привести к уменьшению урожая. Отрицательное влияние некорневой подкормки на продуктивность растений обычно наблюдается при применении ее в первой половине вегетации растений, когда преобладают синтетические процессы,

а положительный эффект, особенно на качество урожая, – когда подкормка проводится после цветения, когда в растении преобладают процессы гидролиза.

Можно предположить, что наличие в растениях после цветения повышенного количества сахаров дает возможность более интенсивно усваивать азот, внесенный на листья, без ущерба поглощения азота корнями из почвы. В связи с тем что к этому периоду поглотительная деятельность корней растений резко снижается, конкуренция за сахара как продукт фотосинтеза между листьями и корнями в этот период проявляется заметно слабее. Азот, поступивший через листья, хорошо распределяется по всему растению. Нормальное же распределение фосфора между различными частями растения возможно при поступлении его через корни.

Нужно помнить, что азотная подкормка пшеницы в фазе колошения и цветения является дополнительным приемом в системе удобрения, не исключаящим не только основного их внесения, но и поздней и ранневесенней подкормок.

Повышение урожая от некорневой подкормки озимой пшеницы мочевиной происходит главным образом за счет увеличения абсолютной массы натуры зерна. Некорневая подкормка растений обеспечивает повышение урожая зерновых культур на 1,5 - 3 ц/га. Некорневая подкормка пшеницы мочевиной в фазы колошения, цветения и начала молочной спелости повышает белковость зерна на 1,5 - 2%. При некорневой подкормке сахарной свеклы незадолго до её уборки фосфорно-калийным удобрением урожай повышался на 10%, а сахаристость – на 1%.

Некорневую подкормку озимой пшеницы раствором мочевины лучше всего проводить с помощью сельскохозяйственной авиации. Концентрацию раствора при этом можно доводить до 30%. Раствор суперфосфата в соотношении 1 : 4 (концентрация P_2O_5 около 5%) готовят за 1 - 2 суток в связи с медленным переходом фосфорной кислоты в раствор. Его необходимо периодически взбалтывать. Калийные соли хорошо растворяются в воде, поэтому их растворы можно готовить накануне опрыскивания. Концентрация раствора хлористого калия примерно 3% (25 - 30 кг хлористого калия на 800 л воды). При опрыскивании с самолета высота полета около 5 м. Производительность самолета АН-2 8 - 10 га в летный час или 50 - 70 га за рабочий день, расход раствора 800 л/га.

Следовательно, создать оптимальный режим питания растений в процессе вегетации с учетом реализации потенциальной продуктивности растения по количеству и качеству урожая возможно только при рациональном сочетании всех приемов внесения удобрений.

9.2. МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

За последние десятилетия в России сформулированы основные методические принципы реализации потенциальной продуктивности растений, включающие повсеместное освоение зональных систем земледелия, соответствующих условиям природно-экономических зон, структурам посевных площадей и севооборотам, системе обработки почвы, внесению требуемых доз органических, минеральных удобрений, микроудобрений и извести, внедрению интенсивных сортов, эффективной защите посевов от сорняков, болезней и вредителей, своевременному и высококачественному проведению всех полевых работ. Разработка и осуществление такого комплекса агротехнических приемов применительно к конкретному достаточно высокому уровню урожайности составляет суть научного земледелия.

С точки зрения агрохимии рассмотрим важнейшее звено научного земледелия – оптимизацию применения удобрений в процессе вегетации растения в целях реализации продуктивности, заложенной в данном виде или сорте растения. Уже сейчас в нашей стране и в мире половина прироста сельскохозяйственной продукции зависит от применения удобрений. И в дальнейшем роль этого интенсивного фактора земледелия будет возрастать. Задача лишь состоит в том, чтобы всевозрастающее количество удобрений использовать с точки зрения агрономии, экологии и экономики с максимальной отдачей.

В арсенале агрохимической и агрономической науки существует немало разработанных наукой и применяемых на практике методов оптимизации применения удобрений.

Об оптимизации применения азотных, фосфорных, калийных и микроудобрений было сказано в соответствующих главах. В данном случае важно оценить методические принципы оптимизации питания растений и применения удобрений.

При расчете доз удобрений на планируемый урожай культуры чаще всего используется **метод балансового расчета**. Существуют различные варианты этого метода.

1. Расчёт доз питательных элементов по выносу всем запланированным урожаем:

$$x = \frac{100 \cdot УВ - СК_{\text{П}}}{K_x},$$

где $C = m \cdot d \cdot h$; x – искомая доза N, P₂O₅ или K₂O кг/га; $У$ – планируемый урожай, ц/га; $В$ – вынос питательного вещества 1 ц продукции, кг; $С$ – запас подвижного питательного вещества в почве, кг/га; $K_{\text{П}}$ – коэффициент использования питательного вещества из почвы, %; K_x – коэффициент использования питательного вещества

минерального удобрения, %; m – содержание в почве подвижной формы питательного вещества, мг/100 г; d – объемная масса почвы, г/см³; h – глубина пахотного горизонта почвы.

Этот метод довольно широко распространен, так как имеет все статьи прихода и расхода питательных веществ.

При использовании этого метода важно знать: 1) вынос питательных веществ урожаем культуры; 2) содержание подвижных питательных веществ в почве; 3) коэффициент использования питательных веществ из почвы; 4) коэффициент использования питательных веществ из удобрений; 5) масса пахотного слоя почвы или того слоя почвы, на который ведется расчет.

Агрохимические показатели картограмм обеспеченности почв азотом, фосфором и калием (в мг на 100 г почвы) переводят в кг/га умножением на коэффициент, соответствующий почвенной разности и глубине расчетного слоя. Для пахотного слоя (0 - 22 см) дерново-подзолистых почв он равен 30 (масса 1 га пахотного слоя дерново-подзолистой почвы соответствует 3000 т). Если для расчета берется слой до 30 см, в котором располагается основная масса корней, то пользуются коэффициентом 40.

При пользовании этим методом всегда можно уточнить коэффициенты использования питательных веществ из почвы, минеральных и органических удобрений, перевод содержания подвижных питательных веществ в мг на 100 г в кг/га на опытной станции и в ближайшем научно-исследовательском учреждении.

Пример такого балансового расчета показан в табл. 9.5.

9.5. Расчёт доз удобрений на планируемый урожай в 50 ц/га сухого вещества с 1 га

Основные показатели	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос питательных веществ (пит. в-в) на 1 ц сухого вещества, кг	3	0,65	2,5
Вынос пит. в-в на планируемый урожай, кг	150	32,5	125
Содержание в пахотном слое, кг /га	264	270	330
Коэффициент использования пит. в-в из почвы, K _п	25	5	15
Количество пит. в-в, используемых из почвы, кг/га	66	13,5	49,5
Внесение пит. в-в с удобрениями, кг /га	84	19	75,5
Коэффициент использования пит. в-в из удобрений, K _у	70	20	80
Требуется внести питательных веществ с удобрениями, кг/га	120	95	94

Эти расчеты можно выразить формулой $D = \frac{100 \cdot B - m \cdot K_{\text{п}}}{K_{\text{у}}}$,

где D – требуемая доза минеральных удобрений; B – вынос питательных веществ, планируемых урожаем; m – содержание подвижных питательных веществ в пахотном слое почвы; $K_{\text{п}}$ – коэффициент использования питательных веществ из почвы; $K_{\text{у}}$ – коэффициент использования питательных веществ из удобрений.

Этот балансовый метод часто применяется с различными уточнениями и модификациями, но сущность его остается одной и той же – определяются потребность растений в питательных веществах на планируемый урожай, наличие их в почве в доступной для растений форме, коэффициенты использования элементов из почвы и удобрений. Объективность этого метода зависит от точности перечисленных данных. Они могут существенно изменяться в зависимости от свойств почвы, условий погоды, дозы и формы удобрения, срока и способа внесения и от целого ряда других факторов.

Некоторые исследователи более удачным считают второй балансовый расчет потребности в удобрениях с учетом планируемой прибавки урожая. При таком расчете необходимо знать урожай культуры, получаемый на данном поле без применения удобрений, т.е. благодаря естественному плодородию почвы (табл. 9.6).

9.6. Пример расчёта потребностей растений в питательных веществах на планируемую прибавку урожая (при урожае без удобрений 20 ц/га)

Показатель	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос питательных веществ на 1 т зерна запланированной прибавки урожая	35	13,5	33
Использование питательных веществ минеральных удобрений в 1 год, %	65	20	70
Следует внести питательных веществ, кг/га	54	67	47
Содержание питательных веществ в минеральных удобрениях, %	34	20	40
Расчетная доза удобрений, ц/ га	1,6	3,3	1,2
Обеспеченность почв питательными веществами (данные картограммы)	низкая	средняя	низкая
Рекомендуемая доза удобрений с учетом данных картограммы, ц/га	1,6	2,1	1,2

Этот расчет также ориентировочный, при нём не требуется знать коэффициент использования питательных веществ из почвы; коэффициент же использования питательных веществ из удобрений

может также существенно изменяться в зависимости от многих условий (свойств почвы, погоды, агротехники и т. д.).

II. Расчёт доз питательных веществ на планируемую прибавку урожая:

$$x = \frac{100 \cdot a \cdot (Y - A) \cdot B - D}{K_x}, \quad \text{где} \quad D = \frac{E \cdot m_n \cdot K_e}{10},$$

x – искомая доза N, P₂O₅ или K₂O, кг/га; Y – планируемый урожай, ц/га; a – поправочный коэффициент, зависящий от содержания в почве подвижного питательного вещества; A – исходный урожай, ц/га; B – вынос питательного вещества 1 ц продукции, кг; D – количество питательного вещества из навоза, кг/га; K_x – коэффициент использования питательного вещества минерального удобрения, %; E – доза навоза, т/га; m_n – содержание питательного вещества в навозе, %; K_e – коэффициент использования питательного вещества из навоза, %.

При расчёте доз удобрений на планируемый урожай или прибавку важно учитывать степень удобренности предшествующей культуры, с тем, чтобы учесть последствие удобрений. Если предшествующие культуры выращивали на удобренных почвах, то к питательным веществам этих почв, рассчитанным по урожайности определенной культуры в текущем году, нужно прибавить последствие внесенных удобрений из расчета 10 - 15% исходного количества в них действующего вещества.

Например, на неудобренной почве получают 200 ц/га зелёной массы кукурузы, с которой выносятся 50 кг N, 20 кг P₂O₅ и 70 кг K₂O. Кукурузу размещают после сахарной свеклы, под которую было внесено 150 кг азота, 80 кг P₂O₅ и 150 кг K₂O; 15% этого количества составит 22,5 кг N; 12 кг P₂O₅ и 22,5 кг K₂O. Таким образом, размещая кукурузу после сахарной свеклы, можно собрать без дополнительного внесения удобрений около 300 ц/га зелёной массы кукурузы. Если же планируется получение 500 ц/га, то необходимо рассчитать дозу питательных веществ на образование 200 ц зелёной массы, т.е. нужно дополнительно внести 50 кг N, 20 кг P₂O₅ и 70 кг K₂O. Зная коэффициенты использования кукурузой питательных веществ из удобрений на данной почве, легко установить дозы минеральных удобрений на прибавку урожая в 200 ц зелёной массы.

Перечисленные балансовые методы часто применяют с различными уточнениями и модификациями, но сущность их остается – определяются потребность растений в питательных веществах, наличие их в почве, коэффициенты использования элементов из почвы и удобрений и т.д. Недостаток всех методов состоит в том, что почти не учитываются предшественники, агрохимические показатели,

степень окультуренности почвы и другие показатели, существенно влияющие на коэффициент использования питательных веществ растениями из почвы и удобрения. Поэтому их нужно рассматривать как весьма ориентировочные, особенно если они берутся из справочных источников. На практике же они часто дают вполне удовлетворительные результаты, упорядочивают применение удобрений и являются важным этапом к дальнейшему совершенствованию методики получения планируемых урожаев.

Изложенные расчетные методы ставят задачу получения урожая в текущем году с использованием прежде всего естественного плодородия почвы. Удобрениями лишь компенсируется то количество питательных веществ, которое нельзя получить из почвы. В данном случае не предусматривается не только систематическое повышение плодородия почвы, но даже и пополнение тех питательных веществ почвы, которые израсходованы на формирование урожая.

Балансовые расчеты доз удобрений на планируемый урожай с учётом повышения плодородия почв представляют несомненный интерес. При этом возможны различные варианты.

1. Получение высоких урожаев при внесении небольших доз удобрений с одновременным обеднением почвы питательными веществами.

2. Получение сравнительно высоких урожаев с поддержанием уровня эффективного плодородия почвы примерно на исходном уровне.

3. Наиболее приемлемый вариант при программировании урожаев – получение предельно возможных урожаев для данной культуры при одновременном повышении эффективного плодородия почвы.

Для этого необходимы достаточное внесение в почву органических удобрений для образования гумуса, освоение правильных севооборотов с бобовыми травами и промежуточными кормовыми и сидеральными культурами, внесение системы удобрений с учетом поддержания положительного баланса питательных веществ в севообороте, а также выполнение других агротехнических мероприятий.

Существуют методы определения доз удобрений с учётом ежегодного повышения плодородия почвы и выноса питательного элемента урожаем.

Допустим. $D = 80$ кг/га – количество удобрения (д.в.), которое будет поступать ежегодно в почву; $L = 4$ года – количество лет, прошедших после обследования; $B = 30$ кг/га – вынос питательных веществ в среднем за год, кг/га; $K = 50\%$ (0,5) – доля элемента питания, идущая на пополнение запасов питательных веществ почвы в пахот-

ном слое, от величины, характеризующей положительный баланс; M – планируемое увеличение содержания элемента питания, мг на 100 г почвы в пахотном слое.

Содержание элементов питания в пахотном слое, эквивалентное 1 мг на 100 г почвы (1 мг P_2O_5 на 100 г почвы эквивалентен 30 кг фосфора в пахотном слое), га:

$$M = \frac{L \cdot K(D - B)}{30} = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot (80 - 30)}{30} = 3,3;$$

т.е. за 4 года запасы фосфора в почве повышаются на 3,3 мг на 100 г почвы, или ежегодный темп прироста составит в среднем 0,8 мг на 100 г почвы. Пользуясь этой же формулой, определяют дозу фосфорного удобрения (кг/га) при условии, что в среднем вынос фосфора урожаем составит 30 кг/га в год и содержание его в почве должно повыситься, например, за 5 лет на 4 мг (M).

$$D = \left(\frac{30 \cdot M}{K} + L \cdot B \right) : L = \left(\frac{30 \cdot 4}{0,5} + 5 \cdot 30 \right) : 5 = 78 \text{ кг д.в./га}$$

Этот способ расчета позволяет определить дозу удобрения не только на планируемый урожай, но и на реальные темпы повышения запасов питательных веществ в почве и ее окультуривание.

По методу Н.Н. Михайлова дозы удобрений под зерновые культуры на почвах с низким содержанием питательных веществ, а под пропашные – со средним их содержанием рассчитывают на запланированный урожай с учетом повышения плодородия этих почв.

При определении количества фосфора и калия, которое растения выносят из дерново-подзолистых почв, пользуются данными табл. 9.7.

9.7. Возможный вынос фосфора и калия из почвы

Содержание подвижных P_2O_5 и K_2O в почве	Питательные вещества, усвояемые растениями из почвы, кг/га	
	P_2O_5	K_2O
Очень низкое	0 - 10	до 45
Низкое	10 - 20	45 - 90
Среднее	20 - 40	90 - 180
Высокое	40 - 80	180 - 360
Очень высокое	больше 80	больше 360

Расчеты потребности в фосфоре и калии для получения планируемого урожая представлены в табл. 9.8.

Азот в этом случае лучше оптимизировать по методу $N_{\text{мин}}$, как описано ранее в главе «Азотные удобрения».

Этот метод хотя и учитывает плодородие почв при расчёте потребности питательных веществ на планируемый урожай, однако также не отличается большой точностью. Приводятся слишком широкие диапазоны возможного использования фосфора и калия растениями из почвы. Принимаются также весьма относительные коэффициенты использования питательных веществ из органических и минеральных удобрений.

9.8. Потребность и обеспечение фосфором и калием при планировании урожая озимой ржи 40 ц/га

Показатели	P ₂ O ₅	K ₂ O
Обеспеченность почвы	низкая	низкая
Требуется для формирования урожая, кг	48	112
Возможный вынос из почвы, кг	10	45
Требуется обеспечить за счет удобрений	38	67
Обеспечение за счет 20 т навоза	25	72
Требуется обеспечить за счет минеральных удобрений	13	обес- печено

За ротацию севооборота азот минеральных удобрений используется в среднем на 60%, фосфор – на 35 и калий – на 75%. Азот и фосфор органических удобрений используется на 50%, калий – на 75%. Систематическое определение содержания азота, фосфора и калия в урожае позволяет ежегодно корректировать коэффициенты использования и составлять достоверные активные балансы питательных веществ в земледелии.

Данные активного баланса позволяют наиболее точно расчитать дозу внесения минеральных удобрений в зависимости от конкретных условий и поставленной цели. Дозы удобрения, расчитанные на получение планируемого урожая и заданного содержания питательных веществ в почве можно определять по формуле:

$$D = \frac{B}{K_1} + \frac{(C_3 - C_{\phi})K_2}{K_3 \cdot t},$$

где D – доза питательного вещества, кг/га; B – вынос питательных веществ планируемым урожаем, кг/га; K_1 – коэффициент использования питательных веществ с учетом последствия; C_3 – заданное содержание питательного вещества в почве, мг/100 г; C_{ϕ} – фактическое содержание питательного вещества в почве, мг/100 г; K_2 – коэффициент пересчета мг/100 г на кг/га; K_3 – коэффициент расходования удобрений на увеличение содержания питательного вещества в почве; t – время, за которое намечено получить заданное содержание питательного вещества в почве.

Например, требуется получить 40 ц/га зерна озимой пшеницы и через 10 лет повысить фактическое содержание фосфора ($C_{\text{ф}}$) до 10 мг на 100 г почвы. С урожаем зерна 40 ц/га озимая пшеница выносит 48 кг/га P_2O_5 (В). Чтобы определить дозу фосфора, вынос (48 кг/га) делят на коэффициент использования его растениями из удобрений с учетом последствия при условии, что 2/3 фосфора вносят с минеральными и 1/3 с органическими удобрениями, коэффициент использования равен 0,4 (K_1). При этом потребуется внести 120 кг/га P_2O_5 .

Среднее содержание подвижного фосфора за 10 лет (t) повышают до 10 мг, или на 5 мг на 100 г почвы (C_3), что соответствует 150 кг/га (5 мг · 30).

В результате многолетних исследований получено, что около 0,4 количества фосфора (K_3), внесенного сверх дозы на запланированный урожай, идет на увеличение содержания его усвояемых форм в почве. Следовательно, для достижения заданного уровня содержания подвижных форм фосфора в почве за 10 лет потребуется внести 375 кг/га P_2O_5 (150 кг: 0,4), или в среднем за год при сохранении уровня запланированной урожайности 37,5 кг/га. С учетом этого количества искомая доза, рассчитанная на получение планируемого урожая и заданное содержание питательного вещества в почве, будет равна 157,5 кг/га (120 + 37,5).

Подставив все величины в формулу, получим

$$D = \frac{48}{0,4} + \frac{(10-5) \cdot 30}{0,4} = 120 + 37,5 = 157,5 \text{ кг/га } P_2O_5.$$

Т.Н. Кулаковская рекомендует проводить расчет доз удобрений по балльной оценке почв. На основе многочисленных экспериментальных данных разработана цена балла пашни, кг продукции на один балл (табл. 9.9).

Пример. Запланированный урожай озимой пшеницы 50 ц/га зерна. Почва супесчаная, балл пашни $B_{\text{п}} = 58$, цена балла по озимой пшенице $\Pi_{\text{бп}} = 34$ кг.

Агрохимические свойства почвы следующие: pH 6,0; гумус – 1,8; P_2O_5 – 14 и K_2O – 12 мг на 100 г почвы; объемная масса 1,3 г/см³; масса 20 см пахотного слоя 2,6 тыс. т. Поправочный коэффициент на агрохимические свойства $K = 1,23$.

Сначала определяют величину урожая, которую можно получить за счет эффективного плодородия почвы, по формуле

$$Y = B_{\text{п}} \cdot \Pi_{\text{бп}} \cdot K = 58 \cdot 34 \cdot 1,23 = 24,2 \text{ ц/га.}$$

9.9. Цена балла пашни, кг продукции на один балл

Культура	Дерново-подзолистые почвы				Торфяно-болотные
	супесчаные	супесчаные, подстилаемые мореной	супесчаные, подстилаемые песком	песчаные	
Озимая рожь	33	33	36	30	44
Озимая пшеница	36	34	28	25	36
Ячмень	39	38	35	25	43
Овёс	33	30	30	28	35
Картофель	260	250	245	240	262
Лён (волокно)	7,8	7,0	–	–	–
Сахарная свёкла	290	–	–	–	330

Следовательно, при внесении удобрений прибавка зерна составит 25,8 ц/га (50 - 24,2) (табл. 9.10).

Таким образом, для получения 50 ц зерна вносят $N_{151}P_{124}K_{143}$, или в сумме 418 кг/га NPK.

На основании исследований, проведенных Белорусским НИИ почвоведения и агрохимии, на различных почвах определена окупаемость минеральных и органических удобрений (табл. 9.11).

9.10. Расчёт доз удобрений на планируемый урожай озимой пшеницы 50 ц/га сухого вещества с 1 га

Показатели	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Планируемая прибавка урожая зерна, ц/га	25,8		
Выносится с 1 ц зерна, кг	3,5	1,2	2,5
Общий вынос на прибавку, кг/га	90,3	30,9	64,5
Кoeffициент использования из минеральных удобрений, %	60	25	45
Требуется внести с учетом коэффициента использования, кг /га	150,5	123,6	143,3

9.11. Окупаемость удобрений урожаем, кг продукции на 1 кг NPK и 1 т органических удобрений

Культура	1 кг NPK на почвах				1 т органических удобрений
	суглинистых	супесчаных	песчаных	торфяно-болотных	
Озимая рожь	6,3	6,0	5,0	5,9	10–14
Озимая пшеница	7,2	6,0	–	6,0	12–18
Ячмень	6,5	6,2	4,5	6,0	7–12
Овес	5,7	5,4	4,5	5,8	10–12
Картофель	30	30	28	35	100
Лен (волокно)	1,4	1,3	–	–	–
Сахарная свекла	35	33	–	30	120

Пользуясь показателями окупаемости единицы питательных веществ, рассчитывают дозу удобрений на дополнительный урожай 25,8 ц зерна озимой пшеницы. Например, на 1 кг внесенного в супесчаную почву NPK получают 6 кг зерна, на 25,8 ц (2580 кг) потребуется 430 кг/га (2580 : 6). Зная благоприятное соотношение (для озимой пшеницы N : P : K = 1,0 : 0,9 : 1,2) между основными элементами питания, находят систему удобрения – на 50 ц/га зерна $N_{139}P_{125}K_{166}$.

Этот метод расчета доз основывается на большом количестве экспериментальных данных, и правильно рассчитанная доза в значительной степени отвечает биологическим особенностям культуры.

Интерес представляет *метод определения действительно возможного урожая* (ДВУ) по содержанию питательных веществ в почве (Ермохин, Неклюдов, Красницкий, 2000). Этот метод основан на том, что содержание элементов питания в почве является лимитирующим фактором, и он определяет получение ДВУ.

Такой подход позволяет оценить естественное плодородие почвы и определить возможный уровень урожайности без применения удобрений, а затем спрогнозировать эффективность используемых удобрений.

Авторы предлагают следующую формулу:

$$\text{ДВУ}_{\text{ПВП}} = \frac{m \cdot h \cdot d \cdot K_{\text{П}}}{N}$$

где ДВУ_{ПВП} – действительно возможный урожай за счет питательных веществ почвы (без удобрений), т/га; m – содержание в почве питательного вещества, находящегося в минимуме, мг/100 г; h – глубина пахотного слоя, см; d – объемная масса пахотного слоя, г/см³; K_П – коэффициент использования растениями питательного элемента из почвы; N – потребление питательного вещества растениями на создание единицы основной продукции с учетом побочной, кг/т.

Кроме содержания питательных веществ в почве важно знать соотношение каждого из элементов, принимающих участие в формировании урожая, а также степень доступности их растениям.

Для условий Западной Сибири определено соотношение питательных элементов в почве, характеризующее сбалансированное питание и позволяющее определить, какой из элементов (азот, фосфор, калий) находится в первом минимуме.

Оптимальное соотношение этих элементов в слое почвы 0 - 30 и 0 - 40 см характеризуется следующим равенством:

$$P_2O_5 \text{ мг/100 г} \approx 10 \cdot N-NO_3 \text{ мг/100 г} \approx K_2O \text{ мг/100 г}$$

Следовательно, соотношение $P_2O_5 : N-NO_3$ равно 10, $P_2O_5 : K_2O$ равно 1, что характеризует сбалансированное содержание данных элементов в почве. Если соотношение $P_2O_5 : N-NO_3$ меньше 10, то это свидетельствует о дефиците фосфора, а если это соотношение больше 10, то в данной почве в минимуме содержится азот. Так же характеризуется соотношение между K_2O и $N-NO_3$.

Для определения, какой из элементов в почве находится в минимуме, рекомендуется устанавливать коэффициент действия элемента, который будет применен в качестве удобрения. Наибольший коэффициент действия (K_D) будет указывать, что данный питательный элемент находится в минимуме и будет лимитировать получение урожая возделываемой культуры.

Например, при содержании в почве $N-NO_3 - 0,7$; $P_2O_5 - 10,5$; $K_2O - 10,0$ мг/100 г; соотношение элементов питания в почве будет следующим: $P_2O_5 : N-NO_3 = 10,5 : 0,7 = 15$; $K_2O : N-NO_3 = 10,0 : 0,7 = 14,3$. Отсюда вывод – ограничивающим урожайность выращиваемой культуры на данной почве будет азот.

При использовании удобрений авторы рекомендуют для почв Западной Сибири использовать оптимальные уровни содержания питательных элементов, установленные для зерновых культур А.Е. Кочергиным (мг/100 г): $N-NO_3 - 1,5$; $P_2O_5 - 15,0$; $K_2O - 15,0$.

Коэффициент действия питательного элемента можно определить и другим методом, т.е. по соотношению оптимального и фактического содержания питательного элемента в почве:

$$K_{DN} = \frac{N-NO_3 \text{ мг/100 г (оптимум)}}{N-NO_3 \text{ мг/100 г (фактич.)}} = \frac{1,5}{0,7} = 2,14;$$

$$K_{DP_2O_5} = \frac{P_2O_5 \text{ мг/100 г (оптимум)}}{P_2O_5 \text{ мг/100 г (фактич.)}} = \frac{15}{10,5} = 1,43;$$

$$K_{DK_2O} = \frac{K_2O \text{ мг/100 г (оптимум)}}{K_2O \text{ мг/100 г (фактич.)}} = \frac{15}{10} = 1,5.$$

Эти данные свидетельствуют, что лимитирующими факторами, ограничивающими урожай на данной почве, являются все три питательных элемента, но в наибольшей степени азот, так как K_{DN} составляет наибольшую величину – 2,14.

Для Сибири Ю.И. Ермохин с соавторами (2000) отмечают следующие коэффициенты использования питательных веществ растениями из почвенных запасов: нитратный азот – 0,6 - 0,8 (60 - 80%), подвижный фосфор – 0,1 (10%), обменный калий – 0,2 - 0,3 (20 - 30%). Зная эти показатели, можно определить ДВУ (например, ячменя) без применения удобрений.

Пример:

$N-NO_3 - 0,7 \text{ мг/100 г}$

$P_2O_5 - 10,5 \text{ мг/100 г}$

$K_2O - 10,0 \text{ мг/100 г}$

$h - 30 \text{ см}$

$d - 1,2 \text{ г/см}^3$

$N_N - 35,6 \text{ кг/т}$

$N_P - 12,1 \text{ кг/т}$

$N_K - 25,1 \text{ кг/т}$

$K_{ПN} - 0,6$

$K_{ПP} - 0,1$

$K_{ПК} - 0,3$

ДВУ, т/га = ?

С учетом азота текущей нитрификации ($N_T = 70 \text{ кг/га}$) ДВУ составит по азоту:

$$\text{ДВУ} = \frac{(0,7 \cdot 30 \cdot 1,2 + 70) \cdot 0,6}{35,6} = 1,6 \text{ т/га};$$

по фосфору:

$$\text{ДВУ} = \frac{10,5 \cdot 30 \cdot 1,2 \cdot 0,1}{12,1} = 3,1 \text{ т/га};$$

по калию:

$$\text{ДВУ} = \frac{10,0 \cdot 30 \cdot 1,2 \cdot 0,3}{25,1} = 4,3 \text{ т/га}$$

Следовательно, при данной характеристике почвы возможный урожай ячменя составит 1,6 т/га.

Большой интерес для науки и практики представляют *методы расчета доз удобрений на планируемый урожай, разработанные Н.К. Болдыревым*. Им использованы комплексные методы листовой и почвенной диагностики, т.е. химический состав листьев, содержание подвижных питательных веществ в почве, балансовый метод расчёта доз удобрений и др. Рассмотрим некоторые из них.

Упрощенный метод расчета ориентировочных доз удобрений по химическому составу листьев растений и подвижным питательным веществам почвы предложен Н.К. Болдыревым еще в 1962 г. Он основан на установлении степени нуждаемости (C_H) в элементе питания по уравнению

$$C_H = OC : FC,$$

где OC – оптимальное содержание элемента, FC – фактическое содержание элемента.

Степень нуждаемости уточняется по другому элементу, находящемуся в относительном избытке, или по оптимальному соотношению между нормами элементов в листьях, учитывая равенства

$$\%N_{(Л)} = 12\% P_{(Л)} = 1,2\% K_{Л} \text{ или } \%N_{Л} = 5,2\% P_2O_{5Л} = \% K_2O_{Л}.$$

Уравнение

$$\% N = 12 \cdot \% P = 1,2 \cdot \% K = 12 \cdot \% S = 12 \cdot \% Mg = 6 \cdot \% Ca$$

Н.К. Болдырев назвал уравнением оптимального баланса элементов в листьях злаковых культур в фазу цветения. Разработаны оптимальные соотношения между элементами и для других сельскохозяйственных культур (табл. 9.12).

9.12. Показатели нормальных уровней содержания элементов и оптимального соотношения между ними в листьях некоторых культур

Культуры	Уровень урожая, ц/га, при величине "В"	Время отбора проб для анализа (фаза роста)	Орган, ярус листьев	Содержание в %на абс. сух. вещество			Оптимальное соотношение между элементами		
				N	P	K	N/P	N/K	P/K
Яровая и озимая пшеницы	40 - 45 (0,8)*	кущение	надземная часть	5	0,43	4,2	12	1,2	10
Ячмень	50 - 60 (1,00 - 1,25)	тубкование	все листья	4	0,33	3,3	12	1,2	10
		конец цветения (6-8 дней после полного выколашивания)	3 - 4 листа, считая от колоса, надземная часть	3	0,25	2,5	12	1,2	10
Кукуруза на силос	500 (0,8) 800-1000 (1-1,25)	6-8 листьев	надземная часть	2,1	0,25	2,1	8	1,0	8
Кукуруза на зерно	45-50 (0,8) 80-100 (1 - 1,25)	цветение початков	надземная часть	4,0	0,34	3,4	12	1,2	10
		цветение початков	2 припочатковых листа надземная часть	3,2	0,27	2,7	12	1,2	10
Подсолнечник на зерно	35-40 (1,0)	формирование корзинки перед цветением	все листья	2,5	0,21	2,0	12	1,2	10
Злаковые многолетние травы	120 - 140 за 2 укоса	Начало цветения	надземная часть	3,1	0,25	2,8	12	1,1	11

*В скобках представлена величина коэффициента действия уравновешенного элемента в листьях (КДУЭЛ, или "В"), соответствующая определённому уровню урожайности растений.

Н.К. Болдырев приводит три таблицы с соотношением между NPK в листьях в трех важных фазах роста: кущение, трубкование и конец цветения (табл. 9.13 - 9.15). В центре каждой таблицы дается оптимальное соотношение между элементами (NPK в листьях в три важные фазы роста). Вверх и вниз от центра растет неуравновешенность, связанная с недостатком элемента (когда $C_H < 1$) или с его избытком (когда $C_H > 1$).

Зная значения C_H , определяемые по равенству $C_H = OC \cdot FC$ или таблицам, можно рассчитать дозу удобрения.

Если $C_H \leq 1$, то растения в данном элементе не нуждаются и расчет дозы не производится. При значении C_H от 1,1 до 3 - 4 этот показатель включается в формулу

$$D / N, P_2O_5, K_2O \text{ кг/га} = C_H \cdot M_H,$$

где D – доза действующего вещества (д.в.); M_H – минимальная доза (кг д.в.), применяемая в основном удобрении, величина которой устанавливается в полевых опытах.

9.13. Соотношение между азотом и фосфором (% P) в листьях (фаза кущения, трубкования и конец цветения*) как основа для оценки условий питания и определения степени нуждаемости (C_H) и норм удобрений для злаковых культур (по Н. К. Болдыреву)

Номер точки отсчета от центра оптимума (1 – ЦО)	Соотношение N/P	C_H		Условия питания азотом и фосфором и их уравновешенность
		N	P	
7	22,5 - 24	0,5	2,0	сильный недостаток фосфора при большом избытке азота
6	20	0,6	1,7	
5	18	0,7	1,5	средний недостаток фосфора при среднем избытке азота
4	16	0,75	1,3	
3	14	0,8	1,2	соотношение, близкое к норме
2	13	0,9	1,1	
1 – ЦО	12	1	1	уравновешенное питание N и P
2	11,2	1,1	0,9	соотношение, близкое к норме
3	10,0	1,2	0,8	средний недостаток азота при среднем избытке фосфора
4	9,0	1,3	0,75	
5	8,0	1,5	0,66	сильный недостаток азота при небольшом избытке фосфора
6	7,1	1,7	0,6	
7	6,0	2,0	0,5	

* В табл. 9.14 и 9.15 соотношения между элементами относятся к тем же фазам, что и табл. 9.13.

9.14. Соотношение между азотом и калием (% K) в листьях как основа для оценки условий питания, определения степени нуждаемости (C_N) и норм удобрений для злаковых культур (по Н.К. Болдыреву)

Номер точки отсчета от центра оптимума (1 – ЦО)	Соотношение N/K	C_N		Условия питания азотом и калием и их уравновешенность
		K	N	
7	2,25 - 2,4	2,0	0,5	сильный недостаток калия при большом избытке азота
6	2,0	1,7	0,6	
5	1,8	1,5	0,7	средний недостаток калия при среднем избытке азота
4	1,6	1,3	0,75	
3	1,4	1,2	0,8	соотношение, близкое к норме
2	1,3	1,1	0,9	
1 – ЦО	1,2	1,0	1,0	уравновешенное питание N и K
2	1,12	0,9	1,1	соотношение, близкое к норме
3	1,0	0,8	1,2	средний недостаток азота при среднем избытке калия
4	0,9	0,75	1,3	
5	0,8	0,66	1,5	сильный недостаток азота при большом избытке калия
6	0,71	0,6	1,7	
7	0,6	0,5	2,0	

9.15. Соотношение между калием (% K) и фосфором (% P) в листьях как основа для оценки условий питания, определения степени нуждаемости (C_N) и норм удобрений для злаковых культур (по Н.К. Болдыреву)

Номер точки отсчета от центра оптимума (1 – ЦО)	Соотношение K/P	C_N		Условия питания фосфором и калием и их уравновешенность
		P	K	
7	20,0	2,0	0,5	сильный недостаток фосфора при большом избытке калия
6	18,0	1,8	0,56	
5	16,0	1,6	0,63	средний недостаток фосфора при среднем избытке калия
4	14,0	1,4	0,7	
3	12,5	1,2	0,8	соотношение, близкое к норме
2	11,2	1,1	0,9	
1 – ЦО	10,0	1,0	1,0	уравновешенное питание K и P
3	8,0	0,8	1,25	средний недостаток калия при среднем избытке фосфора
4	7,1	0,7	1,4	
5	6,3	0,6	1,6	сильный недостаток калия при избытке фосфора
6	5,6	0,56	1,8	
7	5,0	0,50	2,0	

Величина M_H в основном удобрении для зерновых, кукурузы и гороха обычно 30 кг/га д.в., а для картофеля и овощей – 45 кг/га д.в. при обычных условиях выращивания и для получения урожаев до 40 ц/га зерна, 250 ц/га картофеля и 500 ц/га капусты. В условиях орошения минимальная доза (M_H), естественно, может быть в 1,5 - 2 раза больше. В комплексном методе листовой диагностики обязательно дается корректировка дозы недостающего элемента по другим основным элементам, находящимся в некотором избытке или же недостатке.

Приведём *пример расчёта нормы азота* для получения 40 ц/га зерна яровой пшеницы.

Для фазы кушения оптимальное содержание в листьях $N = 5\%$, $P = 0,43$, $K = 4,2\%$. Коэффициент действия уравновешенного элемента (азота) в листьях $B = 0,5$ для урожая 32 - 40 ц/га, 0,63 для урожая 41 - 50 ц/га и 0,8 для 55 - 60 ц/га. Потребность яровой пшеницы в азоте на 1 ц зерна с соломой $N = 4$ кг. Коэффициент использования из минеральных удобрений $N - 63\%$, $P_2O_5 - 20$ и $K_2O - 63\%$. Минимальная норма азота $N_M = 45$ кг.

Для фазы конца цветения оптимальное содержание элементов в листьях $N = 3\%$, $P = 0,25$, $K = 2,5\%$. Коэффициент действия элементов в листьях (B) для урожаев 40 ц/га = 0,8, для урожаев до 50 ц/га зерна – 1,0, для урожаев 51 - 60 – 1,25. Остальные показатели, как и для фазы кушения.

Фактические показатели химического состава листьев неудобренного варианта в фазу кушения $N = 3,92\%$, $P = 0,46$, $K = 4,3\%$, в фазу конец цветения $N = 2,10\%$, $P = 0,29$, $K = 3,74\%$.

Для фазы кушения степень нуждаемости в азоте составит

$$C_H N = \frac{5,0\% N_{(опт)}}{3,92\% N_{(факт)}} \cdot \frac{0,46\% P_{(факт)}}{0,43\% P_{(опт)}} = 1,4.$$

Для фазы конца цветения степень нуждаемости в азоте составит

$$C_H N = \frac{3,0\% N_{(опт)}}{2,1\% N_{(факт)}} \cdot \frac{0,29\% P_{(факт)}}{0,25\% P_{(опт)}} = 1,7.$$

Эта степень нуждаемости пшеницы в азоте должна быть поправлена с учетом недостатка фосфора в листьях (или в почве), если этот недостаток преодолеть не удастся. Учитывая, что $C_{HN} = 1,7$,

$$C_H N = \frac{5,0\%}{3,1\%} \cdot \frac{0,26 P_{(факт)}}{0,43 P_{(опт)}} = 1,7 \cdot 0,6 = 1,02.$$

Откуда доза азота составит N кг/га = $C_H \cdot 45 = 1,02 \cdot 45 = 46$ кг/га вместо 80. Эта поправка доз азота имеет особенно большое значение при определении доз азота под озимые и яровые культуры, поля которых имеют содержание подвижного фосфора или калия ниже нормы.

Таким образом, доза азота в данном случае по химическому составу листьев в фазе кущения составляет $N \text{ кг/га} = C_H \cdot N_M = 1,4 \cdot 45 = 63$, а в фазе конца цветения $N \text{ кг/га} = C_H \cdot N_M = 1,7 \cdot 45 = 76$, или в среднем 70 кг/га.

Если же принять в расчет и избыточное содержание калия в листьях в сравнении с оптимальным содержанием, то

$$C_H N = \frac{3,0\% N_{(\text{опт})}}{2,1\% N_{(\text{факт})}} \cdot \frac{3,74\% K_{(\text{факт})}}{2,50\% K_{(\text{опт})}} = 1,4 \cdot 1,5 = 2,1,$$

а доза азота составит $N_N = 2,1 \cdot 45 = 94 \text{ кг/га}$.

По сумме трех расчетов с поправками на некоторое превышение фосфора и калия по двум фазам роста норма азота составляет $(63 + 76 + 94) : 3 = 78 \text{ кг/га}$, или 70 кг/га без поправки на калий листьев, если доза рассчитывается для почв с избыточным содержанием подвижных форм калия.

По аналогии с комплексным методом аналитической листовой диагностики (КМАЛД) Н.К. Болдырев рекомендует расчёты доз удобрений проводить по содержанию подвижных питательных веществ в почве, т.е. использовать комплексный метод аналитической почвенной диагностики (КМАПД). В основе этого метода лежит установление нормального питательного состава «почвы», обеспечивающего получение высокого урожая зерновых, например, 40 ц/га зерна яровой пшеницы и др. Их можно называть оптимальными параметрами почвенного плодородия по подвижным формам питательных веществ (табл. 9.16).

9.16. Показатели нормального питательного состава различных типов почв, обеспечивающие получение 40 ц зерна яровой пшеницы и соответствующий уровень урожая других культур

Тип почвы	Содержание в почве перед посевом (7 - 10 дней до посева), мг/кг								
	N – NO ₃	P ₂ O ₅ по				K ₂ O по			
		Чири- кову	Мачи- гину	Кир- са- нову	Тру- огу	Чири- кову	Мачи- гину	Кирса- нову	Мас- ло- вой
Чернозём									
обыкновенный	25	180	–	–	200	180	–	–	320
выщелоченный	25	180	–	–	200	180	–	–	–
карбонатный	25	–	25*	–	–	–	250	–	–
Каштановая	25	–	25	–	–	–	250	–	–
Дерново-подзоли- стая средн. гран. состава	25	–	–	200	–	–	–	200	–
Торфяно-болотная	125	–	–	1000	–	–	–	1000	–

Примечание. Для уровня урожая 50 - 55 ц/га зерна озимой пшеницы содержание соответствует 35 мг/кг почвы.

Таблица 9.16 дополняется показателями оптимального соотношения между элементами питания в почве, которые необходимы для последующих расчетных поправок для доз удобрений по соотношениям между подвижными питательными веществами почвы (табл. 9.17 - 9.19).

9.17. Соотношение между подвижными питательными веществами в почве как основа для оценки условий питания и определения степени нуждаемости в удобрениях злаковых культур

Номер точки отсчёта от центра оптимума	$\frac{P_2O_5}{N - NO_3}$ мг/кг	Степень нуждаемости C_H		Характеристика условий питания азотом и фосфором, их уравновешенность
		для N	для P_2O_5	
7	14,4	2,0	0,5	сильный недостаток азота при большом избытке фосфора в почве
6	12,5	1,8	0,56	
5	11,2	1,56	0,63	
4	10,0	1,40	0,72	средний недостаток азота при среднем избытке фосфора
3	9,0	1,25	0,8	
2	8,0	1,11	0,9	соотношение, близкое к норме
1 ЦОП*	7,2	1,0	1,0	
2	6,3	0,9	1,14	уравновешенное питание N и P_2O_5
3	5,6	0,8	1,28	
4	5,0	0,72	1,44	соотношение, близкое к норме
5	4,5	0,63	1,60	
6	4,0	0,56	1,80	средний недостаток фосфора при среднем избытке азота
7	3,6	0,5	2,0	

* ЦОП – оптимум питания по соотношениям питательных веществ.
 Обозначения: 1 ЦОП – уравновешенное питание, определяемое уравнением:
 $\text{мг/кг } P_2O_5 - 7,2 \cdot N_{\text{нит}} \text{ мг/кг } K_2O$; 2 – неуравновешенность питания слабая;
 3 - 4 – средняя; 5 - 7 – сильная.

9.18. Соотношение между калием и нитратным азотом в почве как основа для оценки условий питания, определения степени нуждаемости C_H и норм недостающего элемента в удобрении

Номер точки отсчета от центра оптимума	$\frac{K_2O}{N - NO_3}$ мг/кг	Степень нуждаемости C_H		Характеристика условий питания калием и азотом, его уравновешенность
		для N	для K_2O	
7	14,4	2,0	0,5	сильный недостаток азота при большом избытке калия
6	12,5	1,3	0,56	
5	11,2	1,6	0,63	
4	10,0	1,4	0,72	средний недостаток азота при среднем избытке калия
3	9,0	1,25	0,80	
2	8,0	1,12	0,9	близкое к норме
1 ЦОП	7,2	1,0	1,0	
2	6,3	0,9	1,14	уравновешенное питание K_2O и близкое к норме
3	5,6	0,8	1,28	
4	5,0	0,72	1,44	средний недостаток калия при среднем избытке азота
5	4,5	0,63	1,60	
6	4,0	0,56	1,80	сильный недостаток калия при сильном избытке азота
7	3,6	0,5	2,0	

9.19. Соотношение между подвижным фосфором и обменным калием (по Чирикову) как основа для оценки условий питания и определения нуждемости C_H в недостающем элементе

Номер точки отсчёта от центра оптимума	P_2O_5 K_2O мг/кг	Степень нуждемости C_H		Характеристика условий питания фосфором и калием, его уравновешенность
		для K_2O	для P_2O_5	
7	2,0	2,0	0,5	сильный недостаток калия при большом избытке фосфора
6	1,8	1,8	0,56	
5	1,6	1,6	0,63	
4	1,4	1,4	0,72	средний недостаток калия при среднем избытке фосфора
3	1,25	1,25	0,80	
2	1,12	1,12	0,90	соотношение, близкое к норме
1 ЦОП	1,0	1,0	1,0	
2	0,9	0,9	1,12	соотношение, близкое к норме
3	0,8	0,8	1,25	
4	0,72	0,72	1,4	средний недостаток фосфора при среднем избытке калия
5	0,63	0,63	1,6	
6	0,56	0,56	1,8	сильный недостаток фосфора при большом избытке калия
7	0,5	0,5	2,0	

Соотношения $N : P_2O_5 : K_2O$ в почве характеризуют качественную сторону питания растений, его уравновешенность. Отношение между оптимальным и фактическим соотношением N_H и P_2O_5 , между N_H и K_2O выражается количественными показателями степени нуждемости в недостающем элементе, которые используются как поправочные коэффициенты для корректировки нормы удобрения.

Оптимальные соотношения между подвижными питательными веществами почвы устанавливаются в полевых опытах с изменяющимися дозами удобрений по факториальным или обычным схемам путем установления коррелятивных связей графически или разбивкой на группы между показателями соотношений пар элементов и величиной урожая. Оптимальные соотношения между подвижными питательными элементами почвы для зерновых культур на некоторых типах почв выражаются уравнениями баланса питательных веществ.

Для обыкновенного и выщелоченного черноземов (метод Чирикова для фосфора и обменного калия) равенство

$$P_2O_5 \text{ мг/кг почвы} = 7,2 \cdot N-NO_3 \text{ мг/кг} = K_2O \text{ мг/кг.}$$

Для карбонатных черноземов и каштановых почв (метод Мачигина для фосфора и калия)

$$P_2O_5 \text{ мг/кг почвы} = N-NO_3 = K_2O : 10.$$

Показатели нормального (оптимального) питательного состава почвы и оптимального соотношения между подвижными питатель-

ными веществами почвы используются для определения доз удобрений и в других методах расчета, составляющих комплексный метод аналитической почвенной диагностики (КМАПД). Расчет доз удобрений по данным агрохимического анализа почвы проводится по аналогии с методом листовой диагностики и основывается на тех же принципах.

Норма недостающего элемента определяется, как и в листовой диагностике, умножением C_H на минимальную дозу M_H элемента, равную 30.

Для азота в условиях орошения M_H дифференцируется с учетом величины запланированного урожая и составляет: $M_H = 30$ (для урожаев до 36 - 38 ц/га); $M_H = 45$ (для урожаев 40 - 50 ц/га) и $M_H = 60$ (для урожаев выше 60 ц/га). Для фосфора M_H при орошении составляет 45 кг P_2O_5 .

Исходные данные анализа почвы взяты для обыкновенного чернозёма и получения запланированного урожая зерна яровой пшеницы при орошении 40 ц/га. Содержание гумуса в слое 0 - 30 см 6,0%, содержание за 7 - 10 дней до посева нитратного азота ($N-NO_3$) 14,0 мг/кг; P_2O_5 и K_2O (по Чирикову) – 182 и 1176 мг/кг соответственно. Объемная масса 1 см³ анализируемого слоя $d = 1,05$, глубина анализируемого слоя $h = 30$ см. Масса анализируемого слоя почвы в млн кг на 1 га для перевода питательных веществ из мг на 1 кг в кг/га, т.е. переводной коэффициент на массу слоя M_C , определяется по формуле

$$M_C = \frac{d \cdot h}{10}, \text{ что для данного примера составляет } M_C = \frac{1,05 \cdot 30}{10} = 3,15.$$

Для каштановой почвы и при орошении для нитратного азота используется слой определения 0–60 см при $d = 1,2$ г/см³ M_C составит 7,2.

Порядок определения дозы удобрения

1. Сравнение фактических данных по $N-NO_3$, P_2O_5 и K_2O с оптимальными показателями (25, 180, 180 мг/кг соответственно) свидетельствует, что растения пшеницы для уровня урожая зерна 40 ц/га не нуждаются в фосфорных и особенно калийных удобрениях и испытывают потребность только в азоте.

2. Определяется степень нуждаемости растений в азоте по уравнению

$$C_H N = \frac{\text{мг/кг } N-NO_3(\text{опт})}{\text{мг/кг } N-NO_3(\text{факт})} = \frac{25}{14} = 1,78,$$

$$\text{поправочная по фосфору } C_H N = \frac{P_2O_5 : N - NO_3(\text{факт})}{P_2O_5 : N - NO_3(\text{опт})} = \frac{182 : 14}{180 : 25} = \frac{12,9}{7,2} = 1,8.$$

$C_H N$ с поправкой на соотношение между K_2O и $N - NO_3$ из-за очень большого избытка обменного калия в почве достигает очень большой величины.

$$\text{поправочная по калию } C_H N = \frac{K_2O : N - NO_3(\text{факт})}{K_2O : N - NO_3(\text{опт})} = \frac{1176 : 14}{180 : 25} = \frac{84}{7,2} = 11,6.$$

Поэтому уравнивание азотного питания идет по большому избытку калия в почве, когда поправочная по калию превышает 3, C_H по фосфору составляет $(180:182) = 0,99$, а по калию $C_H = (180:1176) = 0,15$, т.е. нуждаемость в этих элементах отсутствует.

3. Определяется доза внесения азота в основном удобрении по формуле $D_N \text{ кг/га} = C_H \cdot M_H$, где $C_H = 1,8$, а минимальная доза (M_H) составляет 30 или 45 кг азота на 1 га, $H_N \text{ кг/га} = 1,8 \cdot 30 = 54$, $H_N \text{ кг/га} = 1,8 \cdot 45 = 81$.

Данные расчетные дозы, равные 54 и 81 кг азота на 1 га, почти совпадали с оптимальными дозами азота, выявленными в полевых опытах. Необходимость внесения фосфорных и калийных удобрений отсутствовала.

На основании многолетних исследований выполненных в Казахском агротехническом университете (КАТУ) В.Г.Черненко скорректировала для условий Северного Казахстана градацию почв по содержанию P_2O_5 (табл. 9.20).

9.20. Градация тёмно-каштановых и чернозёмных почв Северного Казахстана по содержанию P_2O_5 и эффективность фосфорных удобрений

Класс обеспеченности	Показатель обеспеченности	Содержание P_2O_5 в слое 0 - 20 см, мг/кг	Эффективность удобрений	Фактич. эффект от P_{60} , %, ср. за 12 полевых ротаций
I	Очень низкая	До 15	Очень высокая (30 - 50%)	-
II	Низкая	15 - 25	Высокая (20 - 30%)	24
III	Средняя	25 - 35	Средняя (10 - 20%)	13
IV	Повышенная	35 - 45	Низкая (5 - 10%)	6
V	Высокая	Более 45	Отсутствует	0

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

Экспериментально на основании корреляционного анализа была установлена количественная взаимосвязь между содержанием элементов питания в почве и продуктивностью культур, определены их оптимальные параметры для разных культур и предложен способ достижения (табл. 9.21).

9.21. Оптимальные уровни содержания элементов питания в почве для различных культур (В.Г. Черненко, 1993, 2009)

Культура	Содержание, мг/кг		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Пшеница	12 - 15	35	400
Ячмень	12 - 15	35	400
Овёс	10 - 12	28 - 30	400
Кукуруза	10 - 12	40	500
Просо ^х	10 - 12	40	360
Гречиха	10 - 12	30 - 32	400
Нут, горох	12 - 15	28 - 30	440
Рапс	15 - 18	30 - 32	-

Это позволило предложить принципиально новый и наиболее точный способ определения дефицита фосфора в почве и дозы удобрений для данной культуры по формуле оптимизации:

$$D_p \text{ кг д.в./ га} = (P_{\text{опт}} - P_{\text{факт}}) \cdot K,$$

где разность ($P_{\text{опт}} - P_{\text{факт}}$) показывает дефицит фосфора на данном поле в мг/кг почвы, а умножив на эквивалент « K » = 10 на зональных почвах, находим количество кг д.в. фосфорных удобрений, которое необходимо внести, чтобы ликвидировать дефицит и создать оптимальные условия питания фосфором для данной культуры на данном поле.

При расчёте доз удобрений в расчет следует включать нижний показатель оптимального уровня.

Если дефицит фосфора в почве очень высокий и не представляется возможным в один прием довести его содержание до оптимального уровня это можно сделать в несколько приемов, доводя на первом этапе до среднего уровня (25 мг/кг почвы).

Создание оптимального уровня позволяет культуре реализовать свои потенциальные возможности и формировать максимально возможный урожай в любых условиях увлажнения.

Оптимальный режим питания обеспечивает наиболее рациональный и экономный расход влаги на единицу продукции.

Так, при низком уровне питания в среднем за 20 лет коэффициент водопотребления составил 20 мм, при среднем – 12, а оптимальном всего 8 мм.

При высоком дефиците фосфора в почве, когда не представляется возможным в один прием довести содержание P_2O_5 до оптимального уровня можно определить дозу удобрений на определённую прибавку урожая, используя показатели таблицы 9.22.

По таблице можно определить какой урожай можно получить, зная содержание P_2O_5 в почве в зависимости от условий года;

Например: чтобы повысить урожайность на 5 ц надо повысить содержание фосфора в почве на 6 мг (5 ц · 1,2 мг P_2O_5), а для этого необходимо внести 60 кг д. в. удобрений (6 · 10).

9.22.Связь урожайности яровой пшеницы с содержанием P_2O_5 в почве (КАТУ,Черненко,1970-1990 гг.)

Содержание P_2O_5 , мг/кг почвы	Урожайность, ц/га в годы		
	Очень сухие	Средние	Влажные
10	3 - 4	7 - 8	10 - 12
15	5 - 6	10 - 12	17 - 20
20	6 - 7	14 - 16	22 - 25
25	8 - 9	17 - 20	28 - 30
30	10	21 - 25	33 - 37
35	11 - 12	25 - 30	38 - 40
Расход мг P_2O_5 на 1 ц урожая	3,0	1,2 - 1,4	0,8 - 1,2

РАСЧЁТ ДОЗ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Многолетними исследованиями (Черненко 1993,1997) установлены 4 основных фактора определяющих эффективность азотных удобрений: содержание азота нитратов в слое 0 - 40 см, содержание подвижного фосфора, их соотношение и условия увлажнения, установлена количественная взаимосвязь, что позволяет с высокой точностью определять потребность культур в удобрениях и гарантировать их эффективность.

С учетом этих факторов, установленных на основании корреляционного анализа отработана зональная шкала обеспеченности почв азотом, с учетом обеспеченности почв не только азотом, но и фосфором от которого зависит их эффективность (табл. 9.23).

Чтобы рассчитать дозу азота, необходимо знать содержание азота нитратов в почве в слое 0 - 40см, но если известно лишь содержание легкогидролизуемого азота (по Тюрину-Кононовой),

его показатель нужно перевести в азот нитратов ($N-NO_3$), умножив на установленное экспериментально корреляционное отношение – коэффициент 0,26. Для последующих культур после пара содержание $N-NO_3$ по средне многолетним данным снижается на 30 %.

9.23. Градация обеспеченности зерновых культур азотом, по содержанию $N-NO_3$ мг/кг почвы в слое 0 - 40 см (Черненко В.Г.)

Класс обеспеченности	Обеспеченность P_2O_5		Потребность в N удобрениях	Рекомендуемая доза N, кг д.в./га	Нормативная прибавка	
	Очень низкая - средняя	Средняя-высокая			ц/га	%
Очень низкая	До 4	До 6	Очень высокая	60	3 - 5	30 и >
Низкая	4 - 8	6 - 9	Высокая	45	2 - 3	20 - 30
Средняя	8 - 12	9 - 12	Средняя	30	1 - 2	10 - 20
Повыш. (оптим.)	12 - 15	12 - 15	Низкая	–	< 1	< 10
Высокая	> 15	> 15	Отсутст.	–	–	0

В градации практически 3 фактора, включая и соотношение элементов. Не учтен четвертый очень важный фактор – условия влагообеспеченности. Нормативные прибавки – это фактически сложившиеся за длительный период.

Ещё более точно дефицит азота в почве и потребность в азотных удобрениях можно рассчитать по формуле, учитывающей биологические особенности культуры, её требования к условиям азотного питания и содержание азота в почве $N-NO_3$ мг/кг в слое 0 - 40 см (Черненко В.Г)

$$D_{N \text{ кг д.в.}} = (N_{\text{опт}} - N_{\text{факт}}) \cdot K \cdot \text{ПКувл},$$

где: D_N – доза азотных удобрений, кг/га д.в.; $N_{\text{опт}}$ – оптимальное содержание азота нитратов в почве, мг/кг в слое 0 - 40 см (согласно таблицы 9.21); $N_{\text{факт}}$ – фактическое содержание $N-NO_3$; K – эквивалент кг д.в.удобрений 1 мг $N-NO_3$ почвы, равный 7,5 кг, это то количество кг N удобрений, которое необходимо внести, чтобы повысить содержание $N-NO_3$ в почве на 1 мг/кг .

Формула предполагает доведение и фосфора до оптимального уровня.

Но если содержание P_2O_5 в почве и после внесения фосфорных удобрений остается ниже оптимального, что легко определить, разделив дозу внесенного удобрения на 10 – (эквивалент затраты кг д.в. удобрений на увеличение фосфора в почве на 1 мг/кг и приплюсовать к фосфору почвы):

$$P \text{ мг/кг} = P_{\text{факт}} + D_p / 10, \text{ где } D_p \text{ – внесённая доза.}$$

В этом случае дозу азотных удобрений целесообразно рассчитать по формуле:

$$D_N = (1/3 R_{\text{факт}} - N_{\text{факт}}) \cdot K \cdot \text{ПКУвл},$$

где: $(1/3 R_{\text{факт}})$ дает показатель уровня $N-NO_3$ мг/кг до которого следует доводить азот обеспечивая оптимальное соотношение $P : N$, которое, как установлено, находится в пределах 2,5 - 3.

Например: в почве 15 мг P_2O_5 /кг почвы. Внесли 120 кг д. в. В итоге содержание P_2O_5 доведено до 27 мг $(15 + 120/10)$, т.е. оптимальный уровень по фосфору не достигнут, значит, не следует и азот доводить до 12 или 15 мг. Для 27 мг P_2O_5 оптимальное содержание $N-NO_3$ будет $27 : 3 = 9$ мг.

Это позволяет и при недостатке фосфора в почве сохранить оптимальное для растений соотношение между фосфором и азотом, что не менее важно, чем их количество и сэкономить на этом огромное количество удобрений и средств, исключив их непроизводительную трату, так как дефицит фосфора не позволит реализоваться полной дозе азота, рассчитанной на его доведение до оптимального. В этом заложена гарантия не только экономического эффекта, но и экологической безопасности внесенной дозы удобрения.

ПКУвл. – поправочный коэффициент

на увлажнение, рассчитывается по формуле:

$$\text{Кувл.} = \frac{\text{Оф}}{275},$$

где: Оф – осадки фактические (прогнозируемые) за сельскохозяйственный год; 275 – осадки нормативные, величина постоянная (средне многолетняя за период исследований).

Осадки фактические (прогнозируемые) рассчитываются на основании фактически выпавших за сентябрь - май месяцы плюс прогнозные на вегетационный период: если по прогнозу в июне осадки в пределах нормы прибавляется средняя многолетняя, выше прибавляется 1,5 нормы, ниже – 0,5 нормы.

ПКУвл. позволяет скорректировать нормативные показатели таблицы 9.23 и рассчитать дозу и прибавку от азотных удобрений для любого по увлажнению года в пределах зонального варьирования осадков, таблица 9.24.

Ответ на вопрос, сколько нужно внести и что можно получить, лежит на пересечении количества осадков и класса обеспеченности.

Этой таблицей можно руководствоваться для всех почв.

Ещё более точно прибавку можно определить по формуле:

$$П_N = 1,24 - 0,14 N-NO_3 + 1,62 \text{ПКУвл} + 0,06 P/N,$$

где: $П_N$ – прибавка от азотных удобрений; $N-NO_3$ – содержание в почве, мг/кг в слое 0 - 40 см; P/N – отношение фактического содержания P_2O_5 , мг/кг почвы в слое 0 - 20 см к $N-NO_3$, мг/кг в слое 0 - 40 см.

9.24. Дозы азотных удобрений и прибавки урожая (ц/га)
в зависимости от содержания N-NO₃ в почве и ПК увлажнения

Осад-ки за с.-х. год, мм	ПКувл ПКув	Обеспеченность азотом					
		Очень низкая		Низкая		Средняя	
		Доза N, кг д.в/га	Прибавка урожая	Доза N, кг д.в/га	Прибавка урожая	Доза N, кг д.в/га	Прибавка урожая
200	0,7	42	2,1 - 3,5	32	1,4 - 2,1	21	0,7 - 1,4
225	0,8	48	2,4 - 4,0	36	1,6 - 2,4	24	0,8 - 1,6
250	0,9	54	2,7 - 4,5	40	1,8 - 2,7	27	0,9 - 1,8
275	1,0	60	3,0 - 5,0	45	2,0 - 3,0	30	1,0 - 2,0
300	1,1	66	3,3 - 5,5	50	2,2 - 3,3	33	1,1 - 2,2
325	1,2	72	3,6 - 6,0	54	2,4 - 3,6	36	1,2 - 2,4
350	1,3	78	3,9 - 6,5	58	2,6 - 3,9	40	1,3 - 2,8
375	1,36	82	4,2 - 6,8	61	2,7 - 4,1	41	1,4 - 2,7

В условиях рыночных отношений очень важна не только экономия каждого кг удобрений, но не менее важно знать возможную прибавку урожая, с тем, чтобы еще до внесения удобрений, исходя из складывающихся цен на рынке определить, насколько этот приём будет экономически оправдан и решить – вносить или нет.

Корреляционный анализ показал высокую степень достоверности (r 0.93) прогноза эффективности азотных удобрений рассчитанный по приведенной формуле с учетом всех 4-х факторов, определяющих их эффективность.

В случае, если данных по азоту нет, следует исходить из общей закономерности изменения азотного режима почв в севообороте, принимая обеспеченность: I КПП – оптимальная, II КПП – средняя, III КПП – низкая, IV КПП – очень низкая; после пропашных - обеспеченность I культуры – средняя, II – низкая, III и последующих – очень низкая.

Доза удобрений в этом случае определяется по таблице 9.23 (зональная шкала) с поправкой на ПК увлажнения.

Изложенные способы оптимизации питания и расчёта потребности культур в удобрениях, с учетом её биологических особенностей и исходного содержания элемента на данном поле является принципиально новым, научно обоснованным, наиболее точным и приемлемым для системы точного земледелия. Он позволяет целенаправленно управлять плодородием почв и продуктивностью культур, создавая необходимый режим питания для реализации её потенциальных возможностей в складывающихся условиях, при высокой окупаемости затрат и экологической безопасности.

Все перечисленные методы оптимизации доз удобрений позволяют с достаточной объективностью прогнозировать величину и качество урожая основных сельскохозяйственных культур. Несмотря на это, они требуют совершенствования в плане комплексного подхода с учетом почвенной и растительной диагностики, условий выращивания культур, оценки урожая по количеству и качеству продукции, высокой агроэкономической окупаемости применяемых удобрений.

9.3. УДОБРЕНИЕ ЗЕРНОВЫХ, КРУПЯНЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР

УДОБРЕНИЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Озимая пшеница – одна из главных продовольственных культур. По посевным площадям она занимает первое место в мире, по валовому производству конкурирует с кукурузой и рисом!

Зерно озимой пшеницы – высококачественный питательный продукт, благодаря чему эта культура имеет значительный удельный вес в балансе производства зерна в России и других странах СНГ. Озимая пшеница по сравнению с яровыми колосовыми культурами обладает большими потенциальными возможностями, так как имеет более длительный вегетационный период и полнее использует влагу и питательные вещества из почвы. Успешно реализовать их можно в случае разработки оптимальной системы питания на основе теоретических исследований, вскрывающих сущность процессов формирования максимальных урожаев высококачественной продукции.

Потребность озимой пшеницы в питательных веществах для формирования урожая существенно изменяется в зависимости от региона возделывания, типа почвы, предшественника, системы удобрения, сорта, а также конкретных условий года. Расход на создание 1 т зерна с соответствующим количеством побочной продукции составляет: азота – 27 - 41; фосфора – 7 - 13; калия – 20 - 27 кг.

В процессе вегетации растений потребность в отдельных питательных веществах по фазам развития неодинакова. Если во все периоды роста потребность озимой пшеницы в элементах питания удовлетворяется в полной мере в соответствии с ее биологическими особенностями, то формируется высокий урожай.

Поступление азота в растения озимой пшеницы начинается с первых дней вегетации. Он стимулирует образование хорошо разветвленной сети корней, формирование узла кущения, образование боковых побегов, закладку конуса нарастания и его дифференциацию. При недостатке азота задерживается рост растений, формирование листового аппарата, репродуктивных и генеративных органов, закладывается небольшой колос

с меньшим количеством колосков и цветков, что приводит к череззернице. Недостаток азота в растениях в период формирования и налива зерна ухудшает его качество, приводит к снижению содержания в нём белка и клейковины.

Таким образом, по азоту у озимой пшеницы можно выделить два наиболее важных периода: усиленного потребления в начале вегетации и высокого уровня содержания в растениях во время налива зерна.

Избыточное несбалансированное питание на начальном этапе может вызвать излишнее кущение, а в дальнейшем перерастание, ухудшение закалки и перезимовки растений, затенение, полегание, нерациональное использование почвенной влаги, привести к повышению поражения растений болезнями, снижению урожая и качества зерна.

Фосфор играет существенную роль в азотном обмене в растениях, способствует равномерному появлению всходов, активизирует образование корневой системы, особенно длинных и тонких боковых корней. Оптимальное питание растений фосфором стимулирует процессы оплодотворения цветков, формирования и созревания зерна, ускоряет развитие растений, повышает зимостойкость растений. Потребление фосфора достаточно равномерное до наступления восковой спелости зерна.

Калий содержится в основном в молодых частях растений, где интенсивно протекают процессы синтеза органического вещества. От обеспеченности калием зависит азотный и фосфорный обмен в растениях. Высокая концентрация калия в клетках способствует увеличению морозостойкости пшеницы, уменьшению поражения болезнями, упрочнению соломины, повышению устойчивости к полеганию, а высокая подвижность калия обуславливает его передвижение из старых листьев в молодые. После цветения прочность связей калия с клеточными структурами ослабляется, и значительная часть его теряется вследствие вымывания из надземных органов и оттока в почву из корней.

Растение пшеницы начинает свое развитие с прорастания семени. При набухании зерновки усиливается деятельность ферментов. Под действием амилазы, мальтазы и инвертазы сложные безазотистые вещества – крахмал и дисахариды (мальтоза и сахароза) – превращаются в простые соединения, которые и используются зародышем зерна для роста. Протеолитические ферменты расщепляют белковые вещества семени до амидного азота и аминокислот, которые в свою очередь интенсивно расходуются на синтез белков и других сложных органических соединений в процессе роста молодого растения. Превращения азотистых веществ интенсивнее протекают при температуре 14-16°C. Важная роль в этих процессах принадлежит фосфорной кислоте. Она является не только источником энергии (АТФ), но и необходимым элементом в углеводном обмене, в накоплении сахаро-

фосфатов, нуклеиновых кислот (ДНК, РНК), в синтезе нуклеопротеидов и других сложных органических соединений, крайне необходимых при усилении ростовых процессов. Этим объясняется положительный эффект, который обычно наблюдается при внесении фосфорных удобрений в рядки при посеве озимой пшеницы.

При посеве в оптимальные сроки и своевременном появлении всходов, а также при достаточном содержании влаги и питательных веществ в почве фаза кущения у озимой пшеницы начинается через 15 дней. При благоприятных условиях кущение протекает главным образом осенью. При позднем сроке сева и на почвах с резким дефицитом влаги и элементов питания для растений кущение в основном или в значительной мере протекает весной.

Благоприятные водный и пищевой режимы почвы способствуют не только получению дружных и полноценных всходов, но и хорошему развитию озими в осенний период. Одновременно формируется и корневая система растений. С осени преобладающая масса корней сосредоточивается в 40-сантиметровом слое почвы. Однако на черноземах первичные корни озимой пшеницы к наступлению зимы проникают до 70 - 100 см, а вторичные – до 60 см. Иногда сеть вторичных корней уходит на глубину больше 1 м. Формирование корневой системы озимой пшеницы заканчивается к молочной спелости зерна. К этому времени она проникает в почву на глубину 1,5, а иногда и более 2,5 м.

Существенную роль в создании необходимых условий развития озими в осенний период играет наличие и оптимальное соотношение питательных веществ в почве перед ее посевом.

Лучшими предшественниками для озимой пшеницы являются чёрный пар, пласт люцерны и других многолетних бобовых трав. Затем следует эспарцет, злакособовые травосмеси на зеленую массу, зернобобовые, занятые пары с рано убираемыми культурами, картофель, ячмень, озимая пшеница, кукуруза на силос.

Качество предшественника определяется запасом доступной влаги в почве, который остается в почве после его уборки, длительность последующего периода до посева озимой пшеницы, эффективным плодородием почвы. Наиболее важный показатель обеспеченности почвы питательными веществами – содержание в ней доступного азота.

При посеве озимой пшеницы по чёрному пару в почве благодаря процессам аммонификации и нитрификации накапливается большое количество минеральных форм азота, особенно нитратов. В этом случае система удобрения разрабатывается таким образом, чтобы нейтрализовать избыточное одностороннее питание растений азотом, т.е. усиливается фосфорно-калийное питание. В связи с широким использованием занятых паров и непаровых предшественников под

озимые хлеба фактор оптимизации питания пшеницы приобретает особое значение уже в начале вегетации озими. При посеве озимой пшеницы по зерновым и особенно после поздно убираемых предшественников влажность почвы, как правило, низкая. Процессы минерализации послеуборочных остатков протекает медленно, невелика и длительность этого периода. Поэтому обеспеченность почвы минеральным азотом и в первую очередь наиболее подвижной его формой – нитратами слабая. Всходы растений на этих посевах имеют бледно-зелёную окраску, что свидетельствует о торможении процессов синтеза хлорофилла. Кушение резко снижается, а при сильном голодании пшеницы она совсем не кустится. Все жизненно важные процессы в таких растениях ослаблены, а при неблагоприятных условиях зимовки наблюдается большая их гибель, поэтому при разработке системы удобрения озимой пшеницы важно учитывать характер ее предшественников.

Уровень урожайности озимой пшеницы в значительной мере определяется запасами влаги в почве и интенсивностью поглощения питательных веществ в первой половине вегетации, которая зависит от предшественника и системы удобрения.

Было установлено, что при посеве озимой пшеницы по чистому пару, вико-овсяной смеси на сено и кукурузе на силос на типичном чернозёме в слое почвы 0 - 40 см продуцируется 180, 100 и 70 кг нитратного и аммонийного азота. (Никитишен, 1977). Содержание подвижного фосфора и обменного калия во всех случаях было в одних пределах. В метровом слое почвы запас доступной влаги по пару составил 138 мм, после вико-овсяной смеси и кукурузы 81 и 88 мм. Соответственно складывается уровень корневого питания озимой пшеницы.

Так потребление азота озимой пшеницей по чистому пару в кушение на контроле составило 40, по вико-овсяной смеси 20, по кукурузе 10 кг/га. При внесении оптимальной дозы удобрений оно увеличилось соответственно до 49, 35 и 28 кг/га или 47, 45 и 40% от содержания азота в растениях в фазу полной спелости.

В трубкование вынос азота по этим предшественникам составил уже 92, 74 и 54%. То есть при благоприятных условиях обеспеченности растений влагой и питательными веществами они создают почти весь необходимый запас азота в надземной части уже в фазу выход в трубку.

Темпы усвоения озимой пшеницей фосфора слабее. В кушение содержание фосфора в растениях на посевах по пару составило 8, по вико-овсу – 4, по кукурузе – 2 кг/га. Это 32, 28 и 9% от максимального содержания в течение вегетации. Под влиянием удобрений оно стало равным 35, 28 и 21%. К фазе выход в трубку степень поглощения фосфора по пару повысилась до 80-84, по вико-овсу до 45 - 76 и кукурузе до 32 - 57%. Даже в цветение потребление фосфора не

закончилось. По лучшим предшественникам при внесении удобрений оно составило 92 - 97 % от максимального, а по кукурузе лишь около 80%, и продолжилось до полной спелости.

Энергичнее всего на ранних этапах развития озимая пшеница поглощает калий. При сбалансированном питании по различным предшественникам в фазу выход в трубку в надземной массе пшеницы содержалось 80 - 150 кг калия, что в 1,2 - 1,4 раза больше, чем азота. Потребление достигло к этой фазе в основном максимума – 190 - 200% от содержания калия в конце вегетации. На таком уровне оно оставалось до цветения, а затем снизилось вдвое.

По данным ряда исследований, выполненных на чернозёмах обыкновенном и выщелоченном Северного Кавказа, в фазу выход в трубку озимая пшеница поглощает до 70% азота, 50% фосфора и 70 - 80% калия, а к колошению эти значения увеличиваются до 90 - 95, 80 - 85 и свыше 100%.

Динамика потребления элементов минерального питания и прирост надземной массы озимой пшеницы имеют большую сопряженность, однако интенсивность этих биологических процессов изменяется во времени неодинаково. До кущения формирование надземной биомассы протекает слабо, в фазе кущения интенсивность накопления сухого вещества возрастает, продолжая заметно отставать от темпов в потребления питательных веществ. В фазе выход в трубку растения накапливают 70 - 90 % и более элементов питания от их конечного содержания, в то время как сухая биомасса к этому времени не превышает 20 - 40% от максимальной.

Сопоставляя ход этих процессов в течение вегетации озимой пшеницы, можно выделить два периода: первый – всходы - начало трубкования, когда потребление питательных веществ значительно опережает синтез органических соединений в растениях, и второй – трубкование - полная спелость, когда растения начинают активно использовать накопленные ранее элементы питания в синтетических процессах.

Важнейшим критерием обеспеченности озимой пшеницы питательными веществами является содержание элементов питания в растениях на всех этапах и развития. Оптимальному уровню азотного питания озимой пшеницы соответствует содержание азота в процентах на сухое вещество: фаза кущения – 4,8 - 5,5, трубкование – 3,3 - 4,0, цветение (в листьях) – 3,6 - 3,9. Оптимальное содержание фосфора в эти фазы находится в пределах 0,8 - 1,3; 0,6 - 1,0 и 0,5 - 0,7%.

Система удобрения озимой пшеницы, как и любой другой культуры, складывается из трех приемов: *основного, припосевного внесения удобрения и подкормок.*

Основное удобрение, его дозы и соотношение элементов питания зависят в большей степени от предшественников, которые не только обуславливают пищевой режим почв и потребность в дифферен-

цированных дозах и соотношениях удобрений, но и в значительной мере режим влажности почвы. А это существенно влияет на осеннее развитие озими, перезимовку растений и урожай.

Непаровые предшественники в районах недостаточного увлажнения не обеспечивают оптимальных условий влажности в период сева. Например, в метровом слое почвы на чернозёмах обыкновенном и южном в Поволжье запасы влаги распределяются в следующем порядке: после черного пара – 100%, после кукурузы на силос – 65, после яровой пшеницы – 54, после проса – 50, после озимой пшеницы, подсолнечника, эспарцета – около 45, после житняка – 28%.

В восточной части Украины к моменту посева озимой пшеницы хорошее обеспечение влагой наблюдалось лишь раз в пять лет, удовлетворительное – один раз в 2 года. В северо-западной части украинских степей плохая влагообеспеченность пахотного слоя почвы по чистому пару бывает в 35 случаях из 100, по занятому пару и стерневым предшественникам – в 75, в южной степи – соответственно в 60, 90 и 98 случаях из 100. Таким образом, в этих условиях по непаровым предшественникам возможны частые случаи не только плохих всходов озимой пшеницы, но и гибель посевов при перезимовке. Это подтверждает необходимость ранней уборки парозанимающей культуры, с тем чтобы своевременно и хорошо подготовить почву под посев озими. Так, в условиях Воронежской области в среднем за 5 лет урожай озимой пшеницы после кукурузы, убранной в фазу выметывания метелки, составил 33,2 ц/га, в начале молочно-восковой спелости – 29,8, в конце молочно-восковой спелости – 22,2, а по чистому пару за эти годы – 36,3 ц/га.

Улучшение условий питания и водоснабжения озимой пшеницы достигается комплексом агротехнических мероприятий, в частности выбором предшественников, дифференцированной обработкой почвы, установлением оптимальных доз и соотношений удобрений, посевом в оптимальные сроки и т.д. Только правильное сочетание этих приемов агротехники позволит получать высокий урожай озимой пшеницы. Например, после многолетних бобовых трав почва обогащается азотом, но в то же время несколько обедняется подвижными формами фосфора и калия. Пропашные и зерновые колосовые предшественники, как правило, выносят значительное количество всех подвижных питательных веществ из почвы (особенно азота) и ухудшают условия посеянных после них озимых хлебов.

В южных районах, где период между уборкой предшественника и посевом озимой пшеницы 2-3 месяца, содержание почвы в виде полупара способствует накоплению в почве питательных веществ в подвижной форме, в том числе и минерального азота. В Нечернозёмной зоне и северной лесостепи, где период между уборкой пред-

шественика и посевом озими не превышает одного месяца, существенной мобилизации питательных веществ почвы не наблюдается. Эти обстоятельства необходимо учитывать при разработке системы удобрения озимой пшеницы в каждой почвенно-климатической зоне.

Азотные удобрения лучше всего действуют в районах с низким потенциальным плодородием почв и достаточным увлажнением, где осадки не лимитируют уровень урожая (дерново-подзолистые и серые лесные почвы), а период между уборкой предшественника и посевом крайне недостаточен для накопления в почве легкодоступных соединений азота за счет процессов аммонификации и нитрификации.

По мере усиления континентальности климата урожайность озимых хлебов лимитируются недостатком влаги в большей степени, так как уровень природного плодородия почв возрастает. В этом случае снижается эффективность азотных удобрений и повышается роль фосфора.

На мощных выщелоченных черноземах в предгорных районах с повышением естественного увлажнения возрастает и роль азотных удобрений. Но избыточное увлажнение и одностороннее повышение азотного питания приводят к перерастанию растений и накоплению большой вегетативной массы в ущерб продуктивной части урожая. Поэтому при избыточном или достаточном увлажнении особенно важно выдерживать правильное соотношение питательных веществ в удобрении и воздерживаться от применения повышенных доз азота.

Фосфорные удобрения имеют иные географические особенности влияния на урожайность озимых хлебов. На дерново-подзолистых почвах они хорошо действуют при правильном сочетании с азотными и калийными удобрениями. Влияние фосфора ослабевает на серых и тёмно-серых лесных почвах в связи с содержанием в них достаточного количества растворимых фосфатов и дефицитом минерального азота.

В лесостепных, особенно степных районах с недостаточным увлажнением наблюдается высокая положительная эффективность фосфорных удобрений, связанная с тем, что обыкновенные, южные и, особенно карбонатные черноземы отличаются низким содержанием доступных фосфатов. В этих условиях, даже при недостаточном увлажнении, фосфорные удобрения способствуют интенсивному развитию корневой системы озимых хлебов, что в дальнейшем ведет и к получению более высокого урожая пшеницы, и лучшему соотношению между зерном и соломой.

Роль калийных удобрений лучше всего проявляется на лёгких, а также на осушенных торфяно-болотных почвах. В целом районы эффективного действия калийных удобрений совпадают с районами максимального влияния азотных удобрений. Наиболее слабо отзываются озимые хлеба на калийные удобрения при возделывании на обыкновенном и южном чернозёмах. Однако калийные удобрения

в небольших дозах нужно вносить под озимую пшеницу во всех зонах, так как калий способствует повышению зимостойкости растений. В последние два десятилетия в связи с очень низким уровнем применения органики наблюдается тенденция уменьшения обеспеченности почв доступным калием и повышения эффективности калийных удобрений и на почвах южных регионов.

Оптимальными дозами минеральных удобрений под озимые хлеба в основном удобрении в каждой конкретной зоне устанавливается соотношение питательных веществ в почве, необходимое для растений. Обычно при посеве озимой пшеницы в естественных условиях оптимального соотношения питательных веществ не наблюдается. Если её предшественником был чистый пар, то в почве в процессе парования накапливается избыточное количество минеральных форм азота. Это может привести к неблагоприятным явлениям как при перезимовке растений, так и при дальнейшей вегетации. Чтобы смягчить отрицательное действие избыточного одностороннего питания пшеницы азотом и получать высокие урожаи по чистым парам, рекомендуется до посева ограничиться внесением только фосфорных или фосфорно-калийных удобрений.

При посеве озимой пшеницы после кукурузы на силос, повторно после озимой пшеницы, ячменя и других непаровых предшественников возникает необходимость до ее посева вносить наряду с фосфорно-калийными и азотные удобрения. В этих случаях в почве содержится малое количество минеральных форм азота, особенно нитратов, крайне необходимых для начального питания растений, что приводит к снижению эффективности фосфорно-калийных удобрений. Поэтому получить хороший урожай озимой пшеницы по этим предшественникам без азотных удобрений не представляется возможным.

Внесение небольших доз азота с осени необходимо при позднем севе для рано кустящихся сортов на бедных почвах, при посеве по предшественникам, сильно истощающим почву, или при высеве после зерновой культуры. При посеве озимой пшеницы после зернобобовых культур проявляется более высокое действие фосфорно-калийных удобрений. Это объясняется тем, что после уборки гороха и вики в почве остается больше усвояемых форм азота, чем после стерневого предшественника. Поэтому внесенные с удобрениями фосфор и калий лучше используются озимой пшеницей уже в осенний период. Однако ни горох, ни вика не обеспечивают пшеницу в достаточной мере азотным питанием, поэтому азот, внесенный с удобрениями, дает существенную прибавку урожая зерна. Зернобобовые культуры сами себя обеспечивают азотом путем фиксации его из атмосферы, но после их уборки остается небольшое количество азота,

особенно в минеральной форме. Поэтому внесение азотных удобрений под озимую пшеницу и в этих случаях бывает полезно.

При ранней уборке многолетних бобовых трав, особенно на сено, при благоприятной погоде в почве усиливается мобилизация азота. В процессе аммонификации и нитрификации накапливается достаточное количество минерального азота для озимой пшеницы. Признаков голодания от недостатка азота в этом случае на растениях не наблюдается. Урожай, как правило, получается не меньше, чем по чистому пару. При поздней уборке многолетних бобовых трав период от обработки почвы до посева пшеницы резко сокращается. Кроме того, при неблагоприятных условиях погоды (низкая температура, избыток влаги) процессы минерализации органических веществ в почве протекают весьма медленно. В таких случаях растения могут испытывать недостаток усвояемого азота и внесение небольших доз азотных удобрений в сочетании с фосфорно-калийными может оказаться весьма полезным. Это объясняется тем, что азот корневых остатков не успевает в достаточном количестве перейти в минеральную форму и потребляться растениями в начале вегетации.

Таким образом, в системе удобрения озимой пшеницы дозы и соотношения питательных веществ в основном внесении должны быть дифференцированными в зависимости от предшественников, обуславливающих пищевой режим почвы.

В различных зонах России и стран СНГ установлены оптимальные дозы основного удобрения под озимую пшеницу и определены размеры его эффективности. Примерные общие закономерности действия удобрений под озимую пшеницу в зональном аспекте следующие.

В Нечернозёмной зоне на светло-серых и серых лесостепных почвах внесение под озимую пшеницу после бобовых N40-60 P40-60 K40 обеспечивает увеличение урожая зерна до 10 ц. При размещении озимой пшеницы по небобовым предшественникам дозу азотного удобрения необходимо увеличить, однако нет необходимости полностью вносить её до посева. Более целесообразно эту часть азота перенести в подкормку.

В лесостепных районах при посеве озимых после занятых паров и непаровых предшественников (кукуруза на зерно и силос, картофель, подсолнечник, зерновые и др.), обедняющих почву подвижными формами азота, фосфора и калия необходимо внесение полного удобрения, в котором должны быть равноценные дозы всех основных элементов. После зернобобовых предшественников дозы азотных удобрений не должны превышать доз фосфорных и калийных во избежание снижения зимостойкости озимых.

При размещении озимых после многолетних бобовых трав и по чистому пару необходимость в азотном удобрении отпадает, по этим

предшественникам следует внести оптимальные для этой зоны дозы фосфорных и калийных удобрений.

На обыкновенном и южном черноземах озимая пшеница наиболее отзывчива на фосфорное удобрение, однако при размещении ее по непаровым и особенно стерновым предшественникам необходимо внесение азотного удобрения, доза которого не должна превышать дозу фосфорного.

Использование всего комплекса агротехники, а также внедрение в сельскохозяйственное производство новых высокопродуктивных неполегающих сортов требуют для создания высокого урожая применения повышенных доз удобрений. Все это приводит к ускорению темпов окультуривания почв. Опыты проведенные на чернозёме обыкновенном Западного Предкавказья. показали, что можно стабильно получать урожаи озимой пшеницы 5,5 - 6,0 т/га, на посевах после эспарцета и гороха при внесении минеральных удобрений в дозах $N_{40} P_{40}$, после озимой пшеницы – $N_{80-120} P_{60} K_{40-60}$, после кукурузы – $N_{120} P_{60} K_{40-60}$, после сахарной свеклы – $N_{80} P_{60} K_{60}$, после подсолнечника – $N_{100-150} P_{60} K_{60}$. Причем, по мере окультуривания почвы при внесении одних и тех же доз удобрений прибавки урожайности озимой пшеницы возрастали не только в абсолютном, но и в относительном выражении. Во второй ротации зернопропашного и зернотравяно-пропашного севооборотов они были больше, чем в первой на 6,4 - 36,7, а в третьей – на 16,3 - 38,8%.

При разработке системы удобрений озимой пшеницы в зональном аспекте существуют общие положения по внесению минеральных удобрений.

1. Фосфорно-калийные удобрения во всех зонах наибольший эффект дают при внесении всей дозы до посева под вспашку, предпосевную культивацию или дискование. Дозы удобрений определяются по методу оптимизации, изложенному в предшествующих главах.

2. Высокая эффективность азотных удобрений проявляется при детальном внесении в процессе вегетации озимой пшеницы, т.е. до посева и в период вегетации при подкормке. Жидкие азотные удобрения и кристаллические в основном приеме проявляют одинаковую эффективность. Общую годовую дозу азотного удобрения и в отдельные сроки устанавливают в соответствии с ранее изложенными методами оптимизации азотного питания растений. При этом особенно важно учитывать содержание минерального азота в почве, вид предшественника и степень его удобренности.

3. На бедных слабокультуренных почвах хороший эффект получается от применения органических удобрений. Навоз вносят в чёрном пару или после рано убираемого предшественника (вико-овсяная смесь на сено, озимая рожь или кукуруза на зеленый корм и др.).

Хорошим предшественником является сидеральный пар, т. е. самостоятельное зелёное удобрение. Положительное действие, особенно на легких почвах, проявляется от использования также одного из видов промежуточного зеленого удобрения (подсевного, пожнивного и др.).

4. При распределении удобрений в севообороте под озимую пшеницу лучше вносить минеральные удобрения, а навоз, компосты и другие виды органических удобрений более эффективны при внесении их под пропашные и другие интенсивные культуры севооборота. Такой принцип распределения удобрений в севообороте особенно необходимо учитывать в южной лесостепи и в степных районах, так как в этих условиях заплата навоза часто приводит к иссушению почвы, а если навоз запахан недостаточно перепревший, солоmistый - и к иммобилизации азота. Поэтому озимые в этих условиях часто высеваются после поверхностной обработки почвы.

5. При определении дозы и состава основного удобрения под озимую пшеницу важно учитывать их действие на зимостойкость растений, которая зависит от накопления с осени в растениях защитных веществ, прежде всего сахаров, биохимических и физиологических факторов обмена веществ (состояния протоплазмы, накопления гидрофильных коллоидов, свободных аминокислот, гидролиза белков и т.д.). Фосфорные и калийные удобрения способствуют большему накоплению сахаров и увеличению концентрации клеточного сока в растениях с осени, что и объясняет их высокое действие в основном внесении. Существенно улучшаются и другие физиолого-биохимические показатели зимостойкости растений.

6. Азот оказывает положительное действие на зимостойкость озимой пшеницы только при оптимальном соотношении с другими элементами питания, и прежде всего с фосфором и калием. Как избыточное одностороннее питание растений азотом, так и его недостаток отрицательно сказываются на накоплении сахаров в растениях с осени. В первом случае это связано с расходом их на синтез более сложных органических соединений при формировании большой массы растений, а во втором - с ослаблением процессов фотосинтеза и ослаблением в целом процессов роста и развития озимой пшеницы в осенний период. В последнем случае внесение азотных удобрений оптимизирует условия развития и усиливает зимостойкость растений. Поэтому при разработке систем удобрения озимой пшеницы важно знать конкретные условия ее возделывания в целях создания оптимальных соотношений питательных элементов. Во всех случаях нельзя допускать преобладания азота над фосфором и калием в почве в осенний период роста пшеницы, что подтверждается данными табл. 9.25.

9.25. Влияние удобрений на морозостойкость озимой пшеницы при изменении соотношения основных элементов питания (% гибели растений после промораживания в холодной камере) (по Задонцеву, Бондаренко)

Температура, °С	Без удобрения	Удобрение (количество питательных веществ в кг/га)				
		P ₄₅ K ₄₅	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	P ₁₈₀ K ₁₈₀	N ₄₅ P ₁₈₀ K ₁₈₀	N ₁₈₀ P ₉₀ K ₉₀
- 14	26	0	10	0	0	44
- 16	72	–	68	38	20	100
- 18	100	94	100	82	60	100

7. Важным приёмом в системе удобрения озимой пшеницы следует считать *припосевное внесение удобрений*, обеспечивающее растения достаточным количеством питательных веществ, особенно фосфором, в начальный период развития. Слабая корневая система озимых хлебов в начале роста не может извлечь достаточного количества фосфора из почвы. Поэтому фосфор, внесенный в рядки, меньше смешивается с почвой и быстрее проникает в корневую систему озими и в дальнейшем включается в процессы превращения питательных веществ семени, способствует усилению роста корневой системы и надземной массы растений, повышению содержания сахаров в осенний период, что в дальнейшем определяет устойчивость растений к неблагоприятным условиям зимовки.

Высокая эффективность местного внесения удобрений под озимую пшеницу объясняется еще и тем, что растения обеспечиваются питательными веществами в критический период начального роста. При этом удобрения размещаются в местах наибольшего их использования. Наиболее эффективным и проверенным практикой приемом припосевного удобрения во всех зонах страны является внесение двойного гранулированного суперфосфата в рядки с семенами при посеве. Фосфорная кислота слабо переходит в труднодоступную форму вследствие меньшего соприкосновения гранулированного удобрения с почвой. Внесение 10 кг/га P₂O₅ в рядки при посеве повышает урожай зерна в среднем на 2,5 - 3,0 ц/га. Прибавка урожая зерна от рядкового внесения удобрений колебалась от 1,9 ц/га на чернозёмах предкавказских и каштановых почвах до 3,6 ц/га на подзолистых суглинистых.

Его действие усиливается в сочетании с основным удобрением и подкормками. Снижение эффективности припосевного удобрения возможно при систематическом внесении повышенных доз фосфорных удобрений, при отсутствии достаточного количества в почве для питания растений других элементов, особенно азота. Поэтому оно более эффективно при посеве озимой пшеницы по чистому пару, после бобовых

многолетних трав, зернобобовых культур. Слабое действие суперфосфата при посеве озимой пшеницы после зерновых культур связано с большим дефицитом в почве минерального азота.

Сложные и комбинированные удобрения – аммофос, нитрофоска, нитроаммофоска и другие имеют преимущество перед суперфосфатом, на посевах пшеницы после стерневых предшественников, поздно убираемых культур, когда в почве содержится мало минерального азота, азот в основное удобрение не вносили и озимая пшеница в начале вегетации испытывает азотное голодание.

8. Дробное внесение азотных удобрений в процессе вегетации озимой пшеницы требует *проведения азотных подкормок* с целью повышения урожая и улучшения качества зерна, особенно его белковости. Общеизвестным приемом в системе удобрения озимой пшеницы в различных районах нашей страны является азотная ранняя весенняя подкормка. Средняя прибавка урожая зерна озимых от азотной подкормки составляет 3,0 - 3,5 ц/га, но во многих случаях достигает 6 - 8 и более ц/га.

Высокая эффективность ранней весенней подкормки озимых азотными удобрениями объясняется тем, что после перезимовки пшеница бывает ослабленной и требует повышенного количества азота для интенсивного отрастания и формирования надземной массы. Накопление же минеральных форм азота за счет мобилизации естественного плодородия почвы в этот период проходит слабо вследствие недостаточной микробиологической активности почвы. Низкая температура почвы и воздуха, повышенная влажность сдерживают процессы аммонификации и нитрификации. Кроме того, ранняя весенняя подкормка озимых азотными удобрениями способствует усиленному поступлению в растения фосфора из удобрений, поэтому этот приём дает всегда устойчивые прибавки урожая.

В географическом аспекте от почв дерново-подзолистой до почв степной и сухостепной зон действие ранней весенней азотной подкормки снижается, что можно объяснить, с одной стороны, более высокими естественными запасами азота в почвах степных районов, а с другой – недостатком влаги в южных земледельческих регионах. В этих зонах азотную подкормку озимой пшеницы вполне можно перенести с ранней весны на позднюю осень. Озимая пшеница к этому времени прекращает свой рост, так как наступают устойчивые холода. Действие же удобрений, внесенных под зиму, проявляется с самой ранней весны. Если в осенне-зимний период почва оттаивает, то питательные вещества распределяются в верхнем слое. Потери питательных веществ удобрений, внесенных на суглинистых почвах под зиму, как правило, не наблюдаются. Подкормка озимой пшеницы в данный срок имеет

организационные преимущества. Однако от подкормки озимых поздней осенью следует воздержаться на почвах легкого гранулометрического состава, на полях с неровным рельефом, на склонах, где возможен смыв удобрений в пониженные участки полей зимой во время оттепели или весной с тальми водами. В этих случаях больший эффект следует ожидать от подкормки озимой пшеницы ранней весной.

В условиях достаточного увлажнения, на легких почвах в дерново-подзолистой зоне весеннее внесение удобрений через 15 - 20 дней после схода снега, т.е. в начале вегетации растений, даже несколько повышает урожай в сравнении с внесением азотных удобрений по мерзлой почве. Это, по-видимому, связано с тем, что азот, внесенный в ранние сроки, с током воды при оттаивании почвы вымывается и не используется растением. Азот же, внесенный в более поздние сроки, проникает под влиянием осадков на меньшую глубину в пределах пахотного слоя и используется растениями в большей степени. О положительном действии подкормки пшеницы азотом весной в начале вегетации свидетельствуют данные табл. 9.26.

9.26. Сравнительная эффективность подкормки озимых рано весной и в начале вегетации

Гранулометрический состав почвы	Фон	Урожай фона, ц/га	Прибавки от азота при внесении весной, ц/га		Число опытов
			по мёрзлой почве	в начале вегетации (+5°)	
Дерново-подзолистые супесчаные и легкосуглинистые	РК	19,1	5,5	5,9	8
	РК + навоз	24,1	2,4	3,1	8
Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые и серые лесные	РК	35,4	10,3	10,0	5

На дерново-подзолистых почвах среднего и тяжёлого гранулометрического состава и серых лесных почвах азот, внесённый в начале вегетации, в среднем примерно так же эффективен, как и при внесении по мерзлой почве. Однако в отдельные годы, когда после схода снега устанавливается сухая теплая погода (явление, нередкое в Нечернозёмной полосе), прибавка от азота может быть значительно снижена. Поэтому на почвах тяжелого гранулометрического состава и в Нечернозёмной зоне, так же как и в районах лесостепи и степи, азотную подкормку весной желательнее проводить сразу после схода снега.

В ряде районов страны используют прием так называемой *прикорневой подкормки*. Проводят ее с помощью обычных зерновых и зернотуковых сеялок, имеющих дисковые сошники. Азотные удобрения засыпают в зерновой ящик сеялки и вносят лентами поперек рядков

растений на глубину 4 - 5 см. Дисковые сошники укладывают удобрения во влагообеспеченный слой почвы и рыхлят почву. Одновременно производится боронование посевов. Для этого к сеялке прицепляют средние или тяжелые бороны. Прикорневую подкормку проводят, когда почва достаточно подсохнет и тракторный агрегат не повреждает колесами растения пшеницы и не оставляет глубокой колеи.

При влажной и затяжной весне более эффективна ранняя азотная подкормка по мёрзло-талой почве, поскольку сроки проведения прикорневой подкормки затягиваются из-за высокой влажности почвы. При ранней дружной весне проявляется существенное преимущество последней.

Важным моментом при определении дозы азота в подкормку является состояние растений – густота стеблестоя и содержание азота в сухом веществе. При концентрации азота в 3,6 - 4,0% и увеличении густоты растений с 300 до 450 шт/м² доза повышается с 60 до 80 кг/га, а при содержании азота в 4,4% подкормка необходима только при максимальной густоте растений и лишь дозой 30 кг/га.

Для подкормки озимых можно использовать все формы азотных удобрений (аммиачную селитру, сульфат аммония, КАС, мочевину и др.). При этом в подкормку весной лучше применять аммиачную селитру, а осенью - аммиачные формы удобрений, так как аммоний меньше мигрирует по профилю почвы по сравнению с нитратами, а следовательно, и меньше теряется за осенне-зимний период. Мочевину следует применять только прикорневым способом.

Для подкормки озимой пшеницы должны быть максимально использованы местные, прежде всего органические удобрения (навозная жижа, птичий помет).

Навозная жижа – ценное азотно-калийное удобрение с содержанием азота 0,2 - 0,3% и окиси калия 0,4 - 0,5%. Вносят ее по 4 т/га. Предварительно жижу разбавляют в 2 - 3 раза водой, что снижает потери азота и предохраняет растения от ожогов. Внесенную жижу немедленно заделывают боронованием. Прибавки от подкормки жижей составляют 5 ц/га и более.

Помёт домашней птицы в сухом веществе содержит примерно 3% азота, такое же количество фосфорной кислоты и до 2% оксида калия. Вносить его лучше в сухом виде в дозе 4 - 6 ц/га.

Удобрения играют важную роль в *улучшении качества пшениц*. При этом для получения высококачественных пшениц с повышенным содержанием белка в зерне особое значение имеет *дробное внесение азотных удобрений*. В понятие «качество пшеницы» входит более двух десятков признаков, которые характеризуют химический состав зерна, т.е. содержание в нем белков, крахмала, клетчатки, растворимых

углеводов, жиров, зольных элементов и т.д., а также хлебопекарные и технологические свойства муки. Все эти показатели взаимосвязаны и определяют питательную ценность и качество изделий, приготовленных из пшеничной муки.

Наиболее важное значение из физических показателей уделяется натуре, стекловидности и массе 1000 зёрен.

Натура – масса 1 литра зерна, выраженная в граммах. Она даёт достаточно надежное представление о выполненности зерна, характеризует его мукомольное достоинство. Нормальная натура зерна около 800 г, высокая – 850 г. Из зерна с высокой натурой отмечается больший выход муки, так как в нем больше эндосперма и естественно меньше оболочек.

Масса 1000 зёрен – показатель, характеризующий выполненность зерна. Он колеблется в пределах 20 - 50 г в зависимости от вида и сорта пшеницы, условий ее выращивания.

Стекловидность характеризует консистенцию зерна. Стекловидные зерна отличаются *высокой белковостью*. Мука из такого зерна имеет хорошие хлебопекарные качества.

Белки – наиболее ценная часть пшеничного зерна, поэтому содержание и состав белка в пшенице являются важнейшими показателями его качества. В практике довольно часто качество зерна единицы оценивают по содержанию клейковины, которая представляет собой белковый студень, полученный при отмывании водой теста из пшеничной муки. Обычно между содержанием белка и клейковины в нормально развитом и созревшем зерне пшеницы существует прямая связь.

Высокое содержание клейковины, хорошие её физические свойства не только повышают питательную ценность хлебных изделий, но и являются основным условием высоких хлебопекарных качеств муки. При содержании в зерне 14 - 16% белка и не менее 28 - 30% клейковины с высокими физическими свойствами обычно выпекается хлеб с хорошей пористостью и высоким объёмным выходом.

Белковость зерна и качество хлебной продукции тесно связаны с углеводным комплексом зерна, главным представителем которого является крахмал. При оценке питательной ценности и технологических свойств пшеницы важное значение имеет содержание в зерне сахаров, клетчатки, зольных макро- и микроэлементов, за счет последних в основном удовлетворяется потребность организма человека в минеральных веществах.

При оценке хлебопекарных свойств зерна большое значение придается определению *силы муки – способности муки образовывать тесто, обладающее после замеса, брожения и расстойки определенными физическими свойствами.*

Основные показатели качества зерна приведены в табл. 9.27. Высокие требования предъявляются к качеству сильных пшениц, отличающихся высокой упругостью и растяжимостью теста. Эти пшеницы используются при хлебопечении для улучшения слабых пшениц, из которых без добавления улучшителя невозможно выпечь хлеб удовлетворительного качества.

9.27. Основные показатели качества зерна пшеницы (по ГОСТу*)

Показатели	Сильная пшеница	Слабая пшеница
Содержание сырого белка, %	14	11
Стекловидность, %	70	40
Содержание клейковины, %	28	25
Качество клейковины (не ниже)	1	11
Разжижение теста по форинографу, е.ф.	80	150
Сила муки, е.а.	не менее 280	200
Объемный выход хлеба на 100 г муки с сахаром, мл	500	400

* Разработаны ВНИИЗ, ВНИИХП, Госкомиссией по сортоиспытанию, Экспортхлебом.

Современные технологии возделывания пшениц с использованием рациональных систем удобрения, обеспечивающих оптимизацию питания растений, позволяют в любой почвенно-климатической зоне получать зерно, отвечающее требованиям, предъявляемым к сильным пшеницам. Имеются два пути улучшения качества пшениц: селекционный и агротехнический, направленный на создание оптимальных условий питания пшеницы в процессе всей жизни. Для получения высокобелковых пшениц особое значение в технологиях возделывания пшениц, которые получили название «интенсивные», придается оптимизации азотного удобрения.

Например, Всероссийский институт химизации рекомендует определять необходимость и дозы азота в ранних весенних подкормках озимой пшеницы по содержанию нитратного азота в 40-сантиметровом слое почвы (табл. 9.28).

При содержании азота в листьях растений ниже оптимального уровня рекомендуется провести азотную подкормку твердыми азотными удобрениями или их растворами в дозе N₃₀₋₄₀ по технологической колее в период фазы выхода растений в трубку. Обычно эту подкормку совмещают с обработкой посевов ретардантами (ТУР) и пестицидами.

В период колошение-цветение - налив зерна также контролируют содержание азота в растениях в целях определения необходимости проведения некорневой азотной подкормки и ее дозы. Для этого

проводят листовую диагностику – определение общего азота в трёх верхних листьях.

9.28. Диагностика доз азота в подкормке озимой пшеницы рано весной по содержанию в почве $N - NO_3$

Содержание $N-NO_3$ в мг/кг почвы (слой 0 - 40 см)	Дозы азота при подкормке, кг/га	Примечание
< 5	30 + 30	1. При $N-NO_3 < 5$ рекомендуется провести подкормку поздно осенью и рано весной 2. Вместо ранней весенней подкормки азотом после схода снега можно провести корневую ЖКУ
5 - 10	45	
10 - 15	30	
> 15	не требуется	

В Краснодарском крае потребность озимой пшеницы в азотной подкормке определяют по шкале, предложенной Леплявченко Л.Н. и др. (табл. 9.29).

9.29. Определение необходимости проведения и доз некорневой азотной подкормки по результатам листовой диагностики

Содержание общего азота в листьях, % на сухое вещество		Доза азота, кг/га
Колошение – начало цветения	Конец цветения – начало формирования зерновки	
<3,0	< 2,0	60 (30 + 30)
3,1 - 3,5	2,1 - 2,5	40
3,6 - 4,0	2,6 - 3,0	30
4,1 - 4,5	3,1 - 3,5	20
> 4,5	> 3,5	0

Некорневые подкормки пшеницы растворами мочевины или плава (мочевина + аммиачная селитра) во второй половине вегетации, в фазы колошение-начало налива зерна, проводятся наземной техникой по технологической колее, если высота хлебостоя позволяет, или с помощью сельскохозяйственной авиации.

Удобрение озимой пшеницы в условиях орошения (Казахстан)

Среди зерновых колосовых культур в Южном и Юго-Восточном Казахстане озимая пшеница получила наибольшее распространение. Обилие тепла и света, наличие значительных площадей орошаемых земель, выдвигают эту ценную зерновую культуру в разряд наиболее перспективных.

В условиях орошения при соблюдении научно-обоснованной технологии возделывания озимая пшеница способна формировать высокие урожаи конкурентоспособного по качеству зерна. Установлено, что урожаем зерна 55 - 60 ц/га и соответствующего количества соломы она отчуждает с каждого гектара посевов до 200 - 215 кг азота, 60 - 68 кг фосфора и 130 - 150 кг калия, то есть предъявляет повышенные требования к почвенному плодородию.

В начале кушения, когда формируется вегетативная масса растений, особенно необходимы азотные удобрения. Своевременными азотными подкормками можно усилить продуктивность кушения. Чем благоприятнее условия для ростовых процессов в период массового кушения – начала трубкования, тем крупнее закладывается колос и тем выше урожай. Если упустить этот важный период, то эффективность последующей азотной подкормки будет значительно ниже. Дозы удобрений должны быть строго дифференцированы в зависимости от типов почв, предшественников, уровней планируемых урожаев.

На основании многолетних исследований, проведенных на различных типах почв, по различным предшественникам с учетом планируемого уровня урожаев рекомендуются следующие дозы азотных удобрений (табл. 9.30).

9.30. Рекомендуемые дозы азотных удобрений под озимую пшеницу в зависимости от типов почв, предшественников и планируемых уровней урожаев, кг д.в./га
(данные Казахского НИИ земледелия и растениеводства)

Предшественники	Планируемый уровень урожая, ц/га								
	почва светло-каштановая			почва лугово-серозёмная			обыкновенный серозём		
	35 - 40	40 - 50	50 - 60	35 - 40	40 - 50	50 - 60	35 - 40	40 - 50	50 - 60
Пласт люцерны	30	45	60	45	60	90	60	75	100
Пропашные, зерновые колосовые	60	90	120	60	90	120	90	120	150

На почвах легкого гранулометрического состава, где имеется большая вероятность потерь азота удобрений, наиболее эффективно дробное их внесение, особенно высоких доз в два или три приема: под предпосевную культивацию (после влагозарядкового полива) – N_{60} ; в ранневесеннюю подкормку – N_{60-90} ; позднюю некорневую подкормку – N_{30} .

При посеве люцерны под покров озимой пшеницы следует иметь в виду, что внесение повышенных доз азотных удобрений под озимую пшеницу приводит к угнетению люцерны и снижению ее урожайности.

Одной из проблем при возделывании озимой пшеницы в условиях орошения является ухудшение качества зерна. Поэтому основной приём повышения содержания протеина и клейковины в зерне пшеницы – подкормка культуры в фазе колошение - начало налива зерна 20% раствором мочевины.

Существенное влияние на эффективность минеральных удобрений оказывают погодные условия весны (март, апрель). В холодные ($< +5^{\circ}\text{C}$) и влажные (200 мм и более осадков) весны, когда интенсивность процессов нитрификации в почве снижается, резко возрастает эффективность азотных удобрений. Азотное голодание в период активного роста и развития, закладки и формирования репродуктивных органов озимой пшеницы приводит к снижению урожая и ухудшению качества зерна.

Лучшей формой азотного удобрения при внесении под предпосевную культивацию является мочевины и сульфат аммония, в ранневесеннюю подкормку – мочевины и аммиачная селитра, в позднюю некорневую подкормку – мочевины, которая при соблюдении рекомендуемой концентрации не вызывает ожогов листьев.

Эффективность фосфорных и калийных удобрений определяется обеспеченностью почв подвижными формами фосфора и калия. Оптимальные условия для получения стабильно высоких урожаев зерна (55 - 60 ц/га) с содержанием протеина не ниже 14,5% создаются при содержании подвижного фосфора в пределах 30 - 35 мг/кг и обменного калия 350 мг/кг почвы. Поэтому дозы фосфорных и калийных удобрений необходимо дифференцировать в соответствии с обеспеченностью почвы подвижным фосфором и обменным калием (таблица 9.31).

9.31. Рекомендуемые дозы фосфорных и калийных удобрений под озимую пшеницу в зависимости от планируемого урожая и обеспеченности почвы фосфором и калием

Степень обеспеченности почвы	Содержание, мг/кг		Планируемый уровень урожая, ц/га							
	P ₂ O ₅	K ₂ O	30-35		35-40		40-50		50-60	
			Дозы удобрений, кг д.в./га							
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Низкая	< 15	< 200	45	45	60	45	90	60	120	90
Средняя	16 - 30	201-300	20	30	30	-	45	45	60	60
Высокая	> 30	> 300	-	-	-	-	-	-	30	30

На почвах с низким содержанием подвижного фосфора эффективно внесение части фосфорного удобрения (10 - 15 кг) в рядки при посеве, так как в этот период растения озимой пшеницы очень нуждаются в фосфорном питании, тогда как потребность в азотном и калийном

питании удовлетворяется за счет запасов семени. Рядковое удобрение озимых фосфорными удобрениями на слабо обеспеченных подвижным фосфором почвах – важный агротехнический прием, способствующий повышению устойчивости растений к перезимовке повышению урожайности и окупаемости туков.

Остальную часть фосфорных удобрений, вместе с калийными, необходимо вносить под основную обработку почвы. Фосфорные удобрения при недостаточной обеспеченности почв подвижным фосфором устойчиво повышают урожай во все годы.

В сухие (<90 мм осадков) весны при среднесуточной температуре за март-апрель выше 10°C подвижность почвенных фосфатов снижается. Эффект от фосфорных удобрений в такие годы значительно повышается. Своевременное применение удобрений позволяет снизить отрицательное влияние погодных условий на рост и развитие озимой пшеницы.

Лучшие формы фосфорных удобрений – простой, двойной и аммонизированный суперфосфат. Из сложных – аммофос, аммофосфат, нитроаммофос. Лучшие формы калийных удобрений – хлористый и сернокислый калий, калийная соль.

УДОБРЕНИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Из яровых зерновых культур наибольшее народнохозяйственное значение имеет **яровая пшеница**. Она занимает большие площади пахотных земель в Поволжье, на Урале, в Сибири и других районах России. Это основная зерновая культура Казахстана.

Потенциальная потребность яровой пшеницы в питательных веществах высокая. На создание 1 т зерна и соответствующего ему количества соломы яровая пшеница использует в зависимости от условий выращивания и уровня урожайности от 29 до 46 кг азота, 8 - 13 кг P_2O_5 и 17 - 32 K_2O .

Яровая пшеница имеет более короткий вегетационный период по сравнению с озимой, поэтому в период интенсивного поступления питательных веществ суточная потребность яровой пшеницы в одних и тех же элементах в 2 - 2,5 раза больше, чем у озимой пшеницы. От начала выхода в трубку до колошения яровая пшеница потребляет примерно 2/3 всего количества азота и зольных элементов.

Обычно яровая пшеница прекращает усваивать азот из почвы перед фазой молочной спелости, а в отдельных случаях (в условиях достаточно хорошего увлажнения) перед наливом зерна. Накопление фосфора продолжается до полного созревания. Поглощение калия пшеницей заканчивается значительно раньше, чем азота и фосфора. Уже к фазе цветения (или колошения) установлен максимум

накопления калия в растениях на выщелоченном черноземе и на обыкновенном чернозёме при поливе.

В первые фазы роста поступление азота и зольных элементов значительно опережает накопление органического вещества (табл. 9.32). В период от появления всходов до конца кущения их поглощается меньше, чем в последующие фазы развития растений. Но именно в самом начале вегетации пшеница накапливает максимальное количество элементов на единицу биомассы: к кущению 43 - 46 мг N, 7 - 9 мг P₂O₅ и 54 - 55 мг K₂O на 1 г органического вещества. В дальнейшем это соотношение снижается в 2-3 раза.

9.32. Поглощение азота, фосфора и калия яровой пшеницей в различные фазы роста

Фазы развития	% от максимального количества			
	органической массы	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Кущение	4,6	19,6	3,3	25,4
Выход в трубку	12,4	44,8	34,7	42,1
Колошение	62,1	97,6	100,0	100,0

По этой причине в ранний период развития яровая пшеница весьма чувствительна к недостатку питательных веществ, особенно фосфора. Отрицательное влияние недостатка фосфора на данном этапе не устраняется последующим его внесением и вызывает снижение урожая зерна.

Яровая пшеница сильно реагирует на азот в период от начала кущения до трубкования, когда формируются придаточные стебли, узловые корни, колоски и цветки в зачаточном колосе. Недостаток в фосфорном питании пшеница испытывает раньше, чем в азотном. На дополнительное внесение фосфорных удобрений она отзывается еще до фазы кущения. Если пшеница хорошо обеспечена фосфором до колошения, то урожай ее не снижается даже в том случае, когда в более поздние фазы фосфорные удобрения не применяют. Но отрицательный эффект от недостатка фосфора в начале вегетации невозможно устранить последующим его применением. Калий интенсивно поступает в растения с первых дней роста, поэтому необходима хорошая обеспеченность почвы калием к началу вегетации. Калий участвует в передвижении углеводов из ассимилирующих органов в зерно, поэтому повышение уровня калийного питания ведет к увеличению абсолютной массы зерна.

Зерновые и поздние пропашные предшественники яровой пшеницы значительно истощают запасы питательных веществ почвы.

Короткая же осень и условия этого периода и ранней весны не благоприятствуют мобилизации питательных веществ в осенний и ранний весенний периоды. Поэтому яровая пшеница весьма отзывчива на удобрения, прежде всего на азотные, в районах Нечернозёмной полосы, северной лесостепи и орошаемого земледелия. На выщелоченном и мощном обыкновенном черноземе без полива азотные удобрения действуют слабее что, по-видимому, объясняется достаточным запасом подвижного азота в почве в самые начальные периоды вегетации, когда происходят закладка и дифференциация колоса.

Внесение избыточного количества калия весной до посева (особенно хлористых калийных удобрений) резко повышает концентрацию почвенного раствора, которая губительно действует на молодые проростки яровой пшеницы и снижает ее продуктивность. Избежать этого позволяет внесение калийных удобрений осенью под вспашку.

Высокие дозы азотных и калийных удобрений, особенно при мелкой их заделке весной, повышают осмотическое давление в почвенном растворе того слоя, в который они внесены. В результате возможны частичная гибель всходов и резкое уменьшение подачи в растения воды и питательных веществ.

Действие удобрений на урожай яровой пшеницы существенно зависит от климатических условий, типа почвы, гранулометрического состава, доз, способов внесения удобрений и предшествующих культур.

Существуют *географические особенности действия минеральных удобрений на яровую пшеницу.*

В районах Нечерноземной полосы и северной части лесостепи урожай яровой пшеницы чаще всего зависит от обеспечения её азотом в основном удобрении. Действие в этих районах фосфора и калия часто выражается невысокими и неустойчивыми прибавками урожая зерна. Прибавки от азотного удобрения на фоне РК составляют здесь 3 - 6 ц/га, а общий прирост зерна от NPK колеблется в пределах от 5 до 8 ц/га.

На черноземах и каштановых почвах северной части степных районов юга и юго-востока страны, главным удобрением является фосфорное. Азотные и калийные удобрения в этих районах действуют слабо, но во влажные годы эффект от азота существенно повышается.

В Зауралье на выщелоченных черноземах яровая пшеница, размещаемая по непаровым небобовым предшественникам, хорошо отзывается на внесение азота.

В Восточной Сибири действие удобрений на яровую пшеницу также определяется климатическими особенностями, типом почвы, предшественниками и др.

В степных засушливых районах эффективность удобрений заметно снижается, а в районах достаточного увлажнения действие их заметно возрастает. В орошаемых условиях на чернозёмах обыкновенных, выщелоченных, южных и особенно каштановых почвах азотное удобрение в сочетании с фосфорным и часто с калийным дает высокий эффект. Общая прибавка урожая зерна яровой пшеницы от полного минерального удобрения в этих условиях достигает 8 - 10 ц/га и выше.

Результаты обобщенных опытов Географической сети с яровой пшеницей показывают, что оптимальные дозы азота под эту культуру находятся в пределах от 60 до 120 кг/га, фосфора – от 40 до 90, калия – от 0 до 30 - 60 кг/га. На дерново-подзолистых и супесчаных почвах Беларуси оптимальные дозы калия могут достигать 110 - 140 кг/га.

Варьирование доз помимо других причин (плодородие почв и уровень агротехники) обусловлено в значительной степени предшественником. При размещении яровых колосовых по пласту и обороту пласта многолетних бобовых трав дозы азота составляют 40 - 60 кг/га, по колосовым предшественникам – 90 - 120 кг/га. Следовательно, география действия удобрений на урожай яровой пшеницы сложна и многообразна. Порядок минимумов питательных элементов и величины прибавок урожая, получаемые от удобрений, тесно связаны с условиями увлажнения, плодородием почв, температурными режимами, существенно влияющими на микробиологическую деятельность, а следовательно, и на мобилизацию питательных веществ почвы.

Условия увлажнения и теплообеспеченность особенно сильно влияют на эффективность азотных удобрений (табл. 9.33). В европейской части России от районов распространения дерново-подзолистых почв к лесостепной, степной и сухостепной зонам ухудшаются условия увлажнения, возрастает теплообеспеченность, что приводит к снижению действия азотных удобрений.

Аналогичное влияние проявляется и в районах Сибири. Кроме увлажнения и теплообеспеченности существенное влияние на эффективность азотных удобрений оказывает активность биологических процессов в почве, и в частности нитрификации. Теплый климат с продолжительным вегетационным периодом приводит к накоплению в почве значительного количества нитратного азота, что снижает эффективность азотных удобрений. Повышенная отзывчивость яровой пшеницы на азот отмечается при слабых процессах нитратонакопления в почве.

9.33. Влияние азотных удобрений на урожай яровой пшеницы на разных почвах европейской территории

Почвы	Осадки за год, мм	Период с $t > 10^{\circ}\text{C}$		Прибавка урожая от азота*, ц/га	Урожай по НРК, ц/га	Число лет учёта
		ГТК	сумма t , $^{\circ}\text{C}$			
Дерново-подзолистые	500 - 800	1,3 - 1,5	1600 - 2400	8,6	26,5	15
Серые лесные	400 - 600	1,1 - 1,4	2000 - 2400	5,4	26,7	15
Выщелоченные чернозёмы	400 - 600	1,0 - 1,2	2100 - 2800	3,4	28,6	12
Обыкновенные и южные черноземы	300 - 400	0,6 - 1,1	2400 - 3300	1,5	18,4	11
Каштановые	250 - 350	0,5	2500 - 3600	1,1	14,8	6

* На дерново-подзолистых, серых лесных почвах и выщелоченных чернозёмах прибавки урожая от N_{60} , в остальных случаях – от N_{30-40} на фоне РК.

Особые условия складываются в восточных районах с распространением длительной сезонной мерзлоты, которая в лесостепной, степной и сухостепной зонах оказывает многостороннее влияние на развитие сельскохозяйственных культур. Здесь небольшой корнеобитаемый объем почвы, слабая биологическая активность процессов, протекающих в ней, и пополнение в процессе вегетации водного баланса при оттаивании почвы повышают эффективность удобрений, особенно азотных. Степень гумусированности почв также определяет потребность пшеницы в азоте, которая бывает наибольшей в южно-таежной лесной зоне, где почвы имеют наименьшее количество гумуса.

Существует довольно тесная взаимосвязь между обеспеченностью почв фосфором и эффективностью азотных удобрений. Чем лучше почвы обеспечены фосфором, тем эффективнее действует азот.

Для основных районов Сибири, как уже отмечалось, почвенная диагностика потребности в азотных удобрениях базируется на содержании нитратов в почве весной. С учетом пестроты почвенных и климатических особенностей земледельческих районов Сибири разработан ряд модификаций шкалы содержания нитратов в почве, приспособленных к местным условиям (табл. 9.34).

Существенно дифференцируются и шкалы потребности в фосфорных удобрениях, разработанные по содержанию подвижного фосфора на местном экспериментальном материале (табл. 9.35). В основных районах возделывания яровой пшеницы в минимуме бывает азот или фосфор. Калий, как правило, действует слабее.

В табл. 9.36 приводятся градации эффективности азотных удобрений по прибавкам урожая.

9.34. Потребность зерновых культур в азотных удобрениях в зависимости от содержания в почве N – NO₃ весной перед посевом

Потребность в азотных удобрениях	N – NO ₃ , мг/кг почвы				
	серые лесные почвы, Тюменская обл.	чернозём, Омская и Новосибирская обл.	серые лесные почвы, Омская обл.	выщелоченные чернозёмы, Красноярский край	серые лесные почвы, Иркутская обл.
Очень сильная	0 - 6	0 - 5	-	-	-
Сильная	6 - 12	6 - 10	0 - 7	< 12	< 7
Средняя	12 - 18	11 - 15	7 - 13	12 - 19	7 - 13
Слабая	18 - 24	-	13 - 17	19 - 27	13 - 19
Отсутствует	> 24	> 15	> 17	> 27	
Глубина отбора образца почвы, см	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 20	0 - 30

9.35. Обеспеченность почв Западной Сибири подвижным фосфором, мг P₂O₅ на 100 г почвы, применительно к зерновым культурам

Содержание P ₂ O ₅	Шкала (некарбонатные чернозёмы)	Область, почвы					Алтайский край, зона		
		Челябинская	Тюменская		Омская	Новосибирская	степная	лесостепная	предгорная
			выщелоченные чернозёмы	чернозёмы					
Очень низкое	0 - 2	-	< 2	-	-	< 5	< 5	< 7	< 8
Низкое	2 - 5	< 3	2 - 7	< 3	< 10	5 - 15	5 - 10	7 - 14	8 - 18
Среднее	5 - 10	3 - 5	7 - 10	3 - 9	10 - 20	15 - 20	10 - 15	14 - 20	18 - 24
Повышенное	10 - 15	-	-	-	-	20	-	-	-
Высокое	15 - 20	> 5	> 10	> 9	20 - 30	-	15 - 20	20 - 26	24 - 32
Очень высокое	> 20	-	-	-	-	-	> 20	> 26	> 32

Существенное влияние на эффективность удобрений оказывают агротехнические факторы, особенно предшественники. Яровая пшеница, размещаемая по пару, обычно хорошо обеспечена азотом, поэтому азотные удобрения не повышают урожай. В то же время в Восточной Сибири азотные удобрения были довольно эффективны и при посеве яровой пшеницы по пару. Это объясняется как бедностью почв гумусом, так и температурным режимом: позднее оттаивание и раннее промерзание пахотного слоя значительно сокращают период активной микробиологической деятельности и накопления нитратов в пару.

9.36. Градации эффективности азотных удобрений, внесенных под яровую пшеницу

Эффективность азота	Доза N ₆₀		Рассчитанные по окупаемости прибавки от N в дозах, ц/га			
	прибавки урожая	окупаемость 1 кг N прибавкой зерна, кг	30	40	80	90
Очень низкая	< 1,5	< 2,5	< 0,7	< 1,0	< 2,0	< 2,2
Низкая	1,5 - 3,0	2,5 - 5,0	0,7 - 1,5	1,0 - 2,0	2,0 - 4,0	2,2 - 4,5
Средняя	3,1 - 4,5	5,1 - 7,5	1,6 - 2,2	2,1 - 3,0	4,1 - 6,0	4,6 - 6,8
Повышенная	4,6 - 6,0	7,6 - 10,0	2,3 - 3,0	3,1 - 4,0	6,1 - 8,0	6,9 - 9,0
Высокая	6,1 - 8,0	10,1 - 13,3	3,1 - 4,0	4,1 - 5,3	8,1 - 10,7	9,1 - 12,0
Очень высокая	>8	>13,3	>4,0	>5,3	>10,7	>12,0

Бобовые предшественники также значительно ослабляют действие азота. В то же время кукуруза и яровая пшеница выносят из почвы значительное количество азота, и при размещении яровой пшеницы после них эффективность азота бывает высокой. Кроме этого, яровая пшеница по-разному реагирует на азотные удобрения в зависимости от сроков уборки предшествующей культуры. Например, после поздноубираемых предшественников потребность пшеницы в удобрениях, особенно азотных, значительно возрастает по сравнению с раноубираемыми предшественниками (ранний картофель).

Эффективное действие на яровую пшеницу, особенно в районах Сибири и Дальнего Востока, оказывает навоз. В этих зонах на дерново-подзолистых, серых лесных, луговых почвах и на выщелоченном черноземе прибавки урожая зерна яровой пшеницы составляют в среднем 5 - 8 ц/га. В большинстве же районов южной лесостепи и в степной зоне из-за недостатка влаги прибавки зерна от применения навоза получаются значительно меньшими. В этом случае навоз лучше вносить под предшествующую пропашную культуру, а яровая пшеница хорошо использует его последствие.

Органические, а также фосфорные и калийные удобрения лучше вносить с осени и заделывать при основной обработке почвы. Особенно важно это в районах недостаточного и неустойчивого увлажнения. В Северном Казахстане в связи с системой почвозащитной обработки почвы орудиями плоскорезного типа может быть достигнута более высокая эффективность фосфорных удобрений при внесении их с помощью специального приспособления к плоскорезу-глубококорылителю, чем при поверхностном их внесении.

Весеннее внесение основного удобрения под культиватор может иметь преимущество перед осенним на очень легких (супесчаных и песчаных) почвах или на крутых склонах, где возможно вымывание или смыв заделанных с осени удобрений, на почвах с близким залеганием грунтовых вод, дренированных почвах в условиях орошения и на всех почвах в районах с большим избытком влаги весной и летом. Основное удобрение хорошо сочетать с рядковым, так как молодые растения в начале роста, когда корневая система их слабо развита, испытывают недостаток в пище. Такой метод двухслойного внесения удобрений наибольшее значение имеет в районах достаточного увлажнения и на поливных землях.

В начале развития яровая пшеница требует больше фосфора и меньше азота и калия, поэтому внесение гранулированного суперфосфата при посеве обеспечивает преобладание фосфора в питании пшеницы над азотом и калием. Кроме того, местное внесение высокорастворимых азотных и калийных удобрений создает повышенную концентрацию почвенного раствора в зоне молодых проростков, которая угнетает их рост, особенно в сухие годы. Высокая эффективность малых доз гранулированного суперфосфата, внесенного при посеве яровой пшеницы, установлена для многих районов нашей страны.

Хорошо зарекомендовала себя в орошаемом земледелии подкормка. В неполивном земледелии только в районах высокого и устойчивого увлажнения, и прежде всего в северо-западных областях России, под яровую пшеницу можно рекомендовать подкормку азотными удобрениями. Однако в этих условиях при сухой весне (май - июнь) подкормка аммиачной селитрой часто менее эффективна, чем допосевное ее внесение под культивацию.

В центральных и восточных районах Нечерноземной полосы, в лесостепных и степных районах России азотная подкормка часто неэффективна. Везде в этих районах более устойчивое действие на яровую пшеницу оказывают азотные удобрения при внесении до посева.

Фосфорные и калийные удобрения в подкормке во всех районах неполивного земледелия менее эффективны, чем при основном внесении на орошении. Эти удобрения можно вносить в подкормку при четырех-пяти поливах, а во влажные годы – при трех. При меньшем числе поливов фосфорные и калийные удобрения нужно вносить только перед посевом и во время посева в рядки.

Для оптимизации удобрения яровой пшеницы можно использовать те же системы расчетов по азоту, фосфору и калию, как и под озимую пшеницу. Если такая методика для конкретного региона

не разработана, то с учетом биологических особенностей питания яровой пшеницы и данных полевых опытов можно рекомендовать под нее примерные дозы удобрений (табл. 9.37). Эти дозы удобрений могут корректироваться с учётом конкретных условий выращивания яровой пшеницы, ее вида и сорта, предшествующей удобренности и т.д.

9.37. Примерные дозы минеральных удобрений под яровую пшеницу (в кг питательных веществ на 1 га)

Район, почвы	Под вспашку			В рядки P ₂ O ₅	В подкормку N
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
Северо-Западный Нечернозёмной полосы; дерново-подзолистые	60	40	40	10	30
Центральный Нечернозёмной полосы; дерново-подзолистые и серые лесные	60	40	40	10	–
Северные области лесостепи: серые лесные, оподзоленные выщелоченные чернозёмы	40 - 60	40	40	10	–
Центральные области лесостепи: выщелоченные и мощные чернозёмы	40	40	30	10	–
Степные районы юга и юго-востока; южные чернозёмы и каштановые при орошении	60 - 90	60	30 - 40	10	30
То же в условиях засоления	40 - 60	40	–	10	30
Обыкновенные и предкавказские черноземы при орошении	60 - 90	60 - 80	30 - 40	10	30
Степные районы, чернозёмы и каштановые почвы без орошения	–	40	–	10	–
То же после поздно убранных предшественников и дождливой осени	40	40 - 60	–	10	–
Во всех районах при ограниченных ресурсах удобрений	–	–	–	10	–

Определение оптимальных доз и соотношений минеральных удобрений под пшеницу должно учитывать также наличие навоза в системе удобрения. При сочетании минеральных удобрений с навозом (вносимым непосредственно под яровую пшеницу или под предшественник) значительно ослабляется действие фосфорных и калийных удобрений и сохраняется на высоком уровне действие азотных удобрений на почвах, нуждающихся в азоте. Поэтому при внесении под пшеницу навоза можно значительно сократить дозы фосфорных и калийных удобрений, но не следует сильно снижать дозу азотных удобрений.

За последние годы все шире применяется дополнительное внесение азотных удобрений под яровую пшеницу, как и под озимую, главным образом в целях повышения белковости зерна. Проводят эту подкормку в фазы колошения или цветения, когда идут процессы

синтеза белков в зерне за счет реутилизации азотных соединений из вегетативных частей растений. Этот прием эффективен и способствует существенному повышению содержания белка и клейковины, улучшается химический состав зерна.

Методы и приемы, которые применяются на озимой пшенице для повышения качества зерна, вполне пригодны и для яровой пшеницы (дробное внесение азота в условиях орошения, некорневая подкормка по методу листовой диагностики и др.). Вопросы эти достаточно изучены в зональном аспекте. Из данных табл. 9.38 видно, что установлена зависимость между содержанием азота в верхних листьях в период колошение-цветение и количеством белка в зерне, потребностью в азотной подкормке и целесообразностью её проведения.

9.38. Определение потребности мягкой яровой пшеницы в некорневой подкормке в зависимости от содержания азота в верхних листьях в фазе колошения - цветения

Азот в листьях в фазе колошения - цветения, %	Коэффициент перевода азота листьев в азот зерна	Предполагаемое содержание в зерне, %		Потребность в дополнительном азотном удобрении	Целесообразность проведения некорневой подкормки	Вероятность получения сильной пшеницы с учетом некорневой подкормки
		белка	сырой клейковины			
2,0	1,0	11,4	24,0	очень высокая	нецелесообразно	отсутствует
2,0 - 2,5	0,9	11,4 - 12,8	24,0 - 26,8	высокая	нецелесообразно	слабая
2,5 - 3,0	0,8	12,8 - 13,6	26,8 - 28,5	повышенная	наиболее целесообразно	средняя
3,0 - 3,5	0,75	13,6 - 14,9	28,5 - 31,3	средняя	целесообразно	высокая
3,5 - 4,0	0,70	14,9 - 15,9	31,3 - 33,4	слабая	целесообразно	высокая
4,0 - 4,5	0,65	15,9 - 16,6	33,4 - 34,8	отсутствует	нецелесообразно	высокая

За последние годы все шире применяется дополнительное внесение азотных удобрений под яровую пшеницу, как и под озимую, главным образом в целях повышения белковости зерна. Проводят эту подкормку в фазы колошения или цветения, когда идут процессы синтеза белков в зерне за счет реутилизации азотных соединений из вегетативных частей растений. Этот прием эффективен и способствует существенному повышению содержания белка и клейковины, улучшается химический состав зерна.

Кроме этого, рекомендуется использовать метеорологические данные. Например, при гидротермическом коэффициенте (ГТК) менее 0,4 урожай яровой пшеницы бывает низким, а качество зерна почти всегда высоким: содержание белка 14 - 17%, сырой клейковины – 28 - 34%. В этом случае проводить листовую диагностику и некорневые подкормки нецелесообразно. Наиболее эффективен этот прием при ГТК в период от всходов до колошения пшеницы 0,8 - 1,4. ГТК определяется по формуле

$$\text{ГТК} = \frac{\sum \text{осадков} \cdot 10}{\sum t^{\circ\text{C}}}$$

С применением методики диагностики питания яровой пшеницы и удобрений с учетом конкретных местных условий за последние годы значительно увеличивается доля производства высокобелковых сильных пшениц в общем валовом сборе зерна.

ОСОБЕННОСТИ УДОБРЕНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ

Озимая рожь занимает немалый удельный вес в балансе зерновых культур. Среди злаковых хлебов *озимая рожь* является *менее требовательной культурой к почве и климатическим условиям*. Рожь можно рассматривать как растение умеренно холодного климата. Она сильно кустится и развивает корневую систему осенью, довольно быстро трогается в рост весной, что позволяет растениям интенсивно использовать влагу, накопившуюся в почве в период осенних дождей и весеннего таяния снега.

Рожь дает сравнительно высокие и устойчивые урожаи на лёгких почвах и успешно переносит временные засушливые периоды. Эта культура переносит кислотность почвы, но может произрастать также и на слабощелочных почвах. Однако на урожае ржи отрицательно сказывается сильноокислая реакция среды. Поскольку рожь размещается в основном в зоне дерново-подзолистых почв с повышенной кислотностью, то известкование почв под этой культурой является одним из мероприятий для повышения ее урожая.

Прорастание озимой ржи начинается при температуре 1 - 2° (оптимальная 25°C). Количество воды, необходимое для набухания и прорастания – примерно 55% массы абсолютно сухого зерна. При прорастании зерен ржи (как и пшеницы) протекают сложные химические процессы, в результате которых усиливается деятельность ферментов, переводящих сложные органические соединения – крахмал, некоторые белки, жиры и другие вещества – в формы, используемые проростком. При благоприятных условиях всходы ржи появляются на 6 - 9-й день. Кущение озимой ржи протекает

в основном осенью, но продолжается и весной, особенно когда она холодная и затяжная. Всходы уже с осени имеют хорошо развитую корневую систему (при оптимальных условиях осеннего роста), которая с самой ранней весны начинает использовать питательные вещества почвы, поэтому озимая рожь быстро и энергично развивается. Этому благоприятствует и способность её к значительному накоплению с осени растворимых углеводов и использованию их ранней весной для весеннего кущения и усиленного роста.

Зачаточный стебель и зачаточный колос у озимой ржи закладывается еще с осени в фазу кущения растений. Дальнейшее формирование колоса протекает ранней весной. В этот период особенно отрицательно сказывается недостаток азотного питания, что приводит к уменьшению колоса, числа колосков. При избыточном азотном питании не только увеличивается размер колоса, но и затягивается его формирование. Достаточная обеспеченность фосфором способствует ускорению формирования колоса и благоприятно сказывается на его озернённости.

Рожь – культура малотребовательная к почвам. Она может расти и на верховых, и на низинных торфяно-болотных почвах, на песчаных и на тяжелых глинистых почвах, поэтому эту культуру успешно возделывают как на подзолистых почвах севера, так и на южных черноземах. Наиболее широкое распространение озимая рожь получила, в Нечерноземной зоне с подзолистыми, болотными и песчаными почвами.

Озимая рожь – самая холодостойкая культура среди зерновых хлебов. К низким температурам она малочувствительна, и в малоснежные зимы лучшие сорта способны переносить морозы 25-35°C. Она более морозостойка, чем озимая пшеница. Как и у пшеницы, холодостойкость растений зависит от наличия защитных веществ, способствующих увеличению количества связанной воды, состояния протоплазмы клеток, количества гидрофильных коллоидов, осмотического давления клеточного сока, от степени гидролиза белков и т.д.

Внесение калийных и фосфорных удобрений приводит к повышению морозостойкости растений. Кроме того, фосфорно-калийные удобрения способствуют накоплению сахаров в растении, так как при недостатке калия повышается интенсивность дыхания, а следовательно, увеличивается и расход сахаров. Калий и фосфор повышают водоудерживающую способность коллоидов протоплазмы и стойкость белковых соединений. Озимая рожь имеет мощную корневую систему, способную проникать с осени на большую глубину и более полно использовать питательные вещества. Кроме этого,

корневая система ржи обладает способностью лучше других зерновых культур усваивать питательные вещества из трудно-растворимых соединений, например фосфор из фосфоритов. Однако озимая рожь, как и пшеница, требует нормального обеспечения фосфором уже в начале роста, что способствует получению сильных и здоровых всходов, хорошему развитию корневой системы, а также улучшает использование азота.

При значительном недостатке фосфора в почве рост ржи резко ухудшается, наблюдается скручивание листьев, образование на них фиолетово-красных пятен, а затем растения отмирают. Рожь поглощает фосфор равномерно на протяжении всего периода вегетации.

Эта культура потребляет сравнительно большое количество азота с самого начала роста и развития. Однако особенно повышенная потребность в азоте отмечается рано весной, когда процессы нитрификации в почве протекают слабо, а он для растения в этот период особенно необходим. Слабая отзывчивость на азотные удобрения у озимой ржи с осени наблюдается в случае размещения ее по чистому пару, а также на хорошо окультуренных почвах, когда под предшествующую культуру внесено достаточное количество удобрений. На мало окультуренных почвах, так же как и на бедных песчаных, озимая рожь с осени нуждается в азотных удобрениях. Это особенно заметно в северных районах, где в связи с низкими температурами микробиологическая деятельность в почве прекращается рано осенью, а возобновляется поздно весной. В подобных условиях растения испытывают недостаток в азотном питании осенью и ранней весной. Аналогичная потребность в азоте часто наблюдается у ржи в других районах ее возделывания при размещении по занятым парам и непаровым предшественникам.

Озимая рожь является культурой, средне реагирующей на внесение калийных удобрений. При обеспечении потребности ржи в калии развиваются более сильные растения, имеющие прочные, менее склонные к полеганию стебли. Недостаток калия приводит к ослаблению ассимиляционной деятельности растений, замедлению оттока пластических веществ из листьев к растущим органам растений. Одновременно увеличивается расход углеводов на процесс дыхания. Значительный недостаток в снабжении калием с осени приводит к ослаблению энергии кушения растений, к формированию стеблей со слабым развитием механических тканей и ослаблению их устойчивости к полеганию. Растения при этом становятся значительно более доступными поражению грибными болезнями. Особенно большое значение имеет применение калийных удобрений на песчаных почвах.

Таким образом, несколько повышенное фосфорно-калийное и умеренное, но удовлетворяющее потребности растений азотное питание озимой ржи с осени является важным условием для получения высоких урожаев. Это приводит к повышению устойчивости растений к холоду и другим неблагоприятным условиям осенне-зимнего и ранневесеннего периодов, снижает процент гибели растения от выпирания и выпревания.

Максимум потребления питательных веществ (до 70%) приходится на фазы кущения и выхода в трубку. В этот период происходит не только интенсивный рост вегетативной массы растений, но также закладка и формирование колоса. Поэтому озимая рожь осенью и ранней весной должна быть обеспечена всеми элементами питания.

На бедных почвах озимая рожь может испытывать нужду в магнии, кальции, железе, меди, марганце, боре и др. Эта потребность бывает неодинаковой в зависимости от зоны ее возделывания.

Насколько значительный эффект может быть получен от магниевых удобрений на супесчаных и песчаных почвах, подтверждают данные опытов Люберецкого опытного поля. Здесь на подзолистой песчаной почве в среднем за 10 лет при применении сернокислого магния на фоне NPK урожай озимой ржи повысился на 11,1 ц/га. Потребность в магниевых удобрениях возрастает при систематическом внесении аммонийных удобрений, которые подкисляют почву и способствуют вымыванию из почвы значительного количества магния.

Учитывая, что рожь часто возделывается на бедных почвах, внесение удобрений имеет большое значение для повышения ее урожайности, что чаще всего происходит за счет повышения продуктивной кустистости, увеличения размера колоса, лучшей его озерненности и увеличения размеров и массы зёрен. На формирование 1 т зерна рожь потребляет в среднем 20 - 35 кг азота, 10 - 15 кг P_2O_5 и 20 - 30 кг K_2O .

Об *эффективности удобрения озимой ржи в различных почвенно-климатических зонах* свидетельствуют данные Географической сети опытов ВИУА (ВНИИА), которые позволяют заключить, что применение полного минерального удобрения $N_{60}P_{40-60}K_{40}$ на окультуренных почвах Нечерноземной полосы обеспечивает получение прибавок урожая зерна озимой ржи в 7,0 - 8,0 ц/га. Подобная эффективность сохраняется в Волго-Вятском, Уральском, Центральном, Центральночернозёмном и Поволжском районах, где имеются благоприятные условия увлажнения. В Белоруссии применение $N_{100-130}P_{40-70}K_{50-90}$ позволяет увеличить урожайность озимой ржи на 20 - 30 ц/га.

Под озимую рожь можно вносить как минеральные, так и органические удобрения. Из органических используют навоз, навозную жижу, птичий помет, зеленые удобрения, различные компосты. Поскольку озимая рожь размещается главным образом в Нечернозёмной полосе с бедными суглинистыми и супесчаными почвами, то все местные удобрения существенно повышают ее урожай. В северных областях Нечерноземной зоны рекомендуются дозы навоза 20 - 40 т/га, а в южных, менее обеспеченных осадками – 15 - 20 т/га. При посеве ржи по занятым парам его лучше вносить под парозанимающую культуру. Хороший результат получается при компостировании навоза с фосфоритной мукой (1 т навоза и 20 - 30 кг фосфоритной муки). Такую смесь можно использовать и без предварительного компостирования. В среднем внесение непосредственно под озимую рожь навоза или хорошо приготовленных торфо-навозных и других компостов в дозах 20 - 30 т/га обеспечивает прибавку урожая зерна: в зоне дерново-подзолистых почв – 6 - 8 ц/га, в лесостепной зоне на серых лесных, оподзоленных и выщелоченных черноземах – 4 - 6, в степных районах России и Украины на чернозёмах – 2 - 4 ц/га.

Зелёное удобрение на легких супесчаных почвах по эффективности часто не уступает навозу. Для заправки на зеленое удобрение используют однолетний и многолетний люпины, сераделлу, донник и др. Прибавка урожая озимой ржи от зеленого удобрения составляет 8 - 10 ц/га. Особенно широко оно применяется в Смоленской, Брянской областях, в Беларуси, в Полесье Украины и т.д.

Положительные результаты часто получают при рациональном совместном использовании органических и минеральных удобрений. При этом улучшается зимостойкость ржи и повышается урожай зерна.

По данным института почвоведения и агрохимии Беларуси на дерново-подзолистых и супесчаных почвах наиболее эффективна органо-минеральная система удобрения ржи (табл. 9.39).

Эффективность удобрений заметно возрастает на окультуренных почвах (оптимальная реакция среды, повышенное содержание гумуса, насыщение севооборота органическими удобрениями и т.д.). Урожай озимой ржи тесно связан с рН почвы, содержанием подвижного фосфора и калия в почве, количеством осадков за период интенсивного роста ржи (май-июль) и дозами азотных, фосфорных и калийных удобрений. Так, на сильноокислых почвах (рН 4,5) при содержании подвижного фосфора 6 - 7 мг на 100 г почвы был получен максимальный урожай зерна; дальнейшее увеличение содержания фосфора в почве урожай не повышало. На почвах, рН которых

выше 6,5, урожай озимой ржи повышался с увеличением содержания фосфора до 15 мг на 100 г почвы.

Эффективность азотных удобрений находится в зависимости от рН почвы, содержания подвижного фосфора и калия.

9.39. Дозы минеральных удобрений* под озимую рожь на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных на морене почвах

Удобрения, кг/га д.в.	Содержание P ₂ O ₅ и K ₂ O ₅ мг/кг почвы	Планируемая урожайность (зерно), ц/га			
		31 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 70
Азотные	—	80 - 100	100 - 120	120 - 130	130 - 140**
Фосфорные	Менее 100	70 - 90	X	X	X
	101 - 150	60 - 70	X	X	X
	151 - 200	40 - 60	60 - 70	X	X
	201 - 300	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 75
	301 - 400	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35
Калийные	Менее 80	80 - 100	X	X	X
	81 - 140	60 - 80	X	X	X
	141 - 200	50 - 70	70 - 90	X	X
	201 - 300	40 - 50	50 - 70	70 - 90	90 - 110
	301 - 400	30 - 35	35 - 40	40 - 45	45 - 50

*На фоне внесения 30-40 т/га органических удобрений

**На фоне ретардантов

Например, окупаемость 1 кг азота при дозе 90 кг/га на почвах с рН 5,0 и очень низким содержанием фосфора составляет 15,0 кг со средним содержанием фосфора – 20,3, а на почвах с высоким содержанием фосфора – 26,0 кг зерна ржи.

Оптимальное количество осадков в мае и июне для озимой ржи при ее возделывании на почвах с низким содержанием подвижного фосфора составляет 70 - 80 мм, а на почвах с высоким содержанием – 110 - 120 мм. Урожай озимых хлебов и эффективность удобрений зависят от количества осадков, выпавших в сентябре. Наиболее высокий урожай и максимальная окупаемость удобрения наблюдается при количестве осадков в сентябре свыше 60 мм. Недостаточное увлажнение в сентябре снижает урожай озимых культур на 5 - 10 ц/га (табл. 9.40). Однако избыток влаги в поздний осенний период до наступления устойчивых морозов ухудшает аэрацию почвы и приводит к вымыванию растворимых питательных веществ. Уже в октябре-декабре эффективность азотных удобрений находится в обратной корреляционной связи с количеством выпавших осадков. Поэтому при

выпадении свыше 200 мм осадков на дерново-подзолистых суглинистых почвах и свыше 150 мм на супесчаных рекомендуется увеличивать дозы азотных удобрений при подкормке ржи.

Комплексные удобрения, как и на других культурах, примерно одинаково эффективны по сравнению со смесями простых туков. Это относится как к твердым, так и жидким комплексным удобрениям. Отмечается преимущество локального внесения сложных удобрений и смесей перед разбросным. За счет ленточного внесения удобрений урожайность зерна увеличивалась на 3,0 ц/га.

Внесение гранулированного суперфосфата в рядки при посеве ржи должно быть обязательным агроприёмом, при этом эффект получается примерно такой же, как и на озимой пшенице. Добавление азота к суперфосфату часто дает положительные результаты при посеве озимой ржи по занятым парам и непаровым предшественникам. Чем беднее фон по содержанию минеральных форм азота перед посевом ржи, тем больший эффект будет получен от внесения азота в рядки при посеве.

9.40. Урожай озимой ржи и эффективность минеральных удобрений в зависимости от осадков, выпавших за сентябрь (опыты Географической сети и агрохимслужбы Белоруссии)

Дерново-подзолистые почвы	Осадки, мм	Без удобрений		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	
		урожай зерна, ц/га	прибавка урожая от осадков	урожай зерна, ц/га	прибавка урожая от осадков
На суглинках (99 опытов)	менее 20	11,9	—	19,1	—
	21 - 40	14,2	2,3	22,1	3,0
	41 - 60	17,2	5,3	24,6	5,5
	более 60	16,5	4,6	29,5	10,4
На супесях, подстилаемых моренными суглинками (71 опыт)	менее 20	10,7	—	17,0	—
	21 - 40	11,7	1,0	19,8	2,8
	41 - 60	14,3	3,6	21,5	4,5
	более 60	14,9	4,2	23,0	11,0

Подкормка. Озимая рожь трогается в рост рано весной. Микробиологическая деятельность в почве в это время развивается еще слабо, и мобилизация азота недостаточна для обеспечения возрастающей потребности в нем растений. Поэтому внесение под рожь небольших доз азота ранней весной дает хорошие результаты. Даже при хорошей заправке удобрениями пара часто получают высокий эффект от подкормки ржи азотом.

Весенняя подкормка азотом наиболее эффективна при высокой агротехнике. Чем выше урожай без подкормки, тем больше на этом фоне прибавка урожая от подкормки.

Азотные удобрения под озимую рожь, как и под пшеницу, вносятся дробно в течение вегетационного периода с использованием тех же методов комплексной почвенно-растительной диагностики азотного питания растений, за исключением поздних подкормок в фазы колошения-цветения, которые для ржи нецелесообразны.

Всю дозу фосфорных и калийных удобрений, как и при удобрении озимой пшеницы, необходимо вносить один раз до посева озимой ржи, в подкормке они менее эффективны. Положительный результат от неё возможен, если по каким-либо причинам удобрения не удалось внести до посева.

Качество зерна ржи определяется содержанием *крахмала, белка, аминокислотным составом*, особенно накоплением таких аминокислот, как лизин, метионин, триптофан. Эти аминокислоты часто лимитируют качество зерна ржи. При оценке хлебопекарных свойств и хранении зерна определяют активность энзим, особенно альфа-амилазы. Даже при незначительном намачивании зерен ржи и благоприятной температуре активность альфа-амилазы возрастает, что приводит к разрушению крахмала и существенному снижению хлебопекарных качеств ржаной муки. Биологическая ценность белка ржи ниже, чем у овса, так как она обратно пропорциональна содержанию проламинов, которых в белке ржи в среднем около 40%, а у овса – 12%. Зерно ржи богаче зерна пшеницы такими минеральными веществами, как железо, кальций, йод, витамины группы В.

Содержание белка в зерне ржи, как и у пшеницы, при внесении повышенных доз азотных удобрений заметно возрастает, однако в этом случае необходимо поддерживать определенное соотношение между белком и крахмалом, так как высокое содержание белков в зерне сопряжено с повышением амилазной активности. Под озимую рожь следует вносить столько азотных удобрений, чтобы содержание белка в зерне не превышало 11,5%. При более высоком содержании в зерне ржи сырого белка под влиянием азотных удобрений закономерно повышается альфа-амилазная активность.

Качество зерна ржи зависит от сорта и условий выращивания: климатических особенностей, свойств и плодородия почвы, системы удобрения. Отдельные виды минеральных удобрений, дробное внесение азотных удобрений оказывают такое же влияние на содержание белка в зерне ржи, как и у пшеницы. В целом формирование высококачественного зерна озимой ржи при высокой

урожайности на почвах, различных по гранулометрическому составу и агрохимическим свойствам, зависит от сбалансированности питания растений макро- и микроэлементами.

Качество зерна озимой ржи, как и пшеницы, характеризуется комплексом признаков, отражающих физические, химические и технологические свойства. Однако рожь отличают специфические особенности белкового и углеводно – *амилазного комплекса*. Для неё характерны более низкое, чем у пшеницы, содержание клейковины, недостаточная вязкость белков, специфическое строение и свойства крахмала.

В отличие от пшеницы повышение содержания в зерне ржи белка обычно не вызывает увеличения объема хлеба. Хлебопекарные свойства ржаной муки зависят в основном от состояния углеводно-амилазного комплекса, в частности от активности фермента альфа-амилазы. Избыточный гидролиз крахмала после его клейстеризации, во время выпечки ржаного хлеба, вызванной высокой активностью альфа-амилазы, приводит к существенному ухудшению качества хлеба.

Активность фермента резко возрастает, если уборка была затяжной, а погода – дождливой и теплой, так как для ржи характерно быстрое прорастание зерна при повышенном увлажнении в период созревания. Все это важно учитывать, поскольку, применяя оптимальную систему удобрения в комплексе с другими приемами агротехники, можно вырастить высококачественное зерно озимой ржи, но значительно снизить его ценность при нарушении технологии уборки этой культуры.

УДОБРЕНИЕ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

Ячмень – важная и универсальная зерновая культура, используемая на кормовые, технические и пищевые цели. Она имеет широкое распространение во всем мире, в том числе в странах СНГ. Наибольшие площади посева в России сосредоточены на Северном Кавказе, в Нечернозёмной и Центрально-Чернозёмной зонах, Поволжье, а также в других регионах.

По биологическим особенностям яровой ячмень отличается повышенными требованиями к уровню питания, что объясняется очень коротким вегетационным периодом (90-100 дней) и чрезвычайно быстрым ходом потребления питательных веществ. Период поглощения питательных веществ из почвы у ячменя заканчивается в середине вегетации, примерно за 40 дней до созревания. Больше всего их усваивается ячменем в кушение. К этому времени он поглощает 70 - 75% основных элементов питания. По выносу питательных веществ яровой ячмень мало отличается от озимых

культур. Для формирования урожая 1 ц зерна вместе с соломой ячмень потребляет примерно 2,5 - 3,6 кг азота, 1 - 1,5 кг фосфора (P_2O_5) и 2 - 2,5 кг калия (K_2O).

Ячмень плохо переносит как кислые, так и засоленные почвы. Для его развития требуется реакция почвы, близкая к нейтральной (рН 6 - 7). Эта культура лучше удается на окультуренных, плодородных почвах. Ячмень хорошо отзывается на внесение минеральных, и органических удобрений. Первостепенную роль играет применение азотных удобрений.

Географические закономерности действия удобрений на урожай ячменя в значительной мере совпадают с их действием на яровую пшеницу.

Наибольший эффект от удобрений, особенно от тройного NPK, обеспечивается в зоне дерново-подзолистых почв. В лесостепной зоне наибольшие прибавки урожая от удобрений получаются на серых лесных почвах, т.е. в районах лучшего обеспечения влагой. Южнее на темно-серых почвах и выщелоченных чернозёмах, где влаги меньше, снижается и положительное действие удобрений. В южных и восточных частях лесостепной зоны действие минеральных удобрений в значительной мере определяется условиями увлажнения. В еще большей мере эффективность удобрений зависит от влагообеспеченности в южной степи. Здесь наибольшие прибавки урожая зерна получают от фосфорных удобрений или их сочетания с азотом. Калийные же удобрения обычно слабо эффективны. Весьма высокое положительное действие удобрений на урожай ячменя отмечено на Дальнем Востоке, особенно на буроподзолистых почвах.

Эффект от удобрений определяется не только климатическими факторами, но и в значительной мере агрохимическими свойствами почв, в том числе их потенциальным плодородием.

В Центральном районе Нечерноземной зоны установлено, что при размещении яровых зерновых, в том числе и ячменя, по удобрённым навозом и минеральными туками пропашным предшественникам можно ограничиться внесением N_{40-50} ; по слабо удобрённым пропашным и зерновым следует вносить 60 - 80 кг/га, по многолетним травам - 40 - 60 кг/га N.

Наиболее рациональные дозы фосфорных удобрений под ячмень в этой зоне также чаще всего колеблются в пределах 40 - 60 кг/га. Дозы калийных удобрений под ячмень в Центральной нечернозёмной зоне меняются в зависимости от обеспеченности почв калием. В среднем же они составляют 40 - 60 кг/га. При выращивании ячменя на торфяно-болотных почвах, а также на почвах легкого механического состава потребность в калии возрастает.

На эффективность удобрений существенное влияние оказывает эродированность почв. Смытые почвы обычно отличаются от несмытых несколько худшими водно-физическими свойствами, меньшим содержанием гумуса, имеется существенное различие и по агрохимическим показателям этих почв. Все это определяет и особенности действия удобрений. Чаще всего на эродированных дерново-подзолистых почвах максимальный урожай дает применение полного удобрения. Несмотря на неблагоприятные водно-физические и агрохимические свойства эродированных дерново-подзолистых почв, применение полного удобрения значительно сокращает различия в урожаях на среднесмытой и несмытой почвах.

В связи с дефицитом минеральных удобрений уровень их применения под ячмень длительное время был значительно ниже, чем под другие зерновые культуры. Однако, многочисленные опыты, выполненные в различных почвенно-климатических зонах, свидетельствуют об очень высокой отзывчивости ярового ячменя на минеральные и органические удобрения, которая во многих случаях выше, чем яровой пшеницы и не уступает эффекту от применения удобрений на озимой пшенице. Поэтому необходимо соответствующее внимание разработке оптимальной системы применения удобрений под эту культуру.

Ячмень весьма отзывчив на известкование, так как оптимальной средой для него является нейтральная. Известкование не только усиливает действие минеральных удобрений, но и само по себе повышает урожай зерна ячменя вследствие улучшения агрохимических свойств почвы. В условиях дерново-подзолистых почв оно особенно необходимо, если в севообороте под ячмень подсеивается клевер. Основное удобрение должно быть заделано достаточно глубоко в нижние горизонты пахотного слоя, которые обычно лучше обеспечены влагой. Поэтому удобрения, внесенные осенью под зяблевую вспашку, дают более высокий и устойчивый эффект, чем мелкая заделка удобрений под культиватор (борону, лушильник). Глубокая заделка фосфорно-калийных удобрений при подъеме зяби особенно необходима на черноземных почвах в районах недостаточного увлажнения. Азотные удобрения во всех зонах дают лучший результат при весеннем применении

Ленточный способ внесения минеральных удобрений более эффективен по сравнению с разбросным под плуг или культиватор. Здесь сохраняется такая же закономерность, как и других культурах. Наиболее изученным является рядковое (припосевное) удобрение. Этот прием необходимо использовать и в случае применения основного удобрения.

При разработке и использовании системы удобрения в агрономической технологии возделывания ячменя можно пользоваться методами комплексной почвенной и растительной диагностики, оптимизации питания и удобрения культуры, как и для яровой пшеницы. Система удобрения ячменя по дозам, соотношению питательных элементов, срокам внесения дифференцируется в зависимости от сортов и хозяйственного назначения зерна ячменя, в основном на кормовые или пивоваренные цели. При возделывании ячменя на фураж важными показателями, характеризующими его качество, являются содержание белка в зерне, фракционный и аминокислотный состав, биологическая ценность белков и др.

В пивоваренном ячмене важны высокое содержание крахмала и выход экстракта, что может быть обеспечено на хорошем фосфорно-калийном фоне, повышенное азотное питание такого ячменя ухудшает его пивоваренные качества.

При выращивании высокобелкового кормового ячменя в действии удобрений наблюдается такая же закономерность, как и на озимых хлебах. При его возделывании необходимо повышенное азотное питание в сочетании с оптимальным фосфорным и калийным. Ведущая роль в повышении содержания белка в зерне принадлежит азоту, действие которого наиболее полно проявляется на хорошем фосфорно-калийном фоне. Положительное действие фосфорных удобрений проявляется при очень низком содержании подвижных форм фосфора в почве, а также при ухудшении свойств почвы вследствие систематического применения физиологически кислых азотных удобрений на кислых почвах с низкой буферностью. Поэтому известкование кислых почв в комплексе со всеми агротехническими и мелиоративными мероприятиями является важным приемом не только повышения урожая всех культур, в том числе и ячменя, но и улучшения качества продукции.

При устранении избыточной кислотности почвы и внесении фосфорно-калийных удобрений в большинстве почвенно-климатических зон России, а также в европейских странах наибольшее влияние на урожай и качество зерна ячменя оказывает азотное удобрение. В связи с большой актуальностью проблемы качества зерна важно применять агрономическую технологию, предусматривающую, прежде всего, оптимальное использование азотных удобрений с учётом форм, доз, сроков и способов их внесения. Например, внесение под ячмень в Нечернозёмной зоне и северной лесостепи 40 - 60 кг/га азота может повысить урожай зерна на 10 - 15 ц/га. Однако такие дозы азота или не повышают белковость ячменя, или повышают, но не более чем на 1 - 1,5%.

Резко повысить содержание белка кормового ячменя при высоком урожае возможно только при применении повышенных и высоких доз азотных удобрений. Эти дозы должны быть дифференцированными с учетом особенностей климата, плодородия почвы, погодных условий, предшественников, сортовых особенностей и т.д. Так, в Нечернозёмной зоне России и Беларуси среднегодовые дозы азотных удобрений 90 - 120 кг/га на фоне фосфорно-калийных удобрений повышали содержание белка в зерне ячменя на 4 - 5%. т.е. практически в 1,5 раза. В Беларуси оптимальные дозы удобрений определяют по шкале (табл. 9.41).

9.41. Рекомендуемые дозы минеральных удобрений под яровые зерновые на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных на морене почвах

Удобрения, кг/га д.в.	Содержание P_2O_5 и K_2O , мг/кг почвы	Планируемая урожайность (зерно), ц/га				
		31 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 70	71 - 80
Азотные		60 - 70	70 - 80	80 - 90	90 - 100	100 - 120
Фосфорные	Менее 100	65 - 80	X	X	X	X
	101 - 150	55 - 70	70 - 80	X	X	X
	151 - 200	40 - 55	55 - 70	70 - 80	80 - 90	X
	201 - 300	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80
	301 - 400	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35	35 - 40
Калийные	Менее 80	80 - 100	X	X	X	X
	81 - 140	70 - 90	90 - 110	110 - 130	X	X
	141 - 200	50 - 70	70 - 90	90 - 110	120 - 140	X
	201 - 300	40 - 60	60 - 80	80 - 100	100 - 120	120 - 140
	301 - 400	30 - 35	35 - 40	40 - 45	45 - 50	50 - 60

Технологическая схема применения удобрений под ячмень здесь складывается из следующих приёмов: карбамид или КАС, аммофос или аммонизированный суперфосфат, хлористый калий – до посева; подкормки карбамидом – в фазу первого узла и последнего флагового листа. Предусматривается также некорневая подкормка микроэлементами (Cu, Mn) в фазу первого узла с добавлением карбамида или КАС.

При избыточном увлажнении не рекомендуется применять повышенные дозы азотных удобрений под ячмень во избежание полегания растений и ухудшения качества зерна. Неэффективны повышенные дозы азотных удобрений и в засушливые годы, так как высокий стеблестой, большая надземная масса на фоне высоких доз

азота при воздушной и почвенной засухе приводят к «захвату» и «выгоранию» посевов. Резко нарушается соотношение между зерном и соломой, снижается урожай, ухудшается качество зерна. В такие годы дозы азотных удобрений не должны превышать 40 - 60 кг/га азота. Все формы азотных удобрений оказывают примерно одинаковое действие на урожай и качество зерна ячменя.

Наряду с очень интенсивным усвоением питательных веществ из почвы ячменём в течение короткого первого периода развития растений необходимо учитывать также, что его корневая система расположена неглубоко в основном до 15 - 20 см и имеет самую низкую поглотительную способность среди всех зерновых культур (Байер, 1976). Следовательно, первостепенное значение имеет насыщение элементами питания корнеобитаемого слоя почвы с самого начала вегетации.

В тоже время молодые растения ячменя выдерживают значительно более высокую концентрацию почвенного раствора в зоне расположения корневой системы по сравнению с яровой пшеницей.

Поэтому в районах недостаточного увлажнения на чернозёмах обыкновенном и южном, каштановых почвах наиболее эффективным приемом применения минеральных удобрений является припосевной. На фоне низкой и средней обеспеченности почвы подвижным фосфором оптимальная доза $N_{20-60} P_{30-50}$. Вносят комплексные удобрения с соответствующим соотношением элементов питания или их тукосмеси с аммиачной селитрой. При повышенной обеспеченности фосфором можно ограничиться дозой фосфора 10 - 15 кг/га. При хорошем весеннем запасе доступной влаги в почве – более 130 мм в метровом слое удобрения можно внести под предпосевную культивацию. В этом случае их действие не уступает влиянию припосевного удобрения. Хорошие результаты даёт прикорневая подкормка аммиачной селитрой в дозе N_{30-50} , но только, если содержание азота в растениях ниже 4,5%. При определении общей дозы азота, необходимого для ярового ячменя, следует учитывать весенний запас доступной влаги в метровом слое почвы и содержание минерального азота в слое 0 - 60 см (табл. 9.42).

Благодаря возможности применения азотных удобрений под ячмень в несколько приемов даже при внесении самой большой суммарной дозы азота достигается высокая окупаемость её зерном.

Оптимальное азотное питание ячменя с начала вегетации обеспечивает не только получение максимально возможного при данных условиях влагообеспеченности урожая, но и существенное повышение белковости зерна.

9.42. Определение дозы азотных удобрений под яровой ячмень в зоне недостаточного увлажнения, кг/га

Запас доступной влаги в метровом слое почвы, мм	Содержание минерального азота в слое почвы 0 - 60 см, кг/га				Урожайность, ц/га
	< 30	30 - 45	45 - 60	60 - 75	
< 100	30 - 45	15 - 30	–	–	20 - 25
100 - 130	45 - 60	30 - 45	20 - 30	–	25 - 30
130 - 160	60 - 75	45 - 60	30 - 45	20 - 30	30 - 40
> 160	75 - 90	60 - 75	45 - 60	30 - 45	> 40

Важным показателем качества ячменя является биологическая ценность белков, обусловленная его аминокислотным составом. В пивоваренном ячмене высокое содержание белка в зерне – отрицательный момент, так как чем больше белка, тем меньше крахмала, который является основным экстрактивным веществом. Поэтому система удобрения пивоваренного ячменя должна быть направлена на повышение содержания в зерне не белка, а крахмала и общего выхода экстрактивных веществ. Хороший пивоваренный ячмень содержит 58 - 65% крахмала и выше, а экстрактивность его колеблется в пределах 75 - 82% массы сухого вещества. Разница между этими величинами (14 - 15%) приходится на долю водорастворимых органических соединений, способных при экстрагировании переходить в раствор. Чем выше экстрактивность зерна ячменя, тем больше выход пива.

Высокие дозы азота повышают белковость зерна и снижают пивоваренные качества ячменя. Оптимальными дозами азота в регионах с хорошим увлажнением являются 45 - 60 кг/га, а с недостаточным – 30 кг/га. Вносить азот нужно до посева, или при посеве. Это положительно сказывается на закладке величины урожая и незначительно повышает белковость зерна.

Учитывая специфику влияния белка на пивоваренные качества ячменя, не следует азотные удобрения вносить дробно в процессе вегетации во избежание повышения содержания белка в зерне. Повышенное содержание белка в зерне ячменя может быть также при выращивании его после многолетних бобовых трав, так как минерализация пожнивных и корневых остатков во второй период вегетации ячменя может действовать на растение так же, как и поздние азотные подкормки. Лучшими предшественниками для пивоваренного ячменя являются сахарная свекла, кукуруза, картофель и другие пропашные культуры. Они обеспечивают белковость, экстрактивность и выполненность зерна на уровне требований стандарта к пивоваренному ячменю.

Фосфорные и калийные удобрения в большинстве случаев повышают содержание крахмала в зерне и общую экстрактивность ячменя, а следовательно, и его пивоваренные качества.

Таким образом, агрономические технологии выращивания кормового и пивоваренного ячменя существенно различаются. В значительной мере они определяются оптимизацией применения удобрений. Правильная система удобрения ячменя в зависимости от хозяйственного назначения способствует реализации его потенциальной продуктивности с учетом качества зерна.

УДОБРЕНИЕ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ

Озимый ячмень – культура с большой потенциальной продуктивностью. Он лучше использует осенне-зимние запасы влаги, экономнее расходует их на единицу продукции и дает урожай значительно выше, чем яровой. Озимый ячмень созревает на 10 - 12 дней раньше озимой пшеницы и на 15 - 17 дней раньше ярового ячменя. Благодаря скороспелости он избегает губительных поздних засух и суховеев. По устойчивости к засухе озимый ячмень превосходит все озимые зерновые культуры. В зоне недостаточного увлажнения по данным ВНИИЗК озимый ячмень урожайнее ярового ячменя на 17,9, озимой пшеницы – на 3,5 ц/га.

Важнейшей предпосылкой получения высоких и стабильных урожаев озимого ячменя является достаточная обеспеченность его растений основными элементами питания — азотом, фосфором и калием. Для формирования 1 т зерна ячменя при различных почвенно-климатических условиях и технологиях выращивания он потребляет 20 - 30 кг азота, 7,5 - 17 кг P_2O_5 и 19 - 30 кг K_2O .

Корневая система у озимого ячменя более мощная, чем у ярового, однако общая длина корней и их поглотительная способность у ячменя меньше, чем у пшеницы и овса. Поэтому он предъявляет большие требования к наличию в почве легкодоступных элементов питания, особенно на первых этапах роста и развития растений (осень и ранняя весна) и поэтому при посеве по непаровым предшественникам озимый ячмень очень хорошо отзывается на удобрения.

Озимый ячмень характеризуется коротким периодом потребления питательных веществ. От всходов до кущения он накапливает 20% органического вещества, поглощая при этом до 40% фосфора и до 75% калия от общей потребности и значительное количество азота. Поглощение азота озимым ячменём начинается с первых дней жизни, и продолжается практически до окончания налива зерна, причем потребление этого элемента идет довольно равномерно на протяжении всей вегетации (Кривошеев, 1984, Беляков, 1985 и др.). Максимальное потребление элементов питания приходится на межфазный

период кущение-колошение. В этот период растения озимого ячменя поглощают до 70% элементов питания от максимального их содержания. К фазе колошение потребление азота растением достигает 90%, фосфора 75%, а калия заканчивается (Шеуджен и др., 2006).

Несколько иной характер использования азота озимым ячменем отмечен на дерново-подзолистых почвах Германии. Потребность в нём резко возрастает в период кущение – выход в трубку, но особенно после фазы колошение. С начала цветения до завершения налива зерна растения усваивают примерно половину азота, потребляемого за вегетацию (Райнер и др., 1980).

Наиболее высокие результаты по урожайности и качеству зерна получают на плодородных структурных почвах, богатых гумусом и с нейтральной почвенной средой. Лучшими почвами для озимого ячменя являются чернозёмы. По данным немецких исследователей (Райнер и др., 1980), урожайность озимого ячменя повышалась почти линейно с возрастанием бонитета почвы. Повышение бонитета почвы на каждые 20 баллов обеспечивало прирост урожая от 1,3 до 2 ц/га.

Хуже эта культура растет на легких песчаных и супесчаных почвах с неблагоприятным водным режимом. Хороший урожай здесь можно получить только при внесении органических и минеральных удобрений. Озимый ячмень не переносит избыточного увлажнения, плохо удается на солончаковых почвах.

Несмотря на все возрастающие возможности активного вмешательства в процесс выращивания путем правильного выбора участка и проведения в оптимальные сроки агротехнических мероприятий получение стабильных высоких урожаев озимого ячменя в значительной степени зависит от погодных условий. От условий осенне-зимнего периода зависит перезимовка растений и их выживаемость к началу весенней вегетации.

Зимостойкость или морозостойкость озимого ячменя являются результатом процесса закаливания, который проходит при температуре около 0°C. Озимый ячмень отличается от ярового и озимой пшеницы, прежде всего требованиями к температуре при прохождении стадии яровизации. Она проходит в диапазоне от 0 до 10 - 12°C, но более интенсивно при температуре от 0 - 2°C.

Качественные изменения в растениях происходят быстрее, если ежесуточная экспозиция необходимых температур продолжается не менее 20 часов. В таком случае для завершения стадии яровизации требуется 25 - 30 дней, и, как правило, она заканчивается до наступления устойчивых заморозков. Зимостойкие сорта, прошедшие эту стадию, слабее реагируют на оттепели зимой и могут выдержать кратковременные понижения температуры на глубине

узла кущения до $-14 \dots -15^{\circ}\text{C}$. В связи с этим большое значение имеет проведение посева озимого ячменя в оптимальные сроки.

На зимостойкость озимого ячменя большое влияние оказывает обеспеченность элементами питания. Избыток азота снижает и без того слабую зимостойкость ячменя. Это происходит потому, что с осени растения израстают, удлиняется вегетация, ухудшается закаливание и в растениях озимого ячменя ко времени прекращения вегетации не накапливается достаточного количества сахаров. Важная роль при перезимовке принадлежит обеспеченности растений ячменя на ранних стадиях развития фосфором и калием. Даже на плодородных обыкновенных черноземах на Дону внесение аммофоса при посеве увеличивало перезимовку растений до 74,9 - 78,2%, дополнительное внесение калийных удобрений до посева повышало процент перезимовавших растений до 88,2 - 89,1 в зависимости от сорта, что в сочетании с подкормками обеспечило получение максимального урожая. Внесение фосфорных и калийных удобрений в оптимальных дозах и небольших доз азота осенью способствует лучшему укоренению растений, перезимовке, усиливает сопротивляемость к полеганию и поражению грибными заболеваниями, ускоряет его созревание.

Главным фактором, ограничивающим реализацию потенциальной продуктивности озимого ячменя в засушливой зоне, является влага. Наиболее благоприятные условия для формирования урожая озимого ячменя складываются в посевах по черному пару. Исследования, проведенные в Ростовской области в 1973 - 2001 гг. показали, что в фазе всходов ячменя запасы продуктивной влаги в слое почвы 0 - 100 см по пару составили в среднем 124,4 мм, что в 2,5 раза выше, чем после озимой пшеницы – 45,2 мм и кукурузы на силос – 51,9 мм. В слое почвы 0 - 30 см под озимым ячменем по пару содержалось 30,5, а после озимой пшеницы – 11,9 и после кукурузы на силос – 15,9 мм.

В условиях концентрации и специализации производства зерна ячменя возрастает роль предшественника. Место озимого ячменя в севообороте определяется как целью его использования, так и режимом влажности почвы и выносом элементов питания предшествующей культурой.

Как правило, озимый ячмень размещают после предшественников, которые оставляют в почве достаточный запас легкодоступных питательных веществ. Важно также, чтобы под предшествующую культуру вносили органические и минеральные удобрения, так как озимый ячмень хорошо отзывается на их последствие. Для озимого ячменя лучшими непаровыми являются рано убираемые

предшественники, оставляющие поля чистыми от сорняков, что позволяет хорошо подготовить почвы для своевременного посева и накопить влагу.

Указанным требованиям отвечают многолетние бобовые травы (люцерна, эспарцет), зернобобовые (горох) и пропашные культуры (кукуруза на зеленый корм и силос). Широко используются в качестве предшественников озимого ячменя кукуруза на зерно, подсолнечник и особенно озимая пшеница.

Во всех регионах, где возделывается озимый ячмень, основную роль в формировании его урожайности играют азотные удобрения. Даже в зоне недостаточного увлажнения на Северном Кавказе в последние два десятилетия доля азота в повышении урожайности составляет 55 - 66%, фосфора – 20 - 27, калия – 9 - 20%. (Янковский, 2006, Бельтюков 2006).

При недостаточной обеспеченности азотом нарушаются процессы жизнедеятельности: растения плохо растут и кустятся, формируют слабый ассимиляционный аппарат, уменьшается озернёность колоса. Все это, в конечном результате, ведет к снижению урожайности. Избыточное азотное питание отрицательно сказывается на развитии растений озимого ячменя и его продуктивности. Оно приводит к усиленному росту вегетативной массы, нарушению соотношения между корневой системой и надземной частью растений, образованию высокостебельных побегов, склонных к полеганию. Такие посевы плохо перезимовывают, хуже переносят засуху, сильнее поражаются грибными заболеваниями и повреждаются вредителями.

Озимый ячмень требователен к питанию, очень отзывчив на внесение минеральных удобрений и дает при их внесении высокую прибавку в урожае. Система удобрения озимого ячменя состоит из основного внесения при обработке почвы, рядкового при посеве и подкормки во время вегетации. Для получения высоких урожаев озимого ячменя важно, чтобы растения были обеспечены в полной мере легкодоступными и легкоусвояемыми формами элементов минерального питания с самого начала их развития. Компенсировать недостаток питательных веществ позже фазы кущения или выхода в трубку практически невозможно. Такая биологическая особенность определяет специфику применения удобрений. Для ячменя характерно высокое содержание калия в растениях в период от кущения до цветения в сравнении с фосфором и азотом. По мере созревания содержание калия падает, а фосфора, и особенно азота, возрастает. Озимый ячмень по сравнению с другими зерновыми культурами поглощает больше анионов, чем катионов, вызывая тем самым изменения химических свойств почвы. Интенсивное

потребление большого количества элементов питания обуславливает и высокую отзывчивость ячменя на удобрения. Из вносимых удобрений ячмень обычно использует 50 - 60% азота, 25-28% фосфора и 36 - 42% калия. Однако поглощение питательных веществ из почвы и удобрений в значительной мере зависит прежде всего от обеспеченности растений влагой.

На чернозёме выщелоченном наиболее эффективна доза допосевого удобрения $N_{60-90}P_{40-60}K_{30}$, на чернозёме обыкновенном $N_{30-50}P_{50-60}K_{30}$, на чернозёме южном $N_{30-40}P_{40-60}K_{30}$. Хороший результат дает припосевное внесение аммофоса ($N_{12}P_{50}$).

Если не представляется возможным обеспечить ячмень оптимальными дозами основного удобрения, тогда следует внести при посеве 10 - 20 кг/га фосфора и ранней весной провести подкормку азотным удобрением (N_{30}). Такая же система удобрения может быть осуществлена, если озимый ячмень высевается по хорошо удобренному предшественнику, поскольку он весьма отзывчив и на последнее действие туков.

Вызывает опасение очень низкий уровень применения калийных удобрений. Формирование урожая озимого ячменя в основном зиждется на использовании калия почвы, что со временем может привести к истощению его почвенных запасов и превращению этого элемента в лимитирующий фактор.

Озимый ячмень хорошо отзывается на ранневесенние подкормки азотными удобрениями. Как правило, весенние подкормки способствуют не только повышению урожайности, но и содержания белка в зерне, что немаловажно при возделывании зерна на кормовые цели.

Исследования, проведенные на Кубани, показали, что ранневесенняя азотная подкормка в дозах N_{60-80} способствовала повышению урожайности различных сортов озимого ячменя на 8 - 13 ц/га. При этом существенно увеличивалась и белковость зерна. В наибольшей степени белковость зерна повышалось при предпосевной обработке семян медью на фоне применения НРК. Здесь же наблюдалось максимальное улучшение аминокислотного состава зерна.

Характерная особенность озимого ячменя заключается в его положительной реакции на периодическое пополнение запаса доступного азота в почве. В опытах, выполненных в Ростовской области, установлено, что наибольший эффект достигается при дробном внесении азотных удобрений. Без ранневесенней азотной подкормки эффект от осеннего полного удобрения, обеспечившего улучшение перезимовки растений, не превышал 10 - 12%; а от сочетания этих приёмов возрастал до 44 - 45%. При благоприятных условиях увлажнения (более 100 мм продуктивной влаги в метровом слое почвы)

в фазу выход в трубку азотная подкормка на фоне осеннего и ранневесеннего применения удобрений также существенно увеличила урожайность. В этом случае получен максимальный результат – повышение урожайности на 54 - 58,6% и доведение белковости зерна до 13,1 - 14,1% (Агафонов, Шанталий, 2010).

Особого внимания заслуживает комплексное использование минеральных удобрений в сочетании с органическими для повышения плодородия почвы и интенсификацией системы защиты растений, изученное в стационарном многолетнем опыте КубГАУ (Гачегов 2005, Лавриненко 2006, Кочетова, 2006). При удвоении дозы минеральных удобрений и фона плодородия почвы с использованием гербицидов прибавка урожая озимого ячменя повысилась 12 до 30%. Внесение высокой ($N_{100}P_{120} + N_{100}$ весной) дозы минеральных удобрений и использование интегрированной системы защиты растений от вредителей, болезней и сорняков на фоне высокого уровня плодородия (600 т/га + 600 кг/га P_2O_5 в севообороте) дало прибавку урожая 49%. Эта технология обеспечила максимальное содержание белка в зерне ячменя (12,7%) и сбор белка 983,0 кг/га.

Внедрение интенсивной технологии возделывания озимого ячменя в Краснодарском крае, включающей применение высоких доз удобрений и обязательное использование пестицидов, позволило довести его урожайность 60 - 70 ц/га.

ОСОБЕННОСТИ УДОБРЕНИЯ ОВСА

В группе зерновых культур *овёс* занимает довольно значительный удельный вес.

Овёс обычно размещается в северных районах нашей страны. К югу в связи с недостатком летних осадков заменяется ячменём. В севообороте он часто размещается последней культурой. Овёс – важнейшая фуражная культура, но используется и для изготовления различных продовольственных продуктов. В основных районах возделывания овса – в подзолистой зоне и северной достаточно увлажненной части чернозёмных почв – эффективность удобрений под овес очень высокая.

По сравнению с другими зерновыми культурами овес имеет более растянутый период поглощения питательных веществ. К условиям выращивания он менее требователен по сравнению с яровой пшеницей и ячменем. Овес мирится с кислыми почвами, однако лучшие урожаи дает на слабокислых и нейтральных почвах. Благодаря развитой корневой системе эта культура хорошо использует последствие удобрений, внесенных в севообороте под предшествующие пропашные или озимые хлеба.

С одинаковым урожаем овес выносит несколько больше питательных веществ, чем ячмень. Так, на образование 1 ц урожая зерна овес потребляет около 2,5 - 4 кг азота, 1 - 1,5 кг фосфора (P_2O_5) и 3 - 4 кг калия (K_2O).

Эффективность удобрения овса в значительной мере определяется плодородием почв, природными условиями земледельческой зоны и особенностями агротехники. Основные же закономерности следующие. Наиболее высокий эффект полное минеральное удобрение или навоз дают на супесчаных дерново-подзолистых почвах. Этот эффект ослабевает на суглинистых подзолистых почвах, еще сильнее падает на черноземах. На всех почвах, особенно на легких дерново-подзолистых, серых лесных и на выщелоченных чернозёмах, обнаруживается сильное действие азотного удобрения.

При систематическом применении в севообороте физиологически кислых азотных удобрений необходимо проведение известкования. Под овес с успехом можно применять все формы азотных удобрений. При этом даже в дерново-подзолистой зоне осеннее и весеннее внесение жидких азотных удобрений дает примерно одинаковый эффект. Оптимизация удобрения овса проводится по таким же методам комплексной почвенной и растительной диагностики, как и яровой пшеницы и ячменя. При отсутствии данных по почвенной диагностике азотного удобрения овса можно воспользоваться теми же рекомендуемыми дозами азота, как и для ячменя. В районах более увлажненных, с малоплодородными почвами (например, дерново-подзолистая зона России, Полесье Украины, Белоруссия и др.) дозы азота можно рекомендовать 60 - 90 кг/га, в лесостепных районах – 45 - 60, а в южной лесостепи и в северных районах Чернозёмной зоны в основном внесении – 40 - 45 кг/га.

Фосфорные и калийные удобрения вносят в дозах с учётом обеспеченности почв этими элементами, которая известна, как правило, повсеместно в результате исследования зональных научных учреждений или данных подразделений агрохимслужбы. Так же как и ячмень, овес хорошо отзывается на внесение гранулированного суперфосфата или сложных удобрений при посеве. Этот прием по возможности следует применять повсеместно.

Локальное внесение удобрений в основном приеме под овёс эффективнее разбросного на 3 - 5 ц/га.

При ограниченных ресурсах удобрений овес использует последнее действие удобрений, поэтому в севообороте его лучше размещать ближе к удобряемому полю. От последействия минеральных удобрений урожай зерна овса повышается на дерново-подзолистых почвах на 2 - 3 ц/га, а на выщелоченных черноземах – до 5 ц/га.

Поскольку овес является ценной фуражной и продовольственной культурой, важное значение имеет качество зерна, особенно количество и состав белков. В отличие от других культур белки овса имеют высокую биологическую ценность (60 - 70%). Содержание авенина (спирторастворимого белка) в них низкое – 12 - 20% по сравнению с 30 - 60% проламинов у других злаков. Для повышения содержания белка азотные удобрения под овес лучше вносить дробно, как и под пшеницу и ячмень, так как эта культура потребляет повышенное количество азота в фазы цветения и формирования зерна.

Фосфорные и калийные удобрения необходимо в полной дозе вносить до посева овса.

УДОБРЕНИЕ ПРОСА

Просо – важная крупяная культура, имеющая биологические особенности питания, роста и развития. Это теплолюбивая культура, усиленно потребляющая питательные вещества в период от кущения до созревания, который составляет 40 - 50 дней.

До кущения рост и развитие надземных органов и корневой системы у проса протекают медленно, поэтому способность корней проса усваивать пищу из почвы значительно меньшая, чем у других яровых культур. Однако просо выносит из почвы значительное количество питательных веществ: с урожаем 1 т основной продукции (зерна) выносятся из почвы N – 30 - 35 кг, P₂O₅ – 10 - 12 кг, K₂O – 30 - 35 кг. Период усиленного поглощения питательных веществ из почвы у проса несколько более поздний, чем у ранних яровых зерновых хлебов, и совпадает с теплым периодом времени, когда активно протекают в почве процессы мобилизации питательных веществ.

Предпосевной и междурядной обработками посевов создаются условия для накопления этих веществ, особенно азота в чернозёмах. *Просо отзывчиво на внесение минеральных и органических удобрений.* В качестве **основного удобрения** на оподзоленных и выщелоченных чернозёмах, на серых лесных и дерново-подзолистых почвах под основную вспашку или рано весной под первую весеннюю культивацию рекомендуется вносить полное удобрение в дозах: N₄₀₋₆₀P₄₀₋₆₀K₃₀₋₄₅. Эти дозы удобрений должны быть уточнены в зависимости от плодородия почвы и предшествующей удобренности поля. При этом калийные удобрения вносятся в основном на лёгких почвенных ризостях, а также на незасолённых чернозёмах и каштановых почвах.

В лесостепи и дерново-подзолистой зоне дозы удобрений применяются более высокие, а в степной снижаются. Так, в Центрально-чернозёмной зоне оптимальными дозами минеральных удобрений на выщелоченных чернозёмах лесостепи рекомендуются N₆₀P₄₅K₃₀,

а на типичных и обыкновенных – $N_{30-40}P_{30-40}K_{30-40}$. В Полесье в зависимости от почвенных условий и предшественников рекомендуется вносить $N_{30-60}P_{30-45}K_{30-60}$. На большинстве почв лесостепи рекомендуется вносить по 40 - 60 кг NPK осенью под вспашку, а в условиях достаточного увлажнения на супесчаных и песчаных почвах – фосфорно-калийные удобрения (по 40 - 60 кг/га P_2O_5 и K_2O) под вспашку, а азотные (N_{40-60}) – весной под культивацию. Из отдельных видов удобрений на оподзоленных почвах более эффективен азот, а на чернозёмах – фосфор. Однако под просо лучший эффект получается от применения полного удобрения.

В степных районах дозы основного удобрения под просо рекомендуется вносить также по 40 - 60 кг действующего вещества каждого питательного элемента. При внесении таких доз удобрений урожай проса повышается от фосфора на 3 - 4 ц/га, от NP – примерно на 5, а от полного удобрения – на 8 - 9 ц/га. При локальном внесении эффективность удобрений возрастает на 2 - 3 ц/га.

На обыкновенных и южных чернозёмах, особенно склонных к засолению, или на почвах с тяжелым гранулометрическим составом калийные удобрения применять не рекомендуется.

Эффективность удобрений проса часто ограничивается недостатком влаги. Поэтому действие удобрений резко возрастает в условиях орошения. Высокая эффективность отмечается от непосредственного внесения под просо органических удобрений. Большой эффект от применения навоза под просо получается в лесостепных районах и в дерново-подзолистой зоне. Внесение 20 т/га навоза непосредственно под просо повышает урожай этой культуры на 3 - 5 ц/га. Однако непосредственное внесение под просо органических и минеральных удобрений сейчас ограничено из-за недостатка удобрений, а также из-за использования их в севообороте под более ценные и интенсивные культуры.

Более реальный путь обеспечения проса оптимальными условиями питания – *внесение небольших доз гранулированного суперфосфата* (8 - 10 кг P_2O_5 на 1 га) *в рядки при посеве и использование последствий удобрений*, вносимых в севообороте под предшествующие культуры – технические, кормовые, пропашные и озимые зерновые хлеба. В первые фазы роста просо потребляет очень мало питательных веществ, особенно фосфора, но сразу же после прорастания семени особо остро нуждается именно в усвояемых формах фосфора. Корневая система растения развивается медленно и в первые дни не в состоянии использовать запасы фосфора почвы. В семени же фосфора крайне мало, поэтому гранулированный суперфосфат, внесенный в рядки при посеве, во всех случаях значительно повышает урожай проса. Средние прибавки урожая зерна от этого

приёма колеблются от 2,5 до 3,5 ц/га. Поэтому повсеместное внесение гранулированного суперфосфата в рядки на чернозёмах, серых лесных и каштановых почвах должно быть признано обязательным.

В севообороте просо желательно размещать после предшественников, удобряемых навозом, так как последствие навоза часто дает не меньший эффект на урожаи проса, чем прямое его действие.

Таким образом, при удобрении проса необходимо учитывать: 1) использование минеральных удобрений с учетом географии их действия; 2) возможное непосредственное внесение навоза под эту культуру; 3) обязательное во всех случаях применение гранулированного суперфосфата в рядки при посеве; 4) максимальное использование последствия органических и минеральных удобрений.

УДОБРЕНИЕ ГРЕЧИХИ

Гречиха – ценная крупяная культура с рядом *биологических особенностей*. Это теплолюбивое растение. Семена ее начинают прорастать при температуре почвы 7 - 8°C. Наиболее дружно и быстро всходы появляются, когда почва прогреется до 13 - 15°C. Эта культура более чувствительна к заморозкам, чем кукуруза и просо. Заморозки от – 1 до – 2°C повреждают как всходы, так и взрослые растения. При морозе от – 5 до – 6°C гречиха погибает.

Среди зерновых культур она наиболее требовательная к достаточному запасу влаги в почве. На образование единицы сухого вещества ею расходуется больше воды, чем пшеницей, овсом, горохом и просом. Особенно велика потребность в воде у гречихи в начале роста и в фазе цветения - образования завязи. Поэтому высокие урожаи зерна гречихи получаются при выпадении достаточного количества осадков во время цветения и особенно образования завязи.

Гречиха по сравнению с яровыми зерновыми культурами имеет относительно короткий вегетационный период. Надземные органы и корни развиваются в течение всей жизни. Для этой культуры характерна одновременность вегетативного и генеративного развития.

Хотя корневая система у гречихи развита слабее, чем у других культур, ее корни проникают в почву на значительную глубину. У нее хорошо развита сеть тонких корней и корневых волосков, которые дольше живут и более длинные, чем у яровых зерновых культур. Способность корневой системы гречихи усваивать питательные вещества из почвы выражена сильнее, чем у яровых зерновых хлебов и многих других культур. Корни гречихи лучше, чем корни других культур, используют труднорастворимые формы фосфатов, а также запасы почвенного калия.

Оптимальный рН для гречихи 5 - 7, поэтому сильнокислые почвы необходимо известковать. Лучшей формой известковых удобрений под гречиху является доломитовая мука. Эффективно внесение одних магниевых удобрений, которые повышают урожай зерна на 1,5 - 2 ц/га.

С учётом биологических особенностей сеять гречиху рекомендуется после всех других зерновых культур. Это позволит на многих почвах, особенно на черноземах, использовать минеральные формы азота, накапливаемые до посева.

Гречиха выносит из почвы большое количество питательных веществ: с урожаем 1 т/га зерна – около 50 кг азота, 40 - 45 кг P_2O_5 и 100 - 120 кг K_2O . В ее соломе содержится в 2,5 - 3 раза больше калия, фосфора и кальция, чем в соломе любой зерновой культуры. Однако вынос питательных веществ гречихой очень сильно колеблется по годам и зависит от погодных условий.

На дерново-подзолистых, серых лесных почвах и оподзоленных чернозёмах гречиха чаще всего хорошо отзывается на внесение азотных удобрений. *Эффективность азотных удобрений* в очень большой мере зависит от погодных условий и приемов агротехники, проводимых до посева. Теплая и влажная погода и хорошее рыхление почвы до посева могут привести к достаточному накоплению подвижных форм азота в почве и тем самым снизить действие азотных удобрений на гречиху. Азотные удобрения усиливают действие фосфорных на сильно выщелоченных черноземах северных районов лесостепи и еще больше на подзолистых почвах. *Фосфорные удобрения* почти повсеместно повышают урожай, особенно на чернозёмах. При наличии же в почве подвижной $P_2O_5 > 10$ мг на 100 г почвы растения гречихи обеспечиваются фосфором за счет почвенных фосфатов и эффективность фосфорных удобрений бывает низкой.

Калийные удобрения довольно часто слабо повышают урожай. Это объясняется тем, что гречиха обладает достаточно сильной способностью усваивать из любой почвы имеющиеся в ней запасы калия. Кроме этого, в опытах применялись преимущественно хлористые калийные соли, а хлор угнетает корневую систему гречихи. Поэтому калийные удобрения, содержащие хлор (сульфинит, каинит, калийная соль и хлористый калий), непригодны для гречихи. В ряде опытов бесхлорные калийные удобрения давали лучшие результаты, чем те, в состав которых входил хлор.

Навоз применять под гречиху не следует, так как во влажное лето он задерживает созревание семян и резко увеличивает выход соломы за счет выхода зерна. Но гречиха хорошо использует последствие навоза, вносимого под предшествующую культуру. Например, в Белоруссии урожай зерна гречихи без удобрения составил 10,3 ц/га,

а когда под предшествующий картофель было внесено 20 т/га навоза, урожай гречихи составил 17,0 ц/га. Высокое положительное действие здесь отмечено и от использования зеленого удобрения. При запашке на зеленое удобрение многолетнего люпина урожай гречихи увеличился на 9,6 ц/га.

Дозы минеральных удобрений устанавливаются по результатам почвенной диагностики на азот, фосфор, калий. При отсутствии данных диагностики можно воспользоваться результатами полевых опытов, выполненных зональными научными учреждениями Географической сети опытов. Эти дозы уточняют с учетом плодородия почв, их окультуренности, вида и удобренности предшествующих культур. Прибавки от удобрений достигают 5 - 6 ц/га. В лесостепных районах Поволжья, ЦЧО, Сибири дозы каждого питательного элемента составляют 30 - 60 кг/га. В районах менее устойчивых по увлажнению и в южных районах лесостепи дозы азотных удобрений снижают до 30 - 40 кг/га, а фосфорных повышают до 60 кг/га. В районах более благоприятных по увлажнению эффективность азотных удобрений возрастает, поэтому дозы азота и фосфора можно повышать до 60 кг/га в зависимости от плодородия почв.

Калийные удобрения оказывают положительное действие на гречиху на более легких почвах или при низком содержании обменной формы калия в почве. Прибавки от удобрений в лесостепных районах составляют 3 - 5 ц/га.

Важным приемом в системе удобрения гречихи является припосевное внесение гранулированного суперфосфата, а на почвах, бедных минеральными формами азота, – сложных удобрений. Прибавки урожая гречихи от этого приема составляют 1,5 - 3 ц/га при дозе P_2O_5 10 - 15 кг/га. Азот добавляется в районах северной лесостепи, на серых лесных, оподзоленных, выщелоченных черноземах. В степных районах и в южной лесостепи лучше вносить один суперфосфат.

УДОБРЕНИЕ РИСА

Основные районы рисосеяния в России: Краснодарский край и Дальний Восток. На значительных площадях рис возделывается в Узбекистане, Казахстане, на Украине. Важнейшая задача при возделывании риса – в комплексе агротехнических мероприятий оптимизация доз и соотношений минеральных удобрений.

Рис – культура, требовательная к плодородию почв. Для формирования 1 ц зерна риса с соответствующим количеством соломы выносятся из почвы около 2,5 кг N, 1 - 1,5, кг P_2O_5 и примерно 3 кг K_2O . Особенно высокая потребность риса в питательных веществах

в период кущения - колошения. В фазы всходов - кущения растения предъявляют повышенные требования к азотному питанию. Этот период считается критическим и в отношении фосфорного питания, так как недостаток фосфора в это время нарушает белковый обмен у растений, задерживает фазы развития, отрицательно сказывается на последующей вегетации риса, зерно становится щуплым. Поэтому азотная подкормка риса в этот период и фосфорные удобрения, внесенные в основном приеме, положительно влияют на формирование высокого урожая. На хорошем азотно-фосфорном фоне эффективны и калийные удобрения.

Оптимальные дозы NPK в различных районах рисосеяния составляют 200 - 250 кг на 1 га, а прибавка урожая зерна риса от таких доз – 15 - 25 ц/га. Оптимальные дозы азотных удобрений должны быть дифференцированными с учетом прежде всего плодородия почвы и предшественника. На плодородных целинных землях и после распашки пласта многолетних трав среднюю дозу азота обычно уменьшают примерно вдвое. При посеве риса по рису третий или четвертый год, а также при размещении его после зерновых культур на старопахотных землях дозы азота повышают на 25 - 30%. В большинстве же районов рисосеяния оптимальные дозы азотных удобрений N₉₀₋₁₂₀. Более высокие дозы часто вызывают полегание риса, плохой налив зерна, позднее его созревание, а также поражение растений различными грибными болезнями.

Испытание разных форм азотных удобрений при дробном их внесении позволяет заключить, что подкормки мочевиной обуславливают большие прибавки, чем сульфатом аммония. Перенесение части азота в подкормку снижает непроизводительные потери азота на 10 - 14% по сравнению с разовым внесением всей дозы до посева. Для риса важно правильно выбрать формы азотных удобрений. Повсеместное использование под рис аммиачных и амидных форм более эффективно, чем нитратных, так как нитратный азот частично вымывается в нижележащий слой, а другая его часть восстанавливается и теряется в газообразном виде.

Перспективно применение под рис медленнодействующих азотных удобрений, в том числе и мочевино-формальдегидных. Азот в этих удобрениях содержится как в водорастворимой, так и в водонерастворимой форме, благодаря чему резко сокращается вымываемость азота. Эти удобрения обладают значительным последствием. Медленнодействующие азотные удобрения рекомендуется вносить в повышенных дозах под основную обработку почвы.

Изучение сроков и способов внесения азотных удобрений показало эффективность перенесения части азота из основного внесения в подкормку. Примерно можно рекомендовать внесение 50 - 75%

азотных и полностью фосфорно-калийных удобрений до посева и 25 - 50% азотных удобрений в 1 - 2 подкормки в период полных всходов и в фазы кущения - трубкования растений. Урожай риса от азотных удобрений возрастает часто на 15 - 20 ц зерна с 1 га. Прибавки зерна риса при дробном внесении азотных удобрений составляют 3 - 5 ц/га и более по сравнению с единовременным внесением всей дозы до посева.

Прибавки урожая риса от фосфора в дозе 60 - 90 кг составляют около 7 ц; в отдельных случаях при повышении дозы фосфора до 120 кг они превышают 10 ц/га. Дозы фосфорных удобрений дифференцируются с учетом обеспеченности почвы подвижным фосфором, определенным методом, принятым для данного типа почвы. Например, для условий Узбекистана при низком содержании в почве усвояемых фосфатов (0 - 30 мг/кг P_2O_5 в 1%-й K_2CO_3 вытяжке) наиболее эффективны дозы 60 - 90 кг P_2O_5 на 1 га; при среднем содержании (30 - 60 мг/кг) – 30 кг P_2O_5 ; при высокой обеспеченности (более 60 мг/кг) фосфорные удобрения можно не вносить. Положительный эффект от внесения повышенных доз (90 - 120 кг P_2O_5) проявляется сравнительно редко, главным образом на бедных лугово-пустынных почвах, солонцах и солончаках, а также по пласту многолетних трав, когда создаются условия избыточного одностороннего азотного питания риса.

Калийные удобрения обычно слабо повышают урожай риса. Эффект от калия возрастает при систематическом внесении высоких доз азота и фосфора, особенно на легких почвах. В большинстве же случаев рис размещают на почвах тяжелого механического состава, как правило богатых калием. Под рис можно применять практически все формы калийных удобрений.

Хороший эффект часто получается от совместного применения минеральных и органических удобрений. Особенно это важно для восстановления плодородия почвы при капитальной планировке чеков. Наряду с полной дозой минеральных удобрений там вносят 30 - 40 т навоза или зеленого удобрения на 1 га. Запас питательных веществ в почве значительно повышается при запашке пожнивных остатков люцерны, зернобобовых, зеленой массы промежуточных культур. Органическое вещество активизирует жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, оказывает большое влияние на улучшение физических свойств почвы.

В различных районах рисосеяния имеются свои особенности применения удобрений под рис. Так, в Краснодарском крае в зависимости от предшественников и плодородия почвы рекомендуется вносить $N_{60-150}P_{90-120}K_{40-80}$. Соотношение между этими элементами должно уточняться в зависимости от конкретных почвенных и

других условий. Годовую дозу азотных удобрений вносят дробно: 2/3 в основном приеме и 1/3 в подкормку в период всходов - начала кушения. В зависимости от условий, складывающихся на рисовом поле, дополнительно можно проводить вторую подкормку в фазу кушения.

Фосфорные и калийные удобрения вносят до посева, положительный эффект отмечается при внесении калийных удобрений в подкормку – в фазе 6 - 9 листьев. Высокие и устойчивые урожаи риса получают при совместном внесении азотных, фосфорных и калийных удобрений. Прибавка урожая зерна при внесении оптимальных доз туков составляет 10 - 17 ц/га при первых и вторых посевах риса после суходольных культур и 20 - 25 ц/га при третьих и четвертых посевах риса.

Для условий Поволжья под зябь рекомендуется запахивать не менее 20 т навоза и $N_{40-60}K_{30-40}$ на 1 га. Если рис возделывают по пласту многолетней травы (люцерны), то нужно вносить полные дозы фосфорно-калийных туков ($P_{60-80}K_{50-60}$) и немного азотных (N_{30-40}). Подкармливать посевы надо сразу после появления всходов и в фазу кушения, для этого используют полное удобрение ($N_{20-25}P_{20-25}K_{10-15}$). Если применяют только минеральные туки, то их вносят (включая основное внесение и подкормки) в количестве $N_{100-120}P_{80-100}K_{60-80}$. Для Нижнего Поволжья дифференцированные дозы внесения удобрений под рис в зависимости от плодородия почвы и предшественников приведены в табл. 9.43.

9.43. Дозы минеральных удобрений под рис для районов Нижнего Поволжья, кг/га

Предшественник риса	Годовая норма			Основное удобрение			Подкормка		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Целина и пласт многолетних трав	90	60		60	30		30	30	
Оборот пласта	120	30 - 60	60	60	30	30	60	–	30
Старопахотные рисовые земли	150	60	60	60	30	30	90	30	30
Удобрённые овощные и пропашные в занятом пару	120	30	–	60	30	–	60	–	–
Орошаемые зерновые	150	60	60	60	30	30	90	30	30

На легких и малоплодородных почвах рекомендуемые дозы азотных и фосфорных удобрений следует увеличивать на 20 - 30%.

В Казахстане, где рис выращивается в основном на такыро-видных, сероземах и лугово-болотных почвах, обеспеченных калием

и микроэлементами в достаточной степени, основное удобрение вносят перед посевом с заделкой в почву на глубину 10 - 12 см. В качестве основного используют 60 - 70% годовой нормы азотных удобрений (остальные 40 - 30% в подкормку), полную норму (100%) фосфорных и полную норму или 70% калийных удобрений. Удобрения вносят раздельно: фосфорные, калийные, азотные. Фосфорно-калийные удобрения вносят за 12 - 15 дней до посева риса, азотные – не ранее чем за 4 - 5 дней до посева.

При локальном внесении азотные и фосфорные удобрения вносят в рядки одновременно с посевом семян риса. Локально можно применять гранулированную мочевину, гранулированный простой и двойной суперфосфат, аммофос и диаммофос, смесь аммофоса или диаммофоса с мочевиной в пропорции 1 : 1.

Норму азотного удобрения снижают на 20 - 25% по сравнению с рекомендуемой для разбросного способа и она не должна превышать 0,25 т/га. Норма фосфорного удобрения снижается на 40 - 50%, она не должна превышать 0,05 т/га.

Многолетние научные исследования и производственная практика показывают, что в шестипольных рисовых севооборотах, принятых в настоящее время в рисосеющих хозяйствах вместо 8 - 9-польных оптимальными дозами минеральных удобрений являются (в кг/га д.в.):

Люцерна 1-го года жизни	–
Люцерна 2-го года жизни	P ₁₀₀₋₁₂₀
Рис	N ₃₀ P ₆₀
Рис	N ₉₀₋₁₂₀ P ₉₀
Мелиоративное поле (пропашные)	N ₃₀₋₄₀ P ₆₀
Рис	N ₁₀₀₋₁₂₀ P ₁₂₀

Фосфорные удобрения под люцерну, размещаемую в севообороте, следует вносить в дозе P₈₀₋₁₀₀ в виде порошковидного суперфосфата – под зяблевую вспашку и P₂₀ в виде гранулированного суперфосфата – при посеве люцерны.

Эффективны также бактериальные удобрения, вносимые в люцерновые поля севооборота. По данным Каратальского опытного хозяйства, наибольший эффект дает совместное внесение (на фоне фосфорного удобрения) нитрагина, азотобактерина и фосфобактерина – при этом урожай сена люцерны как предшественника риса повышается на 10 - 15%, соответственно увеличивается и масса корневой люцерны, запахиваемой в качестве органического вещества под рис. Фосфобактерин и азотобактерин оказывает положительное влияние при внесении их непосредственно под рис, идущем в севообороте по пласту люцерны, увеличивая при этом урожай риса на 10 ц/га.

Высокую эффективность оказывает внесение под рис навоза, обеспечивающего прибавку урожая риса более чем на 7 - 10 ц/га. Эффективность навоза повышается при совместном его внесении с минеральными удобрениями. Наилучший срок внесения навоза в рисовые чеки – осенью и зимой.

В условиях Средней Азии рекомендуются более высокие дозы удобрений под рис – $N_{150-180}P_{90-120}K_{100-120}$. Практикой установлено, что на вновь освоенных землях дозу фосфорного удобрения в течение первых трех лет необходимо увеличивать в 2 раза по сравнению с общепринятой. Удобрения под рис по срокам внесения рекомендуется распределять следующим образом: под предпосевную обработку – 30 - 35% N, 70% P_2O_5 и 50% K_2O от полной годовой нормы. Лучшим способом предпосевного внесения минеральных удобрений считается локальный – заделка их культиваторами в почву полосами на глубину 10 - 12 см. В первую подкормку (в период массовых всходов риса до появления четвертого листа) вносят 30 - 40% азотного удобрения, во вторую (в период массового кущения риса) вносят оставшуюся часть минеральных удобрений, т.е. 30% фосфорных, 50% калийных и 25 - 40% азотных. Эти же сроки и способы внесения минеральных удобрений рекомендуют и для засоленных почв.

УДОБРЕНИЕ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР

При разработке системы удобрения под зернобобовые необходимо учитывать не только повышение урожая, но и улучшение качества продукции, так как эти культуры играют важную роль в производстве растительного белка. В среднем белок зернобобовых составляет около 20% растительного белка, производимого в мире в среднем на душу населения.

Одной из *особенностей зернобобовых*, определяющих их народнохозяйственную ценность, является высокое содержание белков в семенах, стеблях и листьях. Например, с урожаем 30 ц/га зерновые культуры вместе с соломой дадут 350 - 400 кг/га белка, а зернобобовые при таком же урожае – в 3 раза больше. Это объясняется тем, что в семенах многих зернобобовых культур содержится 25 - 30%, а в соломе – до 10 - 15% белка. Кроме этого, аминокислотный состав его отличается сбалансированным и высоким содержанием таких аминокислот, как лизин, метионин, триптофан.

Наряду с белками в семенах зернобобовых содержится до 50% углеводов, а в зерне сои и некоторых видов люпина – значительное количество жира. Ценность этих растений обуславливается и высоким содержанием в них витаминов А, B_1 , B_2 , и С. Примерный химический состав семян зернобобовых представлен в табл. 9.44.

9.44. Средний химический состав семян зернобобовых культур,
% сухой массы

Культура	Белок	Крахмал	Жир	Клетчатка	Сахар	Зола
Горох	28	43	1,2	6,0	8,0	3,3
Бобы	29	42	1,3	6,0	6,0	3,4
Соя	39	3	20,0	5,0	10,0	5,8
Фасоль	23	55	1,8	3,8	5,2	4,0
Вика	29	43	2,3	6,0	4,8	3,2
Чечевица	30	47	1,0	3,6	3,5	3,3
Люпин	32	3	5,0	16,0	2,0	3,8

Бобовым растениям свойственна способность фиксировать газообразный азот атмосферы. Это связано с развитием на их корнях клубеньковых бактерий. Для более эффективного использования этой природной биологической особенности бобовых нужно хорошо знать требования клубеньковых бактерий к внешней среде и условия их симбиоза с культурными растениями. Создавая благоприятные условия для бактерий, фиксирующих азот, можно получать максимальную отдачу от этой полезной особенности бобовых культур.

Для нормального роста и развития клубеньковых бактерий необходимы оптимальная температура и влажность почвы, нейтральная или слегка кислая реакция почвы, а также достаточный приток к клубенькам углеводов, фосфора, калия и других элементов.

При рН 5,5 и ниже почву следует известковать по полной гидролитической кислотности. Очень эффективно под горох применение известковых материалов, содержащих магний: урожай повышается на 15 - 20%. Зернобобовые культуры хорошо реагируют на окультуренность дерново-подзолистых почв, а следовательно, на известкование и удобрение. На хорошо окультуренной почве содержание белка в зерне кормовых бобов возрастает на 3,6 - 6,3%, у вики – на 5,3 и у чечевицы – на 5,4 - 7,4%. Такая сильная отзывчивость на окультуренность почв объясняется тем, что большинство бобовых растений, а также и клубеньковые бактерии обладают повышенной чувствительностью к негативным свойствам дерново-подзолистых почв. На хорошо окультуренных почвах не только увеличивается общее количество белков, но и значительно улучшается их качество.

Важную роль в жизнедеятельности клубеньковых бактерий играют микроэлементы, особенно молибден. Он входит в состав таких ферментов, как нитратредуктаза, нитритредуктаза и др., принимающих активное участие в фиксировании молекулярного азота клубеньковыми бактериями, в восстановлении нитратов до аммиака,

в обеспечении им растений. Поэтому при недостатке молибдена в почве внесение его способствует повышению содержания белка зернобобовых культур. Например, в зерне вики прибавка белка в среднем за 3 года составила 7,1%, чечевицы – 5,6, кормовых бобов – 4,2, люпина – 5,1, фасоли – 4,1%. Молибден также повышал в зелёной массе растений количество аскорбиновой кислоты, каротина и других важных органических веществ.

Положительное *действие известки* на белковость и другие показатели качества зернобобовых культур в некоторой степени можно объяснить в числе положительных свойств и действием молибдена, поскольку при известковании подвижность этого элемента и доступность растениям возрастают.

Вопрос о *применении азотных удобрений* под горох и вику должен решаться с учетом условий их выращивания. При оптимальных условиях возделывания (устранение избыточной кислотности, достаточное фосфорно-калийное питание, нитрагинизация) горох усваивает из воздуха до 60 - 65% необходимого азота и около 1/3 использует из почвы. В этом случае применение азотных удобрений не дает должного эффекта. На почвах средней окультуренности при создании условий для азотфиксации эти культуры можно возделывать без азота или вносить его в небольших дозах – 20 - 40 кг/га.

На хорошо окультуренных подзолистых почвах с внесением фосфорно-калийных удобрений, молибдена и при нитрагинизации семян довольно часто отсутствует эффект от минеральных азотных удобрений. Поэтому задача специалистов состоит в том, чтобы создать условия в почве, способствующие интенсивной биологической фиксации азота. В большинстве случаев достаточно внести лишь «стартовые» дозы азотных удобрений, чтобы получить высокий урожай зернобобовых с хорошими показателями качества продукции. При внесении же высоких доз азотных удобрений под зернобобовые задерживается развитие клубеньков на корнях, снижается их фиксирующая деятельность, и бобовые растения переходят на питание азотом, внесенным с минеральными удобрениями.

Кроме создания оптимальных условий внешней среды для роста и развития клубеньковых бактерий успех бактериального симбиоза обеспечивается непосредственной инокуляцией семян зерновых бобовых культур специально выведенными активными расами бактерий – нитрагином. Особенно эффективен он в тех районах, в которых данный вид бобового растения не возделывался, или на почвах, в которых отсутствуют или слабо развиваются соответствующие клубеньковые бактерии. Важной особенностью зернобобовых (гороха, люпина) является способность извлекать из почвы

труднодоступные формы фосфора при сравнительно большой общей потребности в этом элементе питания.

Зернобобовые культуры по составу зерна и соломы отличаются от других культур, в том числе и от зерновых злаков, повышенным содержанием азота, фосфора, калия, кальция, а часто магния и серы. Потребление ими питательных веществ зависит от особенностей развития. У гороха и вики максимум накопления питательных веществ происходит к концу вегетации; у растений с более растянутым периодом цветения, например у кормовых бобов и у люпина, наибольшее содержание азота, фосфора и калия наблюдается ко времени созревания бобов на главном стебле.

Повышенный вынос азота зернобобовыми культурами покрывается в значительной мере благодаря фиксации атмосферного азота. Однако общее накопление азота всегда превосходит количество азота, фиксируемого из воздуха. Часть необходимого для урожая азота зернобобовые берут из почвы. Если учесть, что надземная часть урожая удаляется с поля, то после уборки урожая зернобобовой культуры накопления азота обычно не происходит, а может быть даже и некоторое его уменьшение, так как весь азот, фиксированный из воздуха, оказывается в надземных частях.

Применение азотных удобрений оправдано лишь под особо ценные бобовые культуры (например, сою) и на почвах, крайне бедных азотом, с неблагоприятными условиями весенней нитрификации. Вносят их обычно в ранние весенние сроки для начального питания растений, когда на корнях еще не развились клубеньковые бактерии.

Положительное действие азотных удобрений на белковость гороха проявляется при позднем их внесении. Так, в зерне гороха при внесении азотных удобрений через 14 и 28 дней после начала цветения содержание белка в семенах соответственно возрастало на 1,3 - 6,3 и на 1,4 - 1,7% в зависимости от доз азота. При проведении азотной подкормки через 14 дней после начала цветения заметно повышалось содержание незаменимых аминокислот в зерне гороха. Фосфорно-калийные удобрения повышают содержание белка в зерне гороха на дерново-подзолистой, серой лесной почвах, обыкновенном и слабощелочном чернозёмах на 1 - 1,5% и более. Такое же влияние эти удобрения оказывают и на белковость люпина.

Поскольку после уборки зернобобовых культур не наблюдается убыли азота в агроценозе или эта убыль значительно меньше, чем после уборки любой небобовой культуры, то многие из них при правильном возделывании являются лучшими предшественниками почти во всех районах для целого ряда высокотребуемых к уровню азотного питания культур. Положительное действие

на зернобобовые оказывают фосфорные и калийные удобрения. Совместное их применение по 40 - 60 кг действующего вещества каждого на 1 га часто повышает урожай гороха на 2 - 3 ц/га.

Под люпин в Нечернозёмной зоне России рекомендуется вносить $P_{30-40}K_{80-90}$; дальнейшее увеличение доз нецелесообразно. Люпин является сильным азотфиксатором и при создании оптимальных почвенных условий для его роста и нитрагинизации семян, как правило, не нуждается во внесении азотных удобрений.

В лесостепи Украины в зависимости от культуры и почвенно-климатических условий под зернобобовые при основном внесении рекомендуется вносить $N_{20-30}P_{40-60}K_{40-60}$. На черноземах при недостатке минеральных удобрений под горох, чину, фасоль, чечевицу и нут азотные удобрения можно не применять, а на менее плодородных почвах целесообразно внесение полного минерального удобрения в указанных выше дозах.

В Центрально-Чернозёмной зоне России на типичных и выщелоченных чернозёмах под зернобобовые (горох, чину, вику) рекомендуется вносить $P_{60}K_{40-60}$. В южных и юго-восточных районах зоны можно ограничиться внесением гранулированного суперфосфата (P_{10}) в рядки при посеве зернобобовых. В Ростовской области под зернобобовые рекомендуется вносить, прежде всего, P_{8-10} в рядки при посеве, а при наличии удобрений $P_{30-40}K_{30-40}$ – под вспашку.

В Киргизии под горох рекомендуются следующие дозы и сроки внесения удобрений: под зяблевую вспашку – 30 - 40 кг P_2O_5 на 1 га, весной под культивацию – 20 - 30 кг N, в рядки при посеве – 7 - 10 кг P_2O_5 . Примерные дозы удобрений для сои $N_{30}P_{60-90}K_{60}$.

Фосфорные удобрения оказывают более сильное действие на зернобобовые на слабокультуренных почвах и особенно на чернозёмах, а калийные – на более легких супесчаных дерново-подзолистых почвах, на северных черноземах, а также на торфянистых почвах. Многие опыты свидетельствуют о том, что фосфоритная мука является прекрасным источником фосфорного питания гороха. Более высокие прибавки (3 - 5 ц/га) при ее внесении получены на дерново-подзолистых почвах и сильно выщелоченных черноземах северной части лесостепи и несколько меньшие (1,3 - 2 ц/га) – на мощных и южных чернозёмах.

Многочисленные опыты свидетельствуют о высокой эффективности фосфоритной муки и для других зернобобовых культур. Нередко фосфоритная мука как источник фосфора действует на эти культуры сильнее суперфосфата даже в одинаковых дозах по фосфору. Всё это дает основание считать, что под зерновые бобовые культуры в качестве основного фосфорного удобрения следует широко ис-

пользовать фосфоритную муку и другие водонерастворимые формы фосфорных удобрений, вносить их лучше с осени под глубокую вспашку.

Из калийных удобрений на многих почвах с успехом можно использовать все формы, но предпочтительнее бесхлорные. В сочетании с фосфоритной мукой при удобрении зернобобовых они часто дают больший эффект, чем формы, содержащие хлор.

Навоз непосредственно под зернобобовые обычно не вносят, они хорошо используют последствие органических удобрений. Однако в Нечерноземной зоне под бобовые культуры, не склонные к полеганию и предназначенные для приготовления силоса, допустимо непосредственное внесение навоза, особенно при выращивании вики и вико-овсяных смесей на зелёный корм.

Результаты многих опытов свидетельствуют о высоком последствии на горох удобрений, внесенных под предшествующую культуру. На почвах лесостепной зоны установлено последствие на горох дефеката. Это объясняется не столько влиянием на кислотность почвы, сколько повышением уровня обеспечения почвы питательными веществами, в том числе и кальцием; при урожае 25 - 30 ц зерна горох выносят около 100 кг Са.

При отсутствии в почве клубеньковых бактерий или если их мало и они представлены в неактивной форме, семена бобовых культур необходимо обрабатывать нитрагином. Изготавливают нитрагин на активной культуре клубеньковых бактерий, приспособленных к данному бобовому растению и размноженных в стерильной почве. В 1 г почвы должно быть не менее 300 млн клубеньковых бактерий. В зависимости от специфичности клубеньковые бактерии разделяют на следующие группы: первая – гороха, вики, чечевицы, чины и кормовых бобов, вторая – фасоли, третья – люпина и сераделлы, четвертая – сои, пятая – нута, шестая – люцерны и донника, седьмая – разных клеверов, восьмая – эспарцета, девятая – коровьего гороха, маша и арахиса.

Вносят нитрагин вместе с семенами в соответствии с инструкцией, которая прилагается к каждой порции этого удобрения. Правильное применение нитрагина повышает урожай зернобобовых культур на 1,5 - 3 ц/га. На Украине нитрагинизация семян гороха повышала урожай на мощных чернозёмах на 1,5 ц, на оподзоленных чернозёмах и тёмно-серых лесостепных почвах – на 2,1, на серых лесостепных почвах – на 1,5 ц/га. В производственных условиях лесостепи Украины применение нитрагина повышало урожай фасоли на 2 - 5 ц/га.

Наибольший эффект от заражения семян бобовых нитрагином получают на хорошо обрабатываемых, незасоренных почвах, на известкованных или некислых подзолистых почвах, удобрявшихся на-

возом или фосфорно-калийными удобрениями. Клубеньковые бактерии требовательны к влаге, поэтому высевать инокулированные семена нужно в лучшие агротехнические сроки, не допуская пересыхания почвы. Применение нитрагина более эффективно в районах достаточного увлажнения или при орошении в засушливых условиях. Активность нитрагина резко ослабляется во времени, и поэтому его нужно применять в год производства. Хранить нитрагин следует в сухом помещении при температуре не выше 10°C, отдельно от ядохимикатов.

Зернобобовые принадлежат к группе растений, которые сравнительно хорошо используют запасы фосфора в почвах. Однако пока у них слабо развита корневая система в начале роста, они хорошо реагируют на внесение небольших количеств усвояемого фосфора. На зернобобовых культурах эффективно внесение гранулированного суперфосфата в рядки при посеве небольшими дозами (10 кг P₂O₅ на 1 га) комбинированными сеялками. Прибавки урожая от этого приёма в среднем 2 - 3 ц/га.

Для создания хорошего урожая зернобобовые требуют значительно больше молибдена, чем злаковые культуры. Например, в 1 кг сухого вещества ржи или ячменя молибдена содержится около 1 мг, фасоли – 20 мг. Молибден улучшает азотный обмен в растениях, участвует в образовании белка, усиливает фотосинтез, а также жизнедеятельность клубеньковых бактерий. Молибден эффективен особенно на кислых почвах (с рН ниже 5,2). В качестве молибденовых удобрений применяют молибденовокислый аммоний или молибденовокислый натрий. Ими обрабатывают семена перед посевом, вносят в рядки с семенами, используют для некорневой подкормки.

Наиболее эффективная предпосевная обработка семян молибденом – намачивание или опудривание. На светло-серых лесостепных почвах в среднем за 3 года прибавка урожая гороха от этого приёма составила более 3 ц/га, а вики – 4 ц/га. По многочисленным данным Географической сети опытов с удобрениями, в нашей стране применение молибдена на зернобобовых культурах повышает урожай зерна на 2 - 5 ц/га и более.

При некорневой подкормке для получения положительного эффекта требуются более высокие дозы молибдена по сравнению с предпосевной обработкой семян. Известкование увеличивает подвижность почвенного молибдена, поэтому потребность в нем часто сильно ослабляется.

Особенности удобрения сои. Соя является высокобелковой культурой. Она содержит 33 - 35% белков и 17 - 20% жира. Характерная особенность белка сои – наличие в нем большого количества альбуминов, которые составляют около 90% суммарного белка.

Поскольку эта фракция наиболее сбалансирована по аминокислотному составу, то в белке сои незаменимые аминокислоты составляют 33,5 - 35% суммарного белка, в том, числе около 7% лизина. Биологическая ценность белка сои высокая и составляет около 70%. При возделывании сои в комплексе агротехнических приемов ведущая роль принадлежит минеральным удобрениям.

Потребность сои в элементах питания определяется ее *биологическими особенностями*. В начале вегетации эта культура развивается слабо, от всходов до цветения ей требуется небольшое количество питательных веществ. По мере приближения к фазе цветения требования ее к питанию значительно возрастают. Наибольшая потребность в питательных элементах – в период от цветения до массового налива бобов, в это время растения поглощают 65% азота, фосфора и калия. Содержание азота в растениях сои на протяжении вегетации практически не изменяется, а содержание фосфора постепенно увеличивается. Наибольшее содержание калия бывает в период цветения. В сравнении с другими культурами соя выносит много азота с урожаем. При урожае 20 ц сои с 1 га требуется 150 кг азота, 40 кг фосфора и 50 кг калия.

Потребность сои в удобрениях отмечается при недостаточном содержании в почве питательных элементов. При недостатке легкорастворимых соединений азота в почве соя положительно реагирует на внесение азотных удобрений. На Дальнем Востоке на дерново-подзолистых почвах в первом минимуме находится фосфор, во втором – азот, в третьем – калий. Поэтому больший эффект в ряде опытов был получен от внесения фосфорных удобрений и фосфорно-азотных, но самый высокий урожай зерна был при совместном внесении NPK. Урожай этой культуры на большей части почв Дальнего Востока повышается от внесения минеральных удобрений на 30 - 70%. Оптимальные дозы удобрений в Приморском крае $N_{45}P_{60}K_{30}$; в Хабаровском крае – $N_{45}P_{60}K_{45}$; в Амурской области – $N_{30}P_{60}K_{30}$.

Для сои, как и для других культур, немаловажную роль играет правильное *сочетание основного, припосевного удобрения и подкормок*. Основное удобрение вносят под сою осенью или весной. Азотных удобрений при основном внесении надо вносить в 2 раза меньше, чем фосфорных. Азот лучше вносить в виде подкормок, так как внесенный в начале вегетации, он не сохраняется к периоду цветения, а в этот период он особенно необходим растениям. Некорневые подкормки азотом в конце вегетации способствуют улучшению качества зерна сои. Некорневую подкормку сои рекомендуется проводить в начале образования бобов 3%-м раствором мочевины. Немаловажную роль в повышении качества соевого зерна играют и калийные удобрения.

Соя хорошо отзывается на внесение минеральных удобрений. Оптимальные дозы минеральных удобрений повышают ее урожай на 5 - 7 ц/га и более, а белковость зерна этой культуры возрастает на 2 - 3%.

На лугово-бурой тяжелосуглинистой слабокультуренной почве в Дальневосточном НИИ сельского хозяйства содержание белка в зерне сои под действием удобрений возрастало до 5%, а общее содержание достигло 40%.

Большинство данных свидетельствует о положительном действии на урожай и качество семян сои лишь невысоких доз азота (около 30 кг/га). При этом эффективна и инокуляция семян нитрагином. На слабокультуренных почвах нитрагинизация семян малоэффективна. В этом случае и наблюдается существенный эффект от азотных минеральных удобрений. Положительное действие фосфорно-калийных удобрений проявляется при низком содержании подвижных форм фосфора и калия в почве.

Нормальное питание сои, как и большинства бобовых культур, может протекать при реакции почвенной среды, близкой к нейтральной. Поэтому соя положительно отзывается на известкование.

УДОБРЕНИЕ КУКУРУЗЫ

Кукуруза имеет мощную корневую систему, способную извлекать питательные вещества из большого объема почвы. С урожаем 60 - 70 ц/га зерна или 500 - 700 ц/га зеленой массы кукуруза выносит из почвы примерно 150 - 180 кг N, 50 - 60 кг P₂O₅ и 150 - 200 кг K₂O.

Поглощение питательных веществ кукурузой продолжается до наступления восковой спелости зерна, т.е. почти весь период ее жизни. В соответствии с этим и нарастание сухой массы кукурузы идет в течение всего вегетационного периода: вначале медленно, затем усиливается. Наиболее интенсивно сухое вещество накапливается перед цветением. Соответственно кукуруза в начальные фазы роста поглощает мало питательных веществ. В процессе вегетации поглощение отдельных питательных веществ растениями кукурузы происходит неодинаково.

Поглощение азота продолжается почти до созревания. Однако максимальное поглощение его приходится на период за две-три недели до выбрасывания метелок. На бедных азотом подзолистых и серых лесных почвах Нечерноземной зоны, а также на выщелоченных и оподзоленных черноземах лесостепи чаще всего для создания обильного урожая кукурузы не хватает именно азота и нужной суммы эффективных температур.

Поглощение фосфора происходит более длительное время. Кукуруза усваивает его равномерно вплоть до созревания. Однако особо

острую потребность в дополнительном фосфорном питании растения испытывают повсеместно в самый начальный период своей жизни. Фосфорные удобрения, внесенные до посева кукурузы, способствуют мощному развитию корневой системы, более раннему образованию початков и ускорению созревания. Наибольшие требования к внесению фосфорных удобрений кукуруза предъявляет на слабовыщелоченных, мощных и обыкновенных черноземах в южных районах страны.

Наиболее интенсивно кукуруза поглощает калий в первый период вегетации. При выращивании ее на зерно накопление калия во второй половине вегетации часто резко снижается в результате оттока его из растений в почву. В калийных удобрениях потребность возникает на легких супесчаных, торфяных и пойменных почвах, а также на всех почвах после предшественников, потребляющих много калия (корнеплоды, травы, картофель и т.д.).

Кукуруза является одной из наиболее чувствительных полевых культур к недостатку цинка, особенно на карбонатных черноземах. Цинковое питание ухудшается при чрезмерном увеличении фосфатного уровня почвы или доз фосфорных удобрений. Внешний признак цинковой недостаточности – межжилковый хлороз листьев, начиная с нижних.

Очень остро дефицит цинка проявляется на посевах кукурузы после сахарной свеклы, значительно обедняющей почву доступным цинком. При этом кроме межжилкового хлороза на всех ярусах листьев появляются широкие продольные светложелтые полосы, покраснение тканей и их некроз («краснуха»). Поражение растений вызывает существенное отставание в росте. Болезнь интенсивно проявляется с фазы 4 - 5 листьев, а к фазе 7 - 9 листьев охватывает до 80 и более процентов растений. Недобор урожая достигает 6 - 10 ц/га зерна. Радикальный способ полной ликвидации дефицита цинка и существенного увеличения урожайности кукурузы в таких случаях – обязательное внесение при посеве 20 - 22 кг/га сернокислого цинка (4,5 - 5,0 кг Zn) в смеси с двойным суперфосфатом или аммофосом.

На неудобренных цинком посевах при возникновении болезни необходимо провести некорневую подкормку раствором сернокислого цинка в концентрации 0,25 - 0,30% с нормой расхода 300 л/га. Однако её эффект значительно меньше действия цинка, внесенного в почву при посеве. При внесении навоза непосредственно под кукурузу цинковое голодание, как правило, не проявляется.

На карбонатных черноземах и каштановых почвах для оценки обеспеченности цинком кукурузы можно использовать шкалу обеспеченности цинком, предложенную Е.В. Агафоновым (2012).

На содержание питательных веществ в урожае кукурузы значительное влияние оказывают как почвенно-климатические условия, так

и приемы возделывания, в том числе и удобрения. Данные о потребности кукурузы в процессе роста в основных элементах питания и выносе их необходимо учитывать при разработке системы удобрения этой культуры.

Кукуруза – весьма требовательная культура к условиям произрастания. Под ее посевы отводят участки с наиболее плодородными почвами и хорошими предшественниками. Кукуруза дает высокие урожаи на почвах, богатых азотом, с хорошими физическими свойствами, рыхлых, проницаемых для воды и воздуха. Удается она на полях, вышедших из-под хорошо удобренных навозом озимых хлебов, картофеля, овощных культур. При посеве кукурузы после многолетних трав вносят главным образом фосфорные удобрения, а на более легких почвах и калийные. Хорошо растет кукуруза на легких супесчаных и песчаных почвах, заправленных навозом или зеленым удобрением, а также на пойменных и залежных землях. Плохо растет на засоленных землях, а также на тяжелых, сильно заплывающих почвах. При посеве на таких почвах необходимо вносить органические удобрения.

В Нечернозёмной зоне на почвах при pH 5 и ниже обязательно известкование. На почвах степных районов России, богатых органическим веществом и биологически активных (например, обыкновенный и предкавказский чернозём), кукуруза слабее отзывается на азот. В выщелоченных черноземах лесостепи и тем более на серых лесных и дерново-подзолистых почвах азота накапливается мало, и кукуруза испытывает острый недостаток в нем с самого начала жизни. Пропашная обработка посевов кукурузы способствует мобилизации важнейших питательных веществ почвы.

Система удобрения кукурузы складывается из трех приёмов: основного, припосевного и подкормки. Основное внесение удобрений в значительной мере определяется почвенно-климатическими условиями. По обобщенным данным опытов Географической сети и зональных агрохимических лабораторий, от внесения удобрений по основным зонам страны получены следующие прибавки урожая зерна и зеленой массы кукурузы (табл. 9.45).

На окультуренных легкосуглинистых дерново-подзолистых почвах или на окультуренных пойменных почвах при благоприятных погодных условиях урожай зеленой массы 500 - 600 ц/га и более может быть получен при внесении на 1 га 90 - 120 кг N, по 60 - 90 кг P₂O₅ и K₂O на фоне 30 - 40 т навоза. На менее окультуренных суглинистых дерново-подзолистых и серых лесных почвах внесение по 90 - 120 кг N, P₂O₅ и K₂O на фоне 30 - 40 т навоза или компостов в годы с обычными для зоны погодными условиями обеспечивает получение урожая 350 - 400 ц/га зелёной массы.

9.45. Прибавки урожая зерна и зелёной массы кукурузы от внесения минеральных удобрений по зонам страны, ц/га

Зона	Зерно				Зелёная масса			
	дозы удобрения, кг действующего вещества на 1 га			прибавка урожая от удобрений	дозы удобрения, кг действующего вещества на 1 га			прибавка урожая от удобрений
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Нечернозёмная	80	55	55	9,7	80	55	55	103
Лесостепная	55	50	50	8,3	65	60	55	70
Степь чернозёмная	45	45	35	4,5	50	55	40	44
Степь каштановая	40	40	25	3,8	45	50	24	40

При выращивании кукурузы на зерно на дерново-подзолистых и серых лесных почвах рекомендуется вносить на фоне 20 - 30 т/га навоза N₉₀₋₁₂₀P₉₀K₆₀₋₉₀, а на зелёный корм – дозы N₁₂₀P₆₀₋₉₀K₉₀₋₁₂₀. При систематическом внесении азотно-фосфорных удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве действие калия с каждой ротацией севооборота возрастает (табл. 9.46).

9.46. Нарастающее влияние калийных удобрений на урожай зелёной массы кукурузы, ц/га

Вариант опыта	Первая ротация		Вторая ротация	
	урожай	прибавки урожая	урожай	прибавки урожая
N ₉₀ P ₆₀	453	–	545	–
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	488	35	638	87
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀	508	55	676	131

Примечание. Минеральные удобрения внесены по фону навоза.

В степных районах наиболее эффективен фосфор, в лесостепи при более влажном климате и выщелоченности черноземов наряду с фосфором заметно действуют азот и калий. Оптимальными дозами удобрений при основном внесении в лесостепных районах являются: на мощных черноземах – N₆₀₋₉₀P₆₀₋₇₀K₆₀₋₇₀, на оподзоленных чернозёмах и темно-серых оподзоленных почвах – N₆₀₋₉₀P₆₀₋₉₀K₆₀, на серых лесных почвах – N₈₀₋₁₁₀P₆₀₋₉₀K₆₀₋₉₀.

При достаточном количестве осадков в мае – июне, наличии в метровом слое почвы не менее 130мм продуктивной влаги положительный результат дает азотная подкормка кукурузы в фазу 7-9 листьев дозой 30 - 45 кг/га. В благоприятный год по эффективности она не уступает действию допосевного применения азота или даже превосходит его.

На выщелоченных чернозёмах Западной Сибири в увлажненной зоне урожай зеленой массы кукурузы 300 - 350 ц/га получается при внесении $N_{60-90}P_{60}K_{60}$, а в более сухих районах – $N_{30-60}P_{60}$. Оптимальные дозы внесения полного минерального удобрения в допосевной период вразброс перед вспашкой по зонам страны дифференцируются. В Центральной черноземной зоне на темно-серых лесостепных, выщелоченных и типичных черноземах – примерно $N_{60-90}P_{60}K_{60}$, на обыкновенных черноземах – $N_{60}P_{60}K_{60}$; при высоком содержании калия в почве можно ограничиться внесением азотно-фосфорных удобрений ($N_{60}P_{60}$). В лесостепи Поволжья на чернозёмах средней дозой каждого питательного элемента можно считать 45 - 60 кг/га. При среднем содержании подвижного фосфора в почве соотношение $N:P:K$ должно быть как 1:1:1, а при низком – 1:1,5:1. На чернозёмах Украины обыкновенных мало- и среднегумусных – $N_{45-60}P_{45-60}K_{30-45}$, на мощных – $N_{60}P_{60}K_{60}$. В Молдове на выщелоченном чернозёме – $N_{90}P_{60}K_{45-60}$, на типичном – $N_{60-90}P_{90}K_{30-60}$, на обыкновенном – $N_{60}P_{60}K_{60}$, на карбонатном – $N_{60}P_{90}K_{60}$.

Навоз – эффективное удобрение для кукурузы во всех зонах страны. При достаточном количестве навоза в хозяйстве дозу его под кукурузу в Нечерноземной зоне следует доводить до 30 - 40 т/га, в лесостепных районах – до 20 - 30, а в степи – до 18 - 20 т/га. В лесостепи внесение 20 т навоза под вспашку обеспечивает прибавку урожая зерна кукурузы на мощных черноземах до 7,0 ц/га, на выщелоченных черноземах – до 6, на оподзоленных чернозёмах – до 4 - 5, на серых лесных почвах – до 5,0 - 6,0 ц/га. Урожай силосной массы кукурузы под действием навоза возрастает на 50 - 80 ц/га. Жидкий бесподстилочный навоз вносят в дозе 60 - 100 т/га.

На орошаемых землях во всех зонах РФ и особенно на каштановых и светло-каштановых почвах Поволжья прибавки урожая зерна кукурузы от внесения удобрений довольно высокие (15 - 25 ц/га). В сильно засушливых районах юга и юго-востока страны под орошаемую кукурузу надо вносить обязательно азотные и фосфорные удобрения, а на незасоленных почвах – и калийные. При оптимальном режиме влажности почвы и применении удобрений урожай зерна достигает 60 - 80 ц/га и более, а прибавки от удобрений составляют часто 30 - 50% (табл. 9.47).

Во многих районах орошаемого земледелия при обильном поливе наблюдаются резкое увеличение действия азотных удобрений и значительное ослабление действия фосфорных, что, по-видимому, объясняется мобилизацией естественных запасов фосфатов.

На сероземных почвах при размещении кукурузы по пласту и обороту пласта многолетних трав наиболее эффективными дозами минеральных удобрений являются $N_{60}P_{60}K_{60}$, при удалении от пласта

многолетних трав – $N_{120-180}P_{90-120}K_{60}$, а при совместном внесении навоза и минеральных удобрений – наилучшие дозы $N_{60-90}P_{60}K_{30}$ + 30 т навоза.

9.47. Эффективность применения удобрений под кукурузу в условиях орошения

Страна. (Зона). Почва	Доза удобрений, кг действующего вещества на 1 га			Урожай, ц / га		Прибавка от удобрений, ц/га
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	б/у*	о/у**	
Россия. (Северный Кавказ). Тёмно-каштановая	120-180	60-120	–	46,1	68,6	22,5
Россия. (Лесостепная)	240-300	180	120	32,8	74,7	41,9
Украина. Темно-каштановая	120	60	–	51,9	75,1	23,2
Молдавия. Обыкновенный чернозём	100	100	70	40,3	61,1	20,8
Киргизия. Серозем	90-120	90-120	60-120	42,9	62,9	20,0
Болгария. Выщелоченная коричневая лесная	240-300	180	120	37,8	78,3	40,5
Болгария. Выщелоченный чернозём	240-300	180	120	48,0	91,4	43,4
Болгария. Глубоко солонцеватая луговая	80-90	40-45	40-45	69,2	72,7	3,5
Венгрия. Остаточно-карбонатная буро-лесная	160-180	80-90	80-90	60,1	80,9	20,8
Венгрия. Луговой чернозём	160-180	80-90	80-90	61,5	69,3	7,8
Венгрия. Каштановый чернозём	200	50	–	69,5	92,9	23,4
Румыния. Выщелоченный чернозём	150	100	–	67,1	93,2	26,1
Румыния. Аллювиальная	150	100	–	68,3	101,2	34,9
Чехия	80	80	80	74,4	82,1	7,7
Словакия	160	80	–	73,1	75,5	2,4

*б/у – без удобрений, **о/у – при оптимальном удобрении.

На Северном Кавказе для получения урожая зерна кукурузы 80 ц/га и более на предкавказских и приазовских чернозёмах требуется внести $N - 60$ кг, $P_2O_5 - 120 - 180$ и $K_2O - 30$ кг/га; для получения 500 - 600 ц зеленой массы с 1 га соответственно 120, 60 и 30 кг. Высокие дозы минеральных удобрений оказываются эффективными только при поддержании влажности почвы на уровне 75 - 80% от полевой влагоёмкости.

В степной зоне Кабардино-Балкарии на карбонатном чернозёме при орошении под кукурузу рекомендуется вносить органические и минеральные удобрения в дозе: навоз – 20 - 30 т, $N - 60 - 90$ кг, $P_2O_5 - 90 - 120$, $K_2O - 40 - 60$ кг/га. На выщелоченных чернозёмах предгорной зоны доза азота должна быть выше, чем доза фосфора: 90 - 120 кг N, 60 - 90 – P_2O_5 и 40 - 60 кг K_2O .

Казахский НИИ земледелия имени В.Р. Вильямса под кукурузу на зерно при орошении рекомендует следующие дозы удобрений, (табл. 9.48, 9.49).

9.48. Рекомендуемые дозы азотных удобрений под кукурузу на зерно (кг д.в./га)

Почва	Уровень планируемой урожайности, ц/га			
	40	60	80	100
	Дозы удобрений (кг д.в./га)			
Светло-каштановая	45	60	90	120
Обыкновенный серозём	60	90	120	150
Светлый серозем	90	120	150	180

9.49. Рекомендуемые дозы фосфорных и калийных удобрений в зависимости от обеспеченности почвы подвижными формами фосфора, калия и уровня планируемого урожая

Степень обеспеченности почвы	Содержание, мг/кг		Планируемый уровень урожая, ц/га															
	P ₂ O ₅	K ₂ O	40				60				80				100			
			дозы удобрений, кг д.в./га															
			P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O				
Низкая	< 25	< 300	30	30	60	60	90	90	120	120								
Средняя	26 - 35	301 - 400	15	-	30	30	60	60	90	90								
Высокая	> 35	> 400	-	-	-	-	30	30	60	45								

Фосфорные и калийные удобрения рекомендуется вносить под основную обработку почвы и в рядки при посеве. Небольшие годовые нормы азотных удобрений (45 - 60 кг д.в.) следует вносить в один приём – под предпосевную культивацию, дозы N₉₀₋₁₈₀ – в два приёма, из которых 50 - 70% под предпосевную культивацию, остальное количество – в подкормку в фазу 5 - 6 листьев.

Лучшие формы фосфорных удобрений под кукурузу для основного внесения – суперфосфат, аммофос, аммофосфат. Для внесения в рядки при посеве – суперфосфат гранулированный, аммонизированный и аммофос. Из калийных удобрений – хлористый и сернокислый калий, калийная соль. Для внесения под предпосевную культивацию из азотных удобрений рекомендуется сульфат аммония и мочевины, для подкормки – мочевины и аммиачная селитра.

Необходимо дифференцированно подходить к срокам и способам основного внесения удобрений. Навоз и различные компосты нужно вносить на всех подзолистых и серых лесных почвах, а также на

выщелоченных черноземах под основную зяблевую вспашку. Это особенно важно в районах недостаточного увлажнения и повсеместно – при использовании свежего или слабо перепревшего навоза. В районах достаточного увлажнения и при орошении хорошо перепревший навоз можно вносить весной под перепашку или культивацию. Не следует применять весной под кукурузу слаборазложившийся навоз. Весенняя глубокая заделка навоза приводит к резкому снижению его эффективности, а иногда и к уменьшению урожая.

Фосфорные и калийные удобрения следует запахивать осенью под зяблевую вспашку, при мелкой заделке весной эффективность их резко снижается. Азотные удобрения в районах недостаточного или неустойчивого увлажнения также надо вносить под глубокую зяблевую вспашку. В западных областях Нечерноземной зоны России, а также на западе Украины, в Белоруссии и в странах Балтии, особенно на легких песчаных и супесчаных почвах, суперфосфат и азотные удобрения желательно вносить весной под перепашку или предпосевную культивацию во избежание потерь питательных элементов удобрений путем вымывания за пределы корнеобитаемого слоя. Эффективность основного минерального удобрения заметно повышается при локальном способе внесения по сравнению с разбросным.

При огромном разнообразии почвенно-климатических условий, в которых возделывается кукуруза в нашей стране, под эту культуру могут быть использованы все формы минеральных удобрений. Из азотных удобрений аммиачная селитра, сульфат аммония и жидкие азотные удобрения в большинстве случаев дают близкие результаты. В орошаемых районах сульфат аммония как менее подвижная форма эффективнее аммиачной селитры.

Лучшей формой фосфорных удобрений для кукурузы во всех приемах является суперфосфат. Фосфор фосфоритной муки малодоступен растениям кукурузы, поэтому в основном приеме она значительно уступает действию суперфосфата.

Из калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах сырые калийные соли менее эффективны, чем хлористый калий. Для повышения эффективности этих удобрений вносить их рекомендуется осенью под зяблевую вспашку.

В начальный период кукуруза имеет очень слабую корневую систему и поэтому предъявляет повышенные требования к питательным элементам. Наиболее перспективно внесение малых доз гранулированного суперфосфата при посеве кукурузы в дозе 10 - 15 кг действующего вещества на 1 га.

Кукуруза чувствительна к повышенной концентрации почвенного раствора, которая легко создается при внесении суперфосфата в гнездо. Поэтому при увеличении доз суперфосфата (до 20 кг P_2O_5

на 1 га) снижается его эффективность. Это ведет к запаздыванию появления всходов и снижению полевой всхожести семян. Резко отрицательное действие повышенных доз суперфосфата особенно проявляется на менее буферных дерново-подзолистых почвах.

Если удобрения вносят с семенами в гнездо, то корни кукурузы оказываются в зоне расположения удобрений еще до появления всходов. При размещении удобрений сбоку рядка и глубже семян корни проникают к удобрениям несколько позже, когда они становятся менее чувствительными к концентрации почвенного раствора. При внесении минеральных удобрений под кукурузу специальными комбинированными сеялками они размещаются сплошной лентой вдоль линии гнёзд. В этом случае можно вносить смесь минеральных удобрений, состоящую из 20 - 30 кг аммиачной селитры, 50 - 60 кг гранулированного суперфосфата и 15 - 20 кг хлористого калия. Такую смесь нужно готовить в день сева.

Подкормка усиливает действие основного удобрения, но не заменяет его. Обычно потребность в подкормке кукурузы азотными удобрениями возникает на слабо обеспеченных азотом дерново-подзолистых, серых лесных почвах и сильно выщелоченных черноземах. Наибольшее влияние на повышение урожая кукурузы имеет ранняя подкормка сразу после прорывки ее в гнездах. Прежде всего необходима она на почвах бедных, слабо заправленных в прошлые годы удобрениями и не получивших достаточно удобрений до посева. Запаздывание с подкормкой снижает ее эффект, особенно в степных засушливых районах. Подкормку фосфорными и калийными удобрениями проводят в тех случаях, когда удобрения не были внесены до посева или их было внесено мало и почвы слабо обеспечены подвижными фосфатами и калием.

Дозы минеральных удобрений при подкормке кукурузы следующие: N – 30 - 40 кг в форме аммиачной селитры или сульфата аммония, P_2O_5 – 20 - 30 кг в виде простого порошковидного суперфосфата. Хороший эффект получается от применения сложных удобрений. Из органических удобрений для подкормки используют навозную жижу (3 - 5 т), птичий помет (5 - 6 ц).

Подкормку кукурузы проводят культиваторами-растениепитателями, обеспечивая равномерное распределение удобрений на достаточную глубину во влажные слои почвы. В последние годы в ряде зон страны получены положительные данные по некорневой подкормке кукурузы раствором мочевины в период до выметывания метелок. Такая подкормка способствует заметному повышению содержания в зеленой массе белков.

9.4. УДОБРЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ КУЛЬТУР

УДОБРЕНИЕ САХАРНОЙ СВЁКЛЫ

Сахарная свёкла в процессе вегетации выносит большое количество питательных веществ из почвы. Для образования урожая корней свеклы 300 ц (и соответствующего количества ботвы) на чернозёмных почвах основной зоны свеклосеяния требуется примерно 150 - 180 кг N, 50 - 60 кг P₂O₅ и около 200 кг K₂O. Вынос питательных веществ свеклой в значительной мере зависит от вносимых удобрений, плодородия почвы и условий погоды. В орошаемых районах на сероземах и каштановых почвах наблюдается резкое повышение содержания калия в урожае свёклы. На обыкновенном чернозёме южных районов зоны основного свеклосеяния в свёкле больше содержится азота и калия и меньше фосфора. При переходе от обыкновенных черноземов к выщелоченным и особенно к серым лесным почвам количество азота и калия и урожай свёклы снижается, количество фосфора возрастает. Эти закономерности в химическом составе свеклы в значительной мере определяются наличием в почве основных элементов питания (азота, фосфора и калия) в усвояемой форме. Наибольшие запасы усвояемых форм азота и калия отмечены на обыкновенных и мощных чернозёмах. На выщелоченном, особенно на сильновыщелоченном, чернозёме и тем более на серых лесных почвах запасы усвояемых форм азота и калия снижаются.

Для свеклы наиболее благоприятна нейтральная реакция среды (рН около 7). Поэтому в Нечернозёмной зоне свёкла хорошо реагирует на известкование почв. Известковать лучше дефекатом по полной гидролитической кислотности. Вносят дефекат под сахарную свёклу или под предшествующую ей озимь.

В развитии свёклы имеются три периода: первый – развитие листьев, второй – рост корня и третий – накопление сахара. В первоначальный период развития свеклы, когда ее корневая система развита слабо, необходимо наличие в почве доступных питательных веществ в непосредственной близости к прорастающему семени. Недостаток питательных веществ в этот период отрицательно сказывается на дальнейшем развитии корнеплода и накоплении в нём сахара. В период образования листьев большое значение имеет повышение в питательной среде удельного веса азота. Чем полнее свекла обеспечена в этот период азотным питанием, тем выше урожай и сахаристость корней.

В период роста корня и накопления сахара снижение удельного веса азота оказывает положительное влияние на урожай и качество свеклы. Действие фосфора и калия зависит от обеспеченности свёклы азотом.

Большое значение в правильной системе питания сахарной свёклы имеет установление оптимальных соотношений между отдельными питательными веществами в разные периоды роста. Это соотношение обеспечивается системой удобрений, внесением органических и минеральных удобрений и сочетанием основного внесения удобрений, припосевного и подкормок.

Эффективность удобрения сахарной свеклы в зависимости от плодородия, свойств почвы и форм удобрений. Отзывчивость сахарной свеклы на отдельные удобрения в значительной мере определяется типом почвы. Так, азотные удобрения хорошо действуют на эту культуру на серых лесных почвах и северных черноземах; прибавка урожая корней составляет 40 - 50 ц/га и более. Слабее азотное удобрение действует на мощных черноземах, где прибавка снижается до 25 - 30 ц/га. На обыкновенных черноземах и солонцеватых почвах действие азота незначительное.

В большинстве случаев наилучшей формой азота для сахарной свеклы оказывается натриевая селитра. Остальные азотные удобрения заметно уступают ей и располагаются в следующем нисходящем порядке: кальциевая селитра, мочеви́на, аммиачная селитра, сульфат аммония и цианамид кальция. Наиболее резко преимущество натриевой селитры и вообще различия в эффективности форм удобрений проявляются на подзолистых почвах, оподзоленных, выщелоченных и мощных черноземах. Кислые формы азота при их длительном применении снижают урожай. На кислом фоне (суперфосфат) различия в действии формы азота проявляются резче, чем на щелочном фоне. На обыкновенных черноземах различия в действии форм азота сглаживаются, причем сульфат аммония нередко даже превосходит селитру. Преимущество натриевой селитры перед другими формами азота связано не только с содержанием в ней азота в нитратной форме, но и с действием содержащегося в ней натрия, что подтверждается повышенной эффективностью натриевой селитры по сравнению с кальциевой на подзолах и чернозёмах.

Наиболее распространенная сейчас форма азотных удобрений – аммиачная селитра – по своему действию на черноземах чаще всего близка к действию сульфата аммония. Кальциевая селитра обнаруживает преимущество перед сульфатом аммония на серых лесных почвах.

Фосфорные удобрения повышают урожай корней свеклы на чернозёмных почвах на 30 - 40 ц, на серых лесных почвах – на 10 - 670

15 ц. Различия в действии суперфосфата, двойного суперфосфата, преципитата, томасшлака и термофосфатов на чернозёмных почвах при внесении с осени под свеклу оказывались сравнительно небольшими, хотя суперфосфат обычно занимал первое место. На подзолистых почвах преципитат и томасшлак действуют лучше, чем суперфосфат. На мощных и обыкновенных чернозёмах фосфоритная мука заметно отстаёт от перечисленных фосфатов. На подзолистых почвах, оподзоленных и сильно выщелоченных чернозёмах действие суперфосфата и фосфоритной муки равноценно. На этих почвах суперфосфат может быть с успехом заменён фосфоритной мукой в основном удобрении под сахарную свеклу в одинаковых дозах по фосфорной кислоте. Однако при внесении фосфоритной муки в основном приеме на всех почвах необходимо вносить в рядки при посеве суперфосфат для обеспечения начального питания свёклы легкоусвояемым фосфором. Наиболее устойчивое положительное действие фосфоритной муки наблюдается на почвах, имеющих гидролитическую кислотность выше 3 ммоль на 100 г почвы.

Применение в основном удобрении томасшлака на выщелоченных и оподзоленных чернозёмах обеспечивает получение таких же прибавок урожая свеклы, как и применение суперфосфата. Особенно высокое действие томасшлака на этих почвах бывает при внесении его с кислыми формами азотных и калийных удобрений. На кислых подзолистых почвах томасшлак превосходит суперфосфат, а на обыкновенных и мощных черноземах уступает ему. На малобуферных кислых супесчаных подзолистых почвах наблюдается большое преимущество нейтральных и щелочных форм фосфатов (преципитата и томасшлака).

Калийные удобрения при одиночном их внесении в почву (кроме обыкновенных черноземов и каштановых почв) повышают урожай свеклы на 20 - 30 ц/га. Действие калия сильнее выражено на более легких почвах. Для сахарной свеклы имеют преимущество хлористые соединения калия (особенно содержащие натрий) перед сульфатами калия. При основном внесении с осени под сахарную свеклу и в невысоких дозах (45 - 60 кг K_2O) наивысший эффект во всех районах свеклосеяния и на большинстве почв получается от сильвинита; за ним следуют в убывающем порядке 40%-я калийная соль, хлористый калий и сернокислый калий.

Большой интерес для свекловичных районов представляют калийные соли Прикарпатья – каиниты, лангбейнит, шенит и другие породы, состоящие из смеси хлористых и сернокислых солей калия с примесями магния и натрия. Эти калийные соли по эффективности превосходят хлористый калий.

Эффективность удобрения сахарной свёклы в зависимости от почвенно-климатических условий зоны свеклосеяния. Наибольшую прибавку урожая свеклы (50 - 80 ц/га) на всех почвах, за исключением обыкновенных чернозёмов, дает полное минеральное удобрение. Самые высокие прибавки корней сахарной свёклы (100 - 150 ц) получают в условиях орошения от тройного удобрения. Основное внесение удобрений является важным источником питания сахарной свёклы в период всей ее вегетации. Действие удобрений в значительной степени определяется особенностями зоны и почвы. В Центральной чернозёмной зоне, Поволжье, на Северном Кавказе, на Украине, в Молдавии наименьшие прибавки урожая от удобрений получают в степных засушливых районах на обыкновенных и карбонатных чернозёмах. В лесостепной зоне на оподзоленных и выщелоченных чернозёмах прибавки урожая свеклы почти повсеместно выше.

Высокая эффективность удобрений отмечена и в Нечернозёмной зоне. В лесостепной и Нечернозёмной зонах отмечается высокоэффективное действие азотных и фосфорных удобрений. По эффективности азот даже преобладает над фосфором. оптимальные дозы азотных удобрений в этих зонах 60 - 120 кг N на 1 га. Соотношение между азотом и фосфором может колебаться в широких пределах в зависимости от обеспеченности почв доступными фосфатами (от $N_{120}P_{60}$ до $N_{120}P_{120}$). В степной зоне отмечается преимущественное действие фосфорных удобрений, соотношение между азотом и фосфором, близкое 1 : 1 или 1 : 1,3 - 1,5.

Оптимальным сроком внесения азотных удобрений во всех зонах свеклосеяния является весна. Дробное применение азота не дает преимущества перед разовым. Однако при использовании повышенных доз азота – свыше 140, а на супесчаных почвах – 120 кг/га их целесообразно делить. Около 70% вносят под предпосевную культивацию. Остальное – в подкормку после прорывки свёклы

На чернозёме обыкновенном существенное повышение урожайности вызывает применение фосфорных удобрений. Но при этом следует учитывать обеспеченность почвы подвижным фосфором. Опыт, полученный в различных регионах Северного Кавказа свидетельствует о том, что оптимальное содержание подвижного фосфора в пахотном слое 30 - 35 мг/кг почвы (по Мачигину). При обеспеченности почвы в пределах 11 - 15 мг/кг необходимая доза фосфора на 1 га 100 - 130, 16 - 20 мг/кг – 70 - 100, 21 - 25 мг/кг – 40 - 70, 26 - 30 мг/кг – 30 - 40 кг. При большем содержании фосфора можно ограничиться внесением при посеве в рядки P_{20} .

В Нечернозёмной зоне, а также на чернозёмах более легкого гранулометрического состава в лесостепи действие калийных удобрений высокое и устойчивое. На тяжелых суглинистых чернозёмах в лесостепи и степи действие калийных удобрений невысокое (прибавки урожая 10 - 20 ц/га); доза калия 60 кг действующего вещества на 1 га. Отмечается высокий положительный эффект от возрастающих доз удобрений, применяемых под свеклу в Нечернозёмной зоне и в лесостепи, т.е. в районах более увлажненных.

В Центральной чернозёмной зоне на выщелоченных и типичных черноземах положительные результаты были получены при увеличении доз с $N_{50-60}P_{60}K_{50-60}$ до $N_{90}P_{120}K_{90}$, на слабо выщелоченных и выщелоченных чернозёмах Северного Кавказа – с $N_{60}P_{60}K_{50}$ до $N_{90}P_{90}K_{75}$, в лесостепи Поволжья – с $N_{75}P_{80}K_{75}$ до $N_{110}P_{115}K_{105}$. Резко возрастает эффективность минеральных удобрений в условиях орошения. Прибавки урожая корней свеклы от оптимальных доз удобрений достигают 150 и даже 200 ц/га, или 30 - 40%, и урожай составляет 500 - 800 ц/га.

Оптимальными дозами азотных удобрений при орошении сахарной свёклы в зависимости от условий являются 90 - 180 кг N на 1 га, фосфорных – 60 - 120 кг P_2O_5 . Увеличение доз N со 120 до 180 кг способствует повышению урожая, но снижает сахаристость корнеплодов. Фосфорные же удобрения несколько повышают содержание сахара в корнях. Сложные удобрения при основном внесении под сахарную свеклу обеспечивают прибавки урожая корнеплодов, близкие к прибавкам от эквивалентных смесей простых удобрений.

Эффективность навоза сильно колеблется в зависимости от почвенно-климатических условий, дозы, места его внесения в севообороте и других условий. Значение навоза особенно велико в условиях достаточного увлажнения и преобладания сильно выщелоченных чернозёмов и серых лесных почв с плохими физическими свойствами.

В подзонах неустойчивого и недостаточного увлажнения лесостепи на мощных чернозёмах рекомендуется вносить в паровых звеньях севооборотов 20 - 25 т навоза на 1 га под предшественники сахарной свёклы, озимую пшеницу или парозанимающую культуру. На оподзоленных и смытых почвах, а также в звеньях севооборота с многолетними травами и горохом навоз (20 - 25 т/га) рекомендуется применять непосредственно под сахарную свёклу. В подзоне достаточного увлажнения навоз также лучше использовать непосредственно под сахарную свеклу (20 - 30 т/га) независимо от звена севооборота.

Большое значение имеет навоз для получения высоких и устойчивых урожаев свеклы в Нечерноземной зоне, особенно на лёгких

супесчаных почвах, бедных гумусом, и при орошении. Наибольший эффект получается при внесении навоза с осени под зяблевую вспашку. Эффективность навоза заметно снижается при переходе от увлажненных северо-западных районов к юго-восточным районам недостаточного увлажнения. Повышенные дозы навоза (более 20 т/га) обычно не сопровождаются пропорциональным увеличением урожая корней. Поэтому при ограниченных запасах навоза выгоднее вносить его меньшими дозами, но на большой площади. Навоз при этом повышает урожай не только свёклы, но и других культур севооборота. При достаточном увлажнении, на подзолистых и серых лесных почвах доза навоза 40 - 60 т/га.

Хорошие результаты дает применение под свёклу птичьего помёта. На чернозёме обыкновенном в Ростовской области внесение перепревшего куриного помёта на подстилке из подсолнечной лузги в дозе 7,5 т/га способствовало увеличению сбора сахара на 0,76 т/га (19,2%) Действие помёта было эквивалентно влиянию минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$, но экономический эффект от помёта значительно выше.

При внесении навоза и минеральных удобрений в одинаковых количествах по важнейшим питательным веществам (N , P_2O_5 , K_2O) эффект получается примерно одинаковый, а иногда несколько больший при использовании минеральных удобрений, особенно на обыкновенных чернозёмах при недостаточном увлажнении и на бедных азотом серых лесных почвах. Более слабое действие навоза по сравнению с действием NPK объясняется главным образом малой доступностью для растений значительной части содержащегося в навозе азота, а также замедленностью процессов минерализации органических веществ навоза.

Положительный эффект от сочетания навоза с минеральными удобрениями наблюдается на почвах малобуферных, с малым содержанием гумуса (подзолистые и серые лесные) и с плохими физическими свойствами. Однако на фоне навоза наблюдается слабое действие фосфорных удобрений, так как он является прекрасным источником фосфатного питания. Калийные удобрения на фоне навоза оказывают существенное влияние на урожай и качество свёклы. Действие их в данном случае не ослабляется в такой мере, как действие фосфорных удобрений.

Наилучшее влияние на урожайность свёклы оказывает применение минеральных удобрений в сочетании с органическими. Интересные рекомендации приводят В.В. Кидин (2012), табл. 9.50 и В.В. Лапа (2014), табл. 9.51.

**9.50 Дозы минеральных удобрений под сахарную свёклу
по фону 50 - 60 т/га навоза на дерново-подзолистых
и серых лесных почвах**

Планируе- мый уро- жай, т/га	Азотные удобрения, кг/га	Фосфорные удобрения, кг/га				Калийные удобрения, кг/га			
		Содержание P ₂ O ₅ в почве, мг/кг				Содержание K ₂ O ₅ в почве, мг /кг			
		< 100	100-150	150- 200	201- 250	< 80	80-140	140-200	200- 250
20-30	60-90	70-110	60-90	50-80	30-50	80-120	70-110	50-80	40-60
30-40	90-110	110-130	90-110	80-90	50-60	120-150	100-130	80-100	60-80
40-50	110-130	130-150	110-130	90-110	60-70	150-170	130-150	100-130	80-90
50-60	130-160	150-180	130-160	110-140	70-90	170- 200	150-170	130-150	90-120

**9.51. Дозы минеральных удобрений* под сахарную свёклу на дерново-
подзолистых суглинистых и супесчаных на морене почвах**

Удобрения, кг/ д.в.	Содержание P ₂ O ₅ и K ₂ O ₅ мг/кг почвы	Планируемая урожайность, ц/ га			
		400-450	451-500	501- 550	551- 600
Азотные		110-120	120-130	130-140	140-150
Фосфор- ные	Менее 100	110-120	-	-	-
	101-150	100-110	110-120	-	-
	151-200	80-90	90-100	100-110	110-120
	201-300	50-55	55-60	60-70	70-80
	301-400	20-25	25-30	30-35	35-40
Калий- ные	Менее 80	150-170	-	-	-
	81-140	130-150	150-170	-	-
	141-200	100-120	120-140	140-150	170-180
	201-300	90-100	10-110	110-120	140-150
	301-400	40-45	45-50	50-60	60-90

* На фоне внесения 60 т/га органических удобрений

В районах основной зоны свеклосеяния наибольший эффект дает внесение навоза и минеральных удобрений осенью под глубокую вспашку плугом с предплужником. Глубоко заделанные удобрения, попадающие во влажный слой почвы, хорошо используются корневой системой сахарной свёклы. Корневая система у свеклы развивается на значительную глубину, охватывая и большой объем почвы. Уже через 2 месяца после посева она проникает на глубину 1 - 1,2 м, к концу вегетации – нередко до 2 - 2,5 м, а в стороны распространялась на 1 м и более.

Внесение же удобрений весной под борону или культиватор снижает их эффективность по сравнению с осенним внесением,

особенно в засушливых районах и в сухие годы, не менее чем в 1,5 - 2 раза. В районах орошаемого свеклосеяния глубокая осенняя заделка основного удобрения также имеет значительное преимущество. В свеклосеющих районах Нечерноземной зоны, расположенных в северо-западной, наиболее обеспеченной осадками части России, а также в Белоруссии, Латвии, Литве и Эстонии действие азотных, калийных и растворимых фосфорных удобрений выравнивается при осеннем и весеннем сроках их внесения. При внесении удобрений весной до посева на дерново-подзолистых почвах больший эффект получается от ленточного внесения по сравнению с разбросным.

Для оптимального начального питания сахарной свёклы необходимо внесение удобрений в рядки. Этот прием наиболее способствует не только ускорению роста и развития свёклы в начальный период, но и повышению сопротивляемости растений неблагоприятным условиям погоды, вредителям и болезням. Наибольшего внимания заслуживает рядковое внесение суперфосфата. В этом случае целесообразно применять небольшие дозы удобрений, примерно 15 - 20 кг/га. На практике дозу суперфосфата в рядки увеличивают до 30 кг/га и более. Это бывает оправданным на полях, не получавших основного удобрения (или без фосфора в основном приеме). Вместе с суперфосфатом рекомендуется вносить и небольшое количество азотных и калийных удобрений. Потребность сахарной свёклы в питательных веществах в начальные этапы ее жизни сравнительно невелика и к тому же всходы свеклы отрицательно отзываются на повышенное содержание солей в почве (особенно в годы с засушливой весной), поэтому в рядки не следует вносить высокие дозы удобрений. Обычно рекомендуется вносить на 1 га примерно по 8 - 10 кг N и K₂O и по 10 - 15 кг P₂O₅. Урожай от этого приёма повышается на 20 - 30 ц/га, а при орошении – на 40 - 50 ц/га.

Подкормка обеспечивает питание свекловичных растений, когда корневая система у них еще недостаточно развита, а использование основного удобрения, внесенного в глубокие слои почвы, ещё ограничено. Подкормку свеклы следует рассматривать как дополнительный прием к основному и рядковому удобрению. Наибольшие прибавки урожаев (50 - 100 ц/га) от подкормок отмечаются в орошаемых районах, несколько меньше (30 - 50 ц/га) – в западной части основной зоны свеклосеяния и низкие – в восточных и юго-восточных районах этой зоны.

В первую очередь подкормку следует применять на участках, не унавоженных и не получивших с осени минеральных удобрений. В этом случае действие подкормки проявляется сильнее. В основной зоне свеклосеяния без орошения обычно достаточно одной подкормки азотным или полным удобрением. Дробление удобрений

на несколько подкормок в этих условиях нецелесообразно. При орошении (в Киргизии, Казахстане, Узбекистане, Грузии) увеличение подкормок до трёх-четырёх сопровождается значительным повышением урожая свёклы на всех почвах, кроме засоленных.

В основных районах свеклосеяния ранняя подкормка (после прорывки) значительно эффективнее, чем поздняя. Подкормку там следует заканчивать, как правило, до смыкания рядков. В поздних подкормках следует уменьшить дозу азотного удобрения, чтобы не задержать созревания свёклы.

Большое значение имеет техника подкормки, главным образом глубина заделки удобрений. Поверхностная заделка в сухую почву резко снижает их действие. Глубокая подкормка особенно важна в засушливые годы.

Система удобрения сахарной свёклы в Нечерноземной зоне состоит из известкования кислых и слабокислых почв (по полной гидролитической кислотности), внесения навоза 20 - 40 т/га непосредственно под свёклу или под предшествующую культуру и внесения под свёклу полного минерального удобрения. На серых лесных почвах в основное удобрение (под зябь) вносят 100 - 110 кг N, 80 - 100 кг P₂O₅, 80 - 100 кг K₂O на 1 га; на оподзоленных и выщелоченных чернозёмах – соответственно 80 - 100, 80 - 110 и 80 - 110 кг/га. В рядки при посеве дают полное минеральное удобрение N₁₀P₁₀₋₂₀K₁₀. Подкормку проводят в тех случаях, когда дозы основного удобрения были меньше указанных. В подкормку вносят по 20 - 40 кг действующего вещества каждого элемента на 1 га. На дерново-подзолистых, дерново-глеевых, торфянистых и других почвах с низким содержанием подвижного бора (меньше 0,2 - 0,3 мг на 1 кг почвы) свекла хорошо реагирует на внесение борных удобрений. Весной под культивацию вносят 3 - 3,5 ц борного суперфосфата или 100 кг бормагнезиевого удобрения на 1 га.

Предпосевное намачивание семян проводят 0,05%-м раствором борной кислоты (на 1 ц семян 2 л раствора). Опудривание семян лучше проводить бормагнезиевым удобрением из расчета 300 - 500 г на 1 ц семян. Применение борных удобрений повышает урожай корнеплодов сахарной свёклы (на 30 - 40 ц/га) и их сахаристость (на 0,5 - 1,0%), снижает заболевание сахарной свёклы сердцевинной гнилью.

В Центральной чернозёмной зоне примерные дозы удобрений для свёклы на серой лесной почве N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀, на выщелоченном и типичном чернозёме – N₉₀P₁₂₀K₉₀, а на обыкновенном – N₉₀P₁₂₀K₆₀. При совместном применении навоза и минеральных удобрений доза последних снижается на 25 - 30%.

Для лесостепи Украины рекомендуются следующие примерные нормы удобрений под сахарную свеклу (табл. 9.52). В орошаемых

условиях лесостепи Украины на черноземных почвах непосредственно под сахарную свеклу рекомендуется вносить 20 - 30 т навоза и минеральные удобрения $N_{90}P_{60}K_{60}$. При этом навоз, половину нормы азота, 50 кг P_2O_5 и калий вносят под вспашку, 10 кг P_2O_5 или $N_{10}P_{15}K_{10}$ – в рядки, остальное количество азота – в подкормку. Если сахарная свекла использует последствие навоза, внесенного под кукурузу на силос, то дозы минеральных удобрений повышают до $N_{120-150}P_{80-90}K_{60}$.

9.52. Ориентировочные годовые дозы внесения минеральных удобрений под сахарную свёклу в лесостепи Украины, кг действующего вещества на 1 га

Почва	Подзона увлажнения	Предшественники					
		занятые пары			многолетние травы		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Чернозём обыкновенный мощный, среднегумусный	недостаточного	80	120	70	60	120	80
	неустойчивого	100	130	80	70	130	90
	достаточного	150	170	150	120	160	140
Чернозём мощный мало- и среднегумусный	недостаточного	100	90	120	70	100	120
	неустойчивого	130	130	140	100	130	150
	достаточного	160	160	160	130	160	170
Чернозём лугово-солончаковатый и солонцеватый	недостаточного и неустойчивого	120	140	–	90	140	–
Чернозём осолоделый и черноземно-луговая почва	недостаточного и неустойчивого	120	140	70	90	140	90
Тёмно-серая лесостепная и черноземная	недостаточного	120	100	130	100	100	130
	неустойчивого	140	130	150	120	130	150
	достаточного	180	150	180	150	140	180
Светло-серая и серая лесостепная почва	недостаточного	130	100	140	100	100	140
	неустойчивого	150	130	160	130	130	170
	достаточного	190	160	190	160	150	190

При размещении сахарной свёклы по обороту пласта многолетних бобовых трав дозы азота снижают в 1,5 раза. На чернозёмах, оподзоленных и лесостепных почвах зоны дозу азота и калия в составе минеральных удобрений необходимо увеличить на 30 - 50%. В степных районах Украины оптимальная ориентировочная доза удобрений под сахарную свёклу $N_{130}P_{90}$.

На обыкновенном чернозёме Поволжья под свеклу рекомендуется вносить полное минеральное удобрение $N_{60}P_{120}K_{90}$ или 15 - 20 т перепревшего навоза в сочетании с минеральным удобрением в дозе

$N_{30-60}P_{60}K_{60}$. В чернозёмной степи Поволжья на обыкновенном чернозёме – $N_{60}P_{120}K_{60-90}$. Дозы минеральных удобрений, рекомендованные под сахарную свёклу для условий орошения в Нижнем Поволжье, представлены в табл. 9.53; они должны уточняться с учетом содержания в почве подвижных питательных веществ, свойств почвы и наличия бобовых в севообороте. На почвах лёгкого гранулометрического состава общая доза азота увеличивается примерно на 20%, калия – на 30%. На почвах с низким содержанием подвижных фосфатов рекомендуемые дозы фосфорных удобрений увеличивают на 30%; при низком содержании в почве обменного калия вносят его в норме 60 - 90 кг K_2O на 1 га. При использовании навоза (30 - 40 т/га) общая норма минеральных удобрений составляет $N_{60-90}P_{60}$.

9.53. Примерные годовые дозы минеральных удобрений под сахарную свёклу на почвах со средним содержанием подвижных фосфатов, кг действующего вещества на 1 га

Планируемый урожай корнеплодов, ц/га	Обыкновенные и южные чернозёмы			Тёмно-каштановые, каштановые и светло-каштановые почвы		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
450–500	90	40 - 60	40 - 60	120	40 - 60	40 - 60
550–600	120	60 - 90	40 - 60	150	60 - 90	40 - 60

В условиях Южного Казахстана посевы сахарной свёклы размещены на орошаемых землях Алматинской и Жамбылской областей, представленных светло-каштановыми, лугово-серозёмными почвами, а также обыкновенными и светлыми серозёмами, подстилаемыми валуно-галечниковыми отложениями на глубине 30 - 50 см и более. В пределах типа почвы дозы азотных удобрений определяются характером предшествующей культуры и уровнем планируемого урожая (табл. 9.54).

На почвах среднего и тяжелого механического состава азотные удобрения рекомендуется вносить под предпосевную культивацию (50 - 70%) и в подкормку (30 - 50%). На участках лёгкого механического состава и при близком залегании грунтовых вод половину годовой дозы азотных удобрений необходимо внести под предпосевную обработку почвы и оставшуюся часть в подкормку. Урожай корнеплодов при этом не снижается, а потери азота существенно сокращаются.

Важным моментом является своевременная азотная подкормка, которую проводят вслед за прорывкой растений в фазе 2 - 3 пар настоящих листьев. Лучшие формы азотного удобрения для внесения перед посевом – сульфат аммония, мочевины, в подкормку – аммиачная селитра и мочевины.

9.54. Рекомендуемые дозы азотного удобрения под сахарную свёклу в зависимости от типов почв, предшественников и уровней планируемых урожаев (данные КазНИИЗиР)

Почвы	Предшественник	Уровень планируемой урожайности, ц/га			
		300-350	350-450	450-550	550-600
Светло-каштановые	Пласт люцерны или зернобобовые культуры	30	45	60	90
	Сахарная свёкла или кукуруза	45	60	90	120
	Зерновые колосовые	60	90	120	150
Серозёмы	Пласт люцерны или зернобобовые культуры	45	60	90	120
	Сахарная свёкла или кукуруза	60	90	120	150
	Зерновые колосовые	90	120	150	180

Наибольшая эффективность фосфорных удобрений (250 - 280 ц/га прибавки корнеплодов) отмечена при содержании подвижного фосфора в почве менее 20 - 25 мг/кг. С повышением фосфора в почве до 35 - 40 мг/кг эффект от удобрений снижается и прибавка урожая корнеплодов составляет не более 25 - 36 ц/га. При высокой обеспеченности почвы фосфором (свыше 45 мг/кг) эффект от фосфорных удобрений отсутствует. Поэтому дозы фосфорных удобрений следует дифференцировать с учетом фактической обеспеченности почвы подвижным фосфором (табл. 9.55).

9.55. Рекомендуемые дозы фосфорных удобрений под сахарную свёклу в зависимости от обеспеченности почвы подвижным фосфором и уровней планируемых урожаев

Степень обеспеченности почвы	Содержание P ₂ O ₅ , мг/кг	Уровень планируемой урожайности, ц/га			
		300 - 350	350 - 450	450 - 550	550 - 600
		Дозы удобрений (кг д.в./га)			
Низкая	< 30	90	110	130	150
Средняя	31 - 45	60	75	90	120
Высокая	> 45	-	-	15 - 20*	15 - 20*

* вносить в рядки при посеве

Фосфорные удобрения лучше всего вносить под основную обработку почвы. При низкой обеспеченности почв фосфором небольшую часть годовой нормы (15 - 20 кг д.в.) следует вносить в рядки при посеве. На почвах с высоким содержанием подвижного фосфора (> 45 мг/кг) достаточно внести 15 - 20 кг/га д.в. в рядки при посеве. Эффективно внесение простого, двойного, аммонизированного суперфосфата, аммофоса.

На светло-каштановых почвах при содержании обменного калия на уровне 400 мг/кг в условиях 8-польного севооборота увеличение урожайности от внесения калийных удобрений в дозе 60 - 100 кг д.в. было незначительно. В большей степени действие калийных удобрений на таком фоне проявляется в повышении сахаристости корнеплодов. При снижении обменного калия в почве до уровня средней обеспеченности внесение калийных удобрений в дозе 90 кг д.в. на 1 га способствует увеличению урожайности корнеплодов до 550 ц/га при одновременном повышении сахаристости. Поэтому дозы калийных удобрений следует дифференцировать в зависимости от обеспеченности почвы обменным калием и уровней планируемых урожаев (табл. 9.56).

9.56. Рекомендуемые дозы калийных удобрений в зависимости от обеспеченности почвы калием и уровня планируемых урожаев

Степень обеспеченности почвы	Содержание обменного калия, мг/кг почвы	Планируемый уровень урожая корнеплодов, ц/га			
		300 - 350	350 - 450	450 - 550	550 - 600
		дозы удобрений, кг д.в./га			
Низкая	< 300	60	90	120	150
Средняя	301 - 400	30	45	60	90
Высокая	> 400	-	30	45	60

Из калийных удобрений эффективны хлористый и сернокислый калий, калийная соль. Калийные удобрения лучше вносить осенью под основную обработку почвы. В отдельные годы при резком повышении температуры воздуха и недостаточном выпадении осадков весной эффективна подкормка калийными удобрениями (60 кг/га д.в.) в первой половине вегетации.

При высоком насыщении севооборотов сахарной свеклой со второй половины ротации наблюдается снижение в почве гумуса. Поэтому большое значение имеет внесение навоза под сахарную свеклу, идущую после озимой пшеницы. В зависимости от типов почвы рекомендуется вносить 40 - 60 т/га полуперепревшего навоза с половинной дозой минеральных удобрений.

Для повышения сахаристости корнеплодов сахарной свёклы на 0,7 - 1,2% эффективно внесение в почву сернокислого цинка в дозе 5 кг/а д.в. под основную обработку почвы.

Дифференцированная система удобрения сахарной свёклы позволяет получать в Южном Казахстане в среднем с каждого гектара посева по 500 - 550 ц корнеплодов с содержанием сахара 16 - 17%.

Сахарная свёкла – основной источник сахара для населения нашей страны. Сахаристость свёклы в настоящее время в среднем составляет 17 - 20%. При обеспечении свёклы минеральными удобрениями по полной потребности важен комплексный подход в оценке их действия не только на урожай корнеплодов, но и на содержание сахара в них, а также на накопление в корнеплодах растворимого «вредного» азота, растворимой (щелочной) золы, на доброкачественность очищенного сока, потери сахара в мелассе и на другие показатели. Увеличение количества растворимых форм азота и золы, особенно солей калия и натрия, в корнеплоде ухудшает качество сырья.

На качество корнеплодов большое влияние оказывают дозы и соотношение макроэлементов, обеспеченность ими. Причем оптимизацию удобрений нужно рассматривать во взаимосвязи с плодородием и окультуренностью почвы предшественниками, густотой насаждений и другими факторами, так как все они оказывают влияние на режим питания и продуктивность сахарной свёклы. Например, с увеличением площади питания растений сахарной свёклы усиливаются нитрификационные процессы в почве, что приводит к одностороннему азотному питанию растений, к уменьшению содержания сахара в корнеплодах, повышению в них количества небелкового азота и растворимой золы. Поэтому выход сахара снижается не только из-за низкой сахаристости свёклы, но и вследствие увеличения потерь сахара в патоке. Оптимальной густотой насаждения сахарной свёклы в основных свеклосеющих районах считается 80 - 90 тыс. растений на 1 га. На Украине при густоте стояния растений 90 тыс. растений на 1 га сахаристость корнеплодов составила 18,5%, при 74 - 18,1% и при 50 тыс. растений на 1 га – 17,4%.

С повышением доз удобрений снижаются сахаристость и технологические качества свёклы. Однако если они применяются при соотношении питательных элементов с учетом плодородия почвы, погодных условий, особенностей агротехники, этого не наблюдается. Необходима оптимизация удобрения свёклы в конкретных условиях ее возделывания (табл. 9.57).

Следовательно, применение высоких доз минеральных удобрений при правильном соотношении питательных элементов не снижает качества свёклы. Повышение доз азота снижало сахаристость свёклы, а с увеличением доз фосфора и калия с 60 до 120 кг/га сахаристость свёклы возрастала на 0,5 - 0,6%. Внесение этих элементов, даже по 180 кг (P_2O_5 и K_2O), практически не изменяло сахаристость корнеплодов. Азот обычно снижает сахаристость корнеплодов и доброкачественность сока, способствует большему накоплению «вредного» азота в корнеплодах, повышает потери сахара в мелассе и т.д.

9.57. Влияние минеральных удобрений на продуктивность сахарной свёклы

Варианты	Урожай корнеплодов, ц/га	Сахаристость, %	Сбор сахара, ц/га	Доброработность очищенного сока, %	Потери сахара в мелассе, %
Без удобрений	257	20,3	52,3	94,5	1,50
P ₈₀ K ₈₀	273	20,7	56,5	94,7	1,40
N ₈₀ K ₈₀ P ₈₀	293	19,4	57,0	91,3	2,26
N ₈₀ K ₈₀ P ₁₆₀	298	19,7	58,6	92,1	2,36
N ₁₆₀ K ₈₀ P ₁₆₀	304	19,4	59,0	88,9	3,00
N ₁₆₀ K ₁₂₀ P ₁₆₀	318	19,4	61,6	91,7	2,16

Фосфорные удобрения на азотно-калийном фоне улучшают качество корнеплодов благодаря существенному снижению содержания растворимых золы и азота. Особенно резко повышается урожай и сахаристость корнеплодов, если фосфор в почве находится в первом минимуме, поэтому с повышением содержания подвижного фосфора в почве заметно возрастает сахаристость сахарной свёклы.

Калий также положительно влияет практически на все технологические свойства сахарной свёклы, особенно при недостаточном калийном питании растений.

УДОБРЕНИЕ ХЛОПЧАТНИКА

Посевы хлопчатника широко распространены в среднеазиатских республиках, Южном Казахстане, Азербайджане. В районах орошаемого хлопководства Средней Азии большую часть хлопчатника возделывают на серозёмах и меньшую – на луговых и лугово-болотных почвах. Поливные незасоленные серозёмные почвы характеризуются низким содержанием перегноя (1 - 2%) и в связи с этим малым количеством азота (0,07 - 0,15%). В этих почвах содержится относительно повышенное количество фосфора (0,15 - 0,2%) и калия (1,5 - 3%). Поливные луговые почвы содержат 1,5 - 6% перегноя и 0,1 - 0,3% азота, что обуславливает лучшие их свойства по сравнению с серозёмами. Однако луговые почвы на небольшой глубине содержат закисные соединения, отрицательно действующие на развитие корней. Посевы хлопчатника в Казахстане размещены в основном на трех подтипах сероземных почв: тёмных, обыкновенных (типичных) и светлых серозёмах. Тёмные серозёмы обладают относительно высоким естественным плодородием: они содержат 2 - 2,5% гумуса и 0,12 - 0,15% азота. Светлые серозёмы содержат гумуса и азота в 2 раза меньше, типичные серозёмы занимают промежуточное положение по

плодородию. Усвояемыми формами фосфора наиболее богаты светлые серозёмы. Все подтипы сероземов хорошо обеспечены калием, что объясняется высоким его содержанием в почвообразующей породе (лёссе). Несколько меньше калия в разновидностях серозёмных почв легкого гранулометрического состава.

Почвенно-климатические условия накладывают определенный отпечаток на динамику превращения питательных веществ в почве. Аммиачный азот удобрений в почвах орошаемого хлопководства быстро нитрифицируется, и с восходящим током воды нитраты в значительном количестве поднимаются в поверхностный слой почвы (1 - 5 см). Поэтому при внесении удобрений до посева количество азота ко времени цветения хлопчатника в корнеобитаемом слое резко уменьшается и возникает необходимость в азотных подкормках. Кроме того, уменьшение выноса нитратов на поверхность почвы достигается совместным применением органических и минеральных удобрений.

На карбонатных почвах водорастворимые соединения фосфорной кислоты довольно быстро превращаются в трехзамещенные фосфаты кальция. Образование труднодоступных соединений фосфорной кислоты идет более интенсивно на луговых и лугово-болотных почвах, содержащих повышенное количество полуторных окислов. В связи со слабой подвижностью фосфатов в почве большую часть годовой дозы фосфорных удобрений необходимо вносить под вспашку и меньшую – в подкормку, заделывая туки на возможно большую глубину.

На образование 1 т хлопка-сырца в среднем расходуется 40 - 50 кг N, 15 - 20 кг P₂O₅ и 50 - 60 кг K₂O. Наибольшее количество питательных элементов потребляется хлопчатником в период от начала цветения до массового созревания. Несмотря на сравнительно небольшое потребление питательных веществ в первый период развития, хлопчатник чувствителен к недостатку легкоусвояемого в почве фосфора и азота. Наибольший прирост растений в первый период наблюдается при внесении в почву фосфорных удобрений. К периоду цветения и плодообразования лучше растут и развиваются растения, обеспеченные азотом, особенно азотом и фосфором.

Первый этап развития хлопчатника характеризуется расходом поступающих из почвы питательных веществ на построение вегетативной массы. На втором этапе (с фазы бутонизации) определяющим моментом являются перераспределение питательных веществ внутри растения, перемещение их из вегетативных органов в репродуктивные. Однако поступление питательных веществ из почвы не прекращается и может влиять на величину урожая.

Критическим в отношении азотного и фосфорного питания является начальный период развития хлопчатника. Задержка с внесением этих удобрений влечет за собой запаздывание наступления фаз бутонизации, цветения и раскрытия коробочек.

Оптимальные дозы удобрений под хлопчатник зависят от агро-технического фона (табл. 9.58).

9.58. Оптимальные дозы удобрений под хлопчатник на разных агрофонах

Регион	Агротехнический фон	Оптимальная доза, кг/га				Соотношение N:P:K	Урожай		Окупаемость 1 кг удобрений урожаем хлопка-сырца, кг
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	все-го		на контроле	на оптимальном удобрении	
Средняя Азия	Старопашка	230	160	52	442	1:0,7:0,22	26,0	39,8	3,1
	Пласт люцерны	112	142	51	305	1:1,27:0,45	26,9	38,8	3,9
	Оборот пласта	151	162	66	379	1:1,07:0,43	28,0	43,9	4,0
Азербайджан	Старопашка	99	70	13	182	1:0,7:0,13	23,4	30,2	3,7
	Пласт люцерны	44	123	–	167	1:2,9	24,0	32,3	4,5
	Оборот пласта	67	98		165	1:1,4	24,9	32,6	4,6

На большей части типичных и светлых сероземов Средней Азии по фону хлопковых старопашек лучшие результаты получаются при соотношении NPK 1 : 0,7 : 0,3, на луговых почвах – 1 : 0,8 : 0,5. На вновь осваиваемых землях и промывных солончаках в первые 2 - 3 года лучшая окупаемость удобрений достигается при соотношении N:P – 1 : 1, по пласту и обороту пласта – примерно 1 : 1,25 - 1,5. Из отдельных видов удобрений наибольшее значение для получения урожая имеют азотные и фосфорные удобрения. Роль калийных удобрений повышается при систематическом применении высоких доз азотных и фосфорных удобрений в связи со значительным ростом урожаев хлопчатника.

Под хлопчатник в условиях орошения удобрения вносят до посева под вспашку, при посеве и после посева. Время внесения и способы заделки удобрений в этих условиях имеют большое значение для повышения их эффективности.

Например, нитратный азот во время поливов перемещается вместе с водой в нижележащие горизонты почвы. В межполивные периоды при высокой температуре и низкой влажности воздуха происходит интенсивное испарение воды; с восходящим током воды

поднимаются и нитраты. Это приводит, как уже отмечалось, к скоплению нитратов в верхнем пересыхающем слое почвы, что затрудняет их использование корнями растений, развивающимися главным образом в нижних, более влажных слоях почвы. Применение аммиачных удобрений мало снижает подвижность азота, так как почвы орошаемого хлопководства характеризуются интенсивной биологической деятельностью, вследствие чего аммиачный азот быстро переходит в нитратный. Поэтому всю дозу азотных удобрений или большую часть ее вносят после посева в сочетании с поливами или при проведении междурядных обработок хлопчатника.

При невысоких годовых дозах азота послепосевное внесение всего количества азотных удобрений является более эффективным. Большую дозу азота целесообразно разделять по срокам внесения. Меньшую часть годовой дозы вносят под зяблевую вспашку, а большую – в качестве послепосевого удобрения. При таком способе применения азотных удобрений эффективность их повышается. Во избежание потерь нецелесообразно внесение азотных удобрений до посева на полях с высоким уровнем грунтовой воды, на засоленных почвах, требующих осенне-зимних промывных поливов, и на почвах, залегающих на галечнике и песке.

Суперфосфат, попадая в почву, переходит в нерастворимые формы, не успевая переместиться сколько-нибудь существенно вниз по профилю почвы. Осажденные фосфаты прекрасно используются корнями хлопчатника и действуют на протяжении ряда лет. Для повышения эффективности фосфорных удобрений большое значение имеет глубокая их заделка. Поэтому всю дозу фосфора или большую её часть вносят до посева под глубокую вспашку. Перенесение суперфосфата в подкормку снижает его эффективность. Однако если суперфосфат вносят в повышенных дозах, то часть его целесообразно перенести из основного удобрения в подкормку и глубоко заделать.

Действие калийных удобрений на урожай хлопчатника менее изучено. При применении невысоких доз азотных и фосфорных удобрений влияние калийных удобрений проявляется слабо. При увеличении доз азотных и фосфорных удобрений отчетливо проявляется эффект от калийных удобрений, обычно при урожае хлопка-сырца 25 - 30 ц/га и выше. При повышенных дозах калийных удобрений примерно половину целесообразно вносить до посева под глубокую вспашку, а половину – в период бутонизации и начала цветения, глубоко заделывая их во время междурядных обработок. При невысоких дозах калийные удобрения рекомендуется вносить в подкормку совместно с азотными и фосфорными в фазу бутонизации.

Увеличение дозы калия особенно целесообразно в первые годы после распашки люцерны. На незасоленных, слабо- и средnezасоленных мощных почвах при годовых нормах P_2O_5 свыше 100 кг/га и K_2O свыше 50 кг под весеннюю вспашку следует вносить 60 - 70% годовой нормы фосфорных и 50% годовой нормы калийных удобрений. При годовой норме азота до 200 кг под весеннюю вспашку его вносят 25 - 30%, при более высокой норме – 40 - 50%. Если осенью были внесены фосфорные и калийные удобрения, то азотные вносят под предпосевную обработку почвы. На сильно-засоленных землях, где промывные поливы проводят по вспаханной почве, удобрения вносят перед посевом после промыва в таких же дозах, как указано выше. На всех почвах, особенно неудобренных или удобренных неполной дозой, рекомендуется вносить одновременно с посевом хлопчатника 15 - 20 кг N и 20 - 40 кг P_2O_5 на 1 га.

Количество подкормок хлопчатника, сроки их проведения и дозы удобрений устанавливают с учетом основного внесения до посева, наличием их в хозяйстве, состоянием растений и т.д. Если до посева были внесены азотные удобрения и для внесения в процессе вегетации их осталось не более 100 кг/га, то лучше внести их в две подкормки: в начале бутонизации и в начале цветения. Если же для подкормок запланировано большее количество удобрений, то их необходимо внести в три подкормки: при появлении 1 - 2 настоящих листьев, в фазу бутонизации и в начале цветения. Оставшуюся часть калийных удобрений лучше вносить вместе с азотными во вторую подкормку, а часть фосфорных удобрений – в третью подкормку вместе с азотными удобрениями. Удобрения при первой подкормке вносят на расстоянии 15 - 18 см от рядка, при второй (в фазу бутонизации) – на расстоянии 20 - 22 см от растений, а при третьей – в середину междурядья шириной 60 см, при более широких междурядьях – на расстоянии 30 - 35 см от растений.

На хорошо дренируемых почвах азотные удобрения вносят небольшими дозами, но чаще – при междурядной обработке после полива во избежание возможных потерь азота. На менее дренированных почвах удобрения вносят реже, но несколько большими дозами до полива во время нарезки борозд.

Хлопчатник возделывают обычно в севообороте с люцерной (2 - 3 поля люцерны и 3 - 6 полей хлопчатника). Наличие в севообороте люцерны способствует получению высоких и устойчивых урожаев хлопчатника при меньших затратах удобрений на 1 га пашни по сравнению с монокультурой хлопчатника. Люцерна значительно повышает урожай хлопчатника, особенно в первые годы после распашки. При этом создаются условия для эффективного при-

менения фосфорных и калийных удобрений, так как люцерна за 2 - 3 года накапливает в почве значительное количество азота. Дозы удобрений для отдельных полей хлопчатника устанавливаются в зависимости от плодородия почвы, планируемого урожая, удаленности от поля травяного пласта и обеспеченности хозяйства органическими и минеральными удобрениями. Обычно более высокие дозы удобрений вносят в конце ротации севооборота. По мере удаления хлопчатника от поля травяного пласта дозы азотных удобрений необходимо увеличивать, при этом значение фосфорных удобрений относительно уменьшается.

УДОБРЕНИЕ ПОДСОЛНЕЧНИКА

Подсолнечник – основная масличная культура в нашей стране. Её выращивают на Украине, Северном Кавказе, в Поволжье, Центральной чернозёмной зоне, Ростовской области, а также в Молдавии и Казахстане.

Подсолнечник имеет хорошо развитую стержневую корневую систему, проникающую на глубину 2 - 3 м и более. Эта культура хотя и считается засухоустойчивой, но для получения высоких урожаев необходимо наличие достаточных запасов влаги в почве. В районах недостаточного увлажнения при высоких урожаях предшествующих культур обычно используется вся доступная влага на глубине 2 м и более. Осенние, зимние и ранневесенние осадки полностью не восполняют запасы влаги. Наличие сухой прослойки почвы препятствует нормальному развитию корневой системы подсолнечника. Растения в этом случае, особенно в период цветения и налива зерна, страдают от недостатка влаги в почве. При этом формируются мелкие корзинки с большой пустозерностью и щуплыми семенами. В зависимости от обеспеченности подсолнечника влагой формируются семена с различной масличностью. Более высокая масличность семян подсолнечника наблюдается в увлажненных лесостепных районах, пониженная – в степных районах. Масличность семян подсолнечника бывает большей также при поливе. Это объясняется большим содержанием в листьях водорастворимых сахаров и крахмала. Вынос питательных веществ растениями подсолнечника колеблется в зависимости от плодородия почвы и высоты урожая. В среднем с урожаем вынос на 1 т семян составляет N – 50 - 70, P₂O₅ – 20 - 25, K₂O – 100 - 120 кг. В процессе вегетации подсолнечник поглощает питательные вещества неравномерно. В фазе активного роста азота потребляется более половины, а фосфора и калия – всего лишь 1/4 часть от максимального количества. Наибольшее количество фосфора и калия (около 70%) поступает в растение после цветения, в фазы формирования и налива семян.

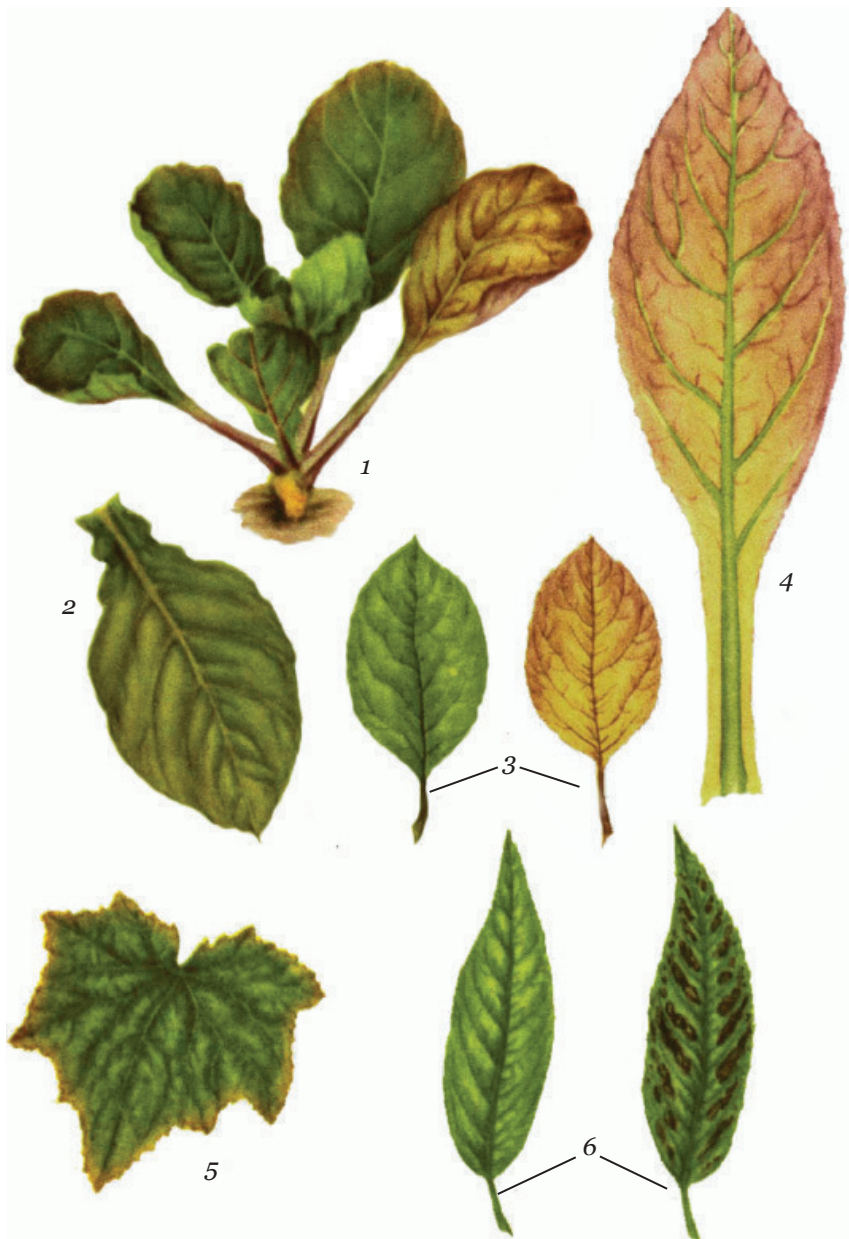


Рисунок 1. Признаки азотного голодания у растений. 1 – капуста белокочанная, 2 – табак, 3 – яблоня (две последовательные стадии голодания), 4 – цветная капуста, 5 – огурцы, 6 – персик (две последовательные стадии голодания)



Рисунок 2. Признаки азотного голодания у растений. 1 – сахарная свёкла, 2 – картофель, 3 – кукуруза (две последовательные стадии голодания), 4 – махорка, 5 – костёр, 6 – конопля



Рисунок 3. Признаки фосфорного голодания у растений. 1 – кукуруза, 2 – овёс, 3 – кормовая свёкла (две последовательные стадии голодания), 4 – сахарная свёкла, 5 – картофель (всё растение и нижний лист)

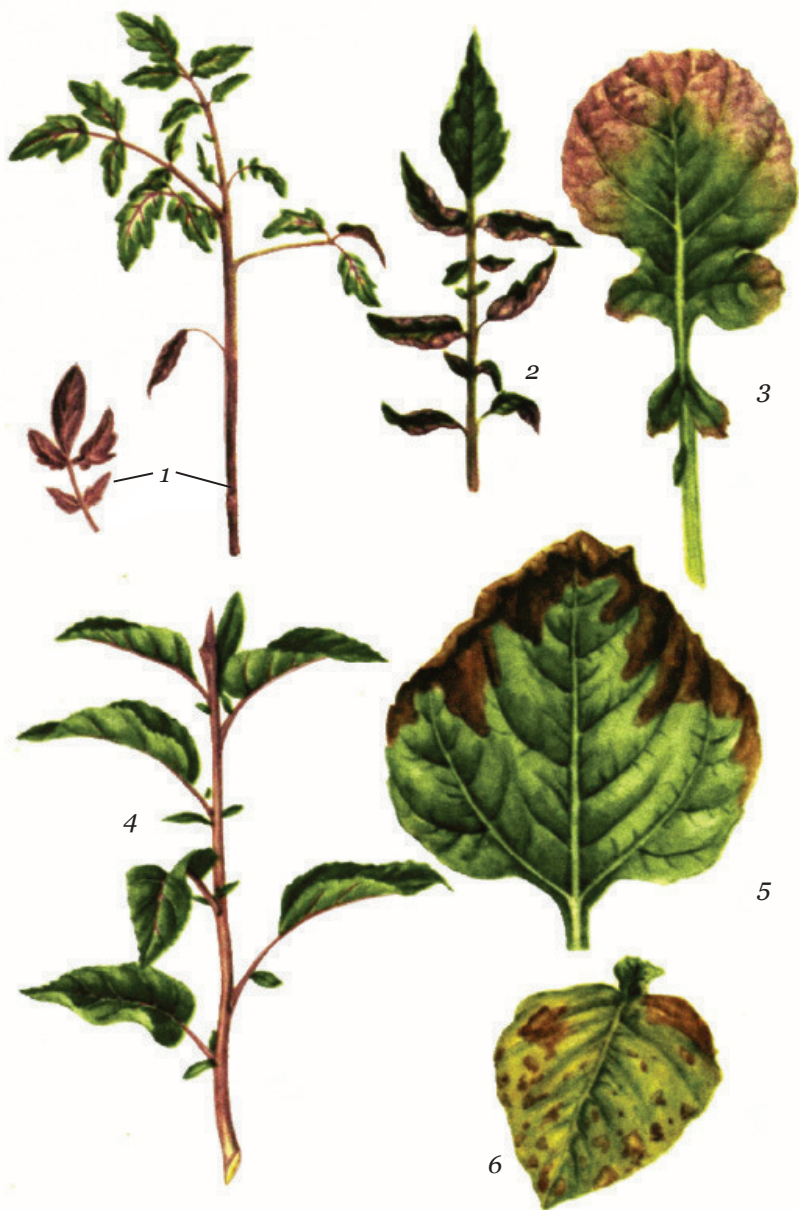


Рисунок 4. Признаки фосфорного голодания у растений.

1 – томаты (верхушка растения и отдельный лист с нижней стороны),
2 – томаты при умеренном голодании, 3 – брюква, 4 – яблоня,
5 – подсолнечник, 6 – табак



Рисунок 5. Признаки калийного голодания у растений.

*1 – кукуруза, 2 – просо, 3 – фасоль, 4 – сорго, 5 – соя, 6 – гречиха,
7 – овёс, 8 – горох*



Рисунок 6. Признаки калийного голодания у растений.

1 – клевер, 2 – клевер в молодом возрасте, 3 – эспарцет, 4 – эспарцет в молодом возрасте, 5 – суданка, 6 – тимopheевка, 7 – белый донник, 8 – люцерна, 9 – вика



Рисунок 7. Признаки калийного голодания у растений. 1 – капуста, 2 – подсолнечник, 3 – кормовая свёкла сорта “Перагис”, 4 – кормовая свёкла сорта “Эккендорфская жёлтая”, 5 – подсолнечник в молодом возрасте, 6 – люпин



Рисунок 8. Признаки калийного голодания у растений.

1 – картофель, 2 – сахарная свёкла, 3 – конопля, 4 и 5 – хлопчатник, 6 – земляная груша, 7 – табак, 8 – лён



Рисунок 9. Признаки калийного голодания у растений.
1 – редис, 2 – морковь, 3 – огурцы, 4 – томаты, 5 – бобы,
6 – столовая свёкла, 7 – лук



Рисунок 10. Признаки калийного голодания у растений. 1 – вишня, 2 – яблоня, 3 – груша, 4 – персик (лист и побег), 5 – земляника, 6 – абрикос, 7 – красная смородина, 8 – чёрная смородина

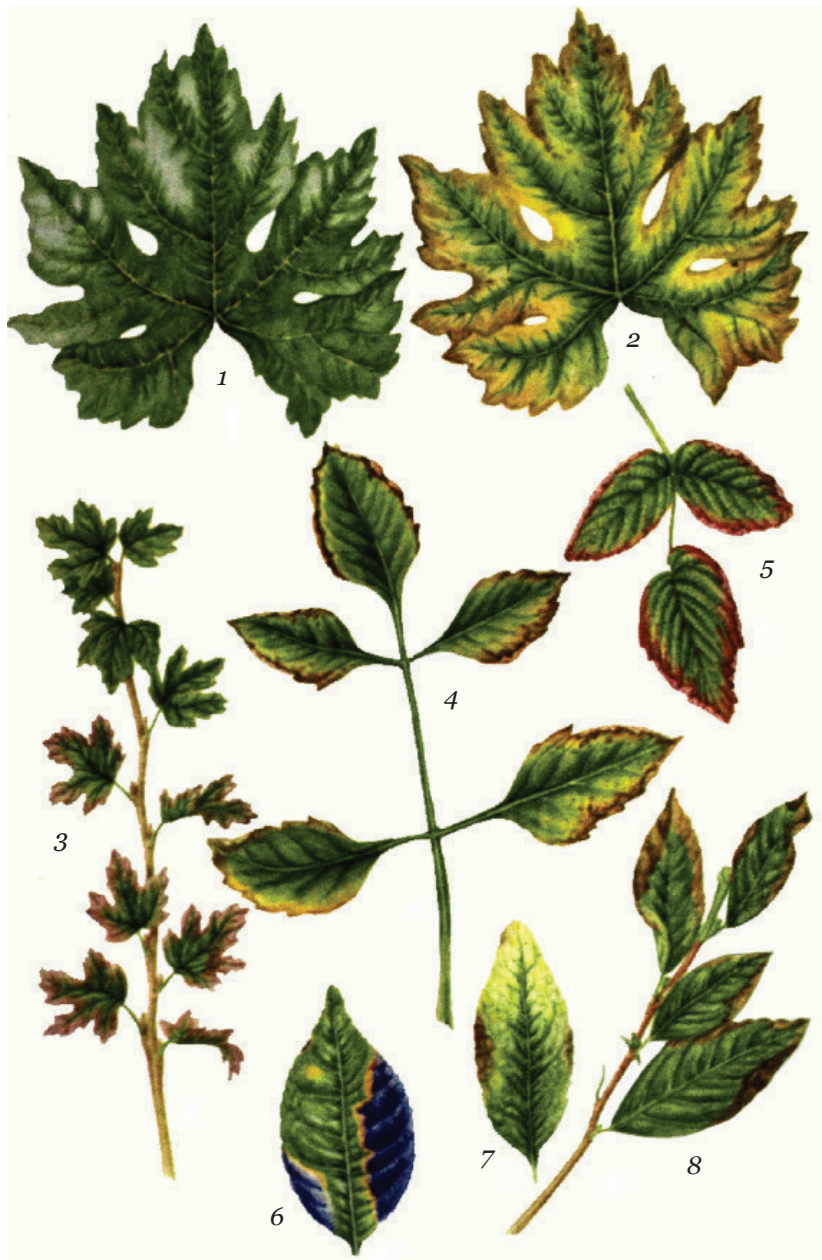


Рисунок 11. Признаки калийного голодания у растений.

*1 и 2 – виноград (два сорта), 3 – крыжовник, 4 – георгины, 5 – малина,
6 и 7 – чай (два сорта), 8 – чай, побег*



Рисунок 12. Признаки борного голодания у растений. 1 – сахарная свёкла, 2 – люцерна, 3 – подсолнечник, 4 – горчица (цветонос), 5 – клевер в молодом возрасте, 6 – фасоль в молодом возрасте, 7 – морковь, 8 – горчица (нижние листья), 9 – столовая свёкла

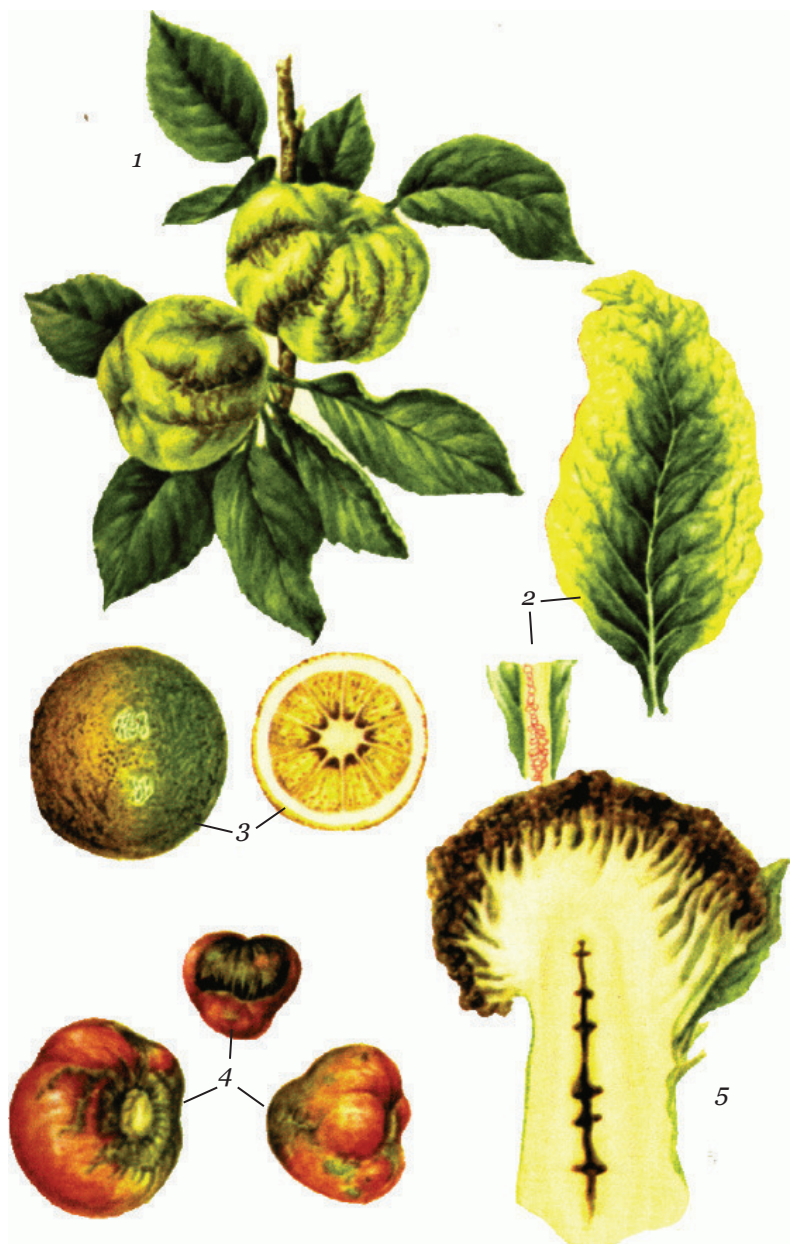


Рисунок 13. Признаки борного голодания у растений. 1 – яблоня, 2 – цветная капуста, 3 – цитрусовые (плоды) 4 – томаты (плоды), 5 – цветная капуста

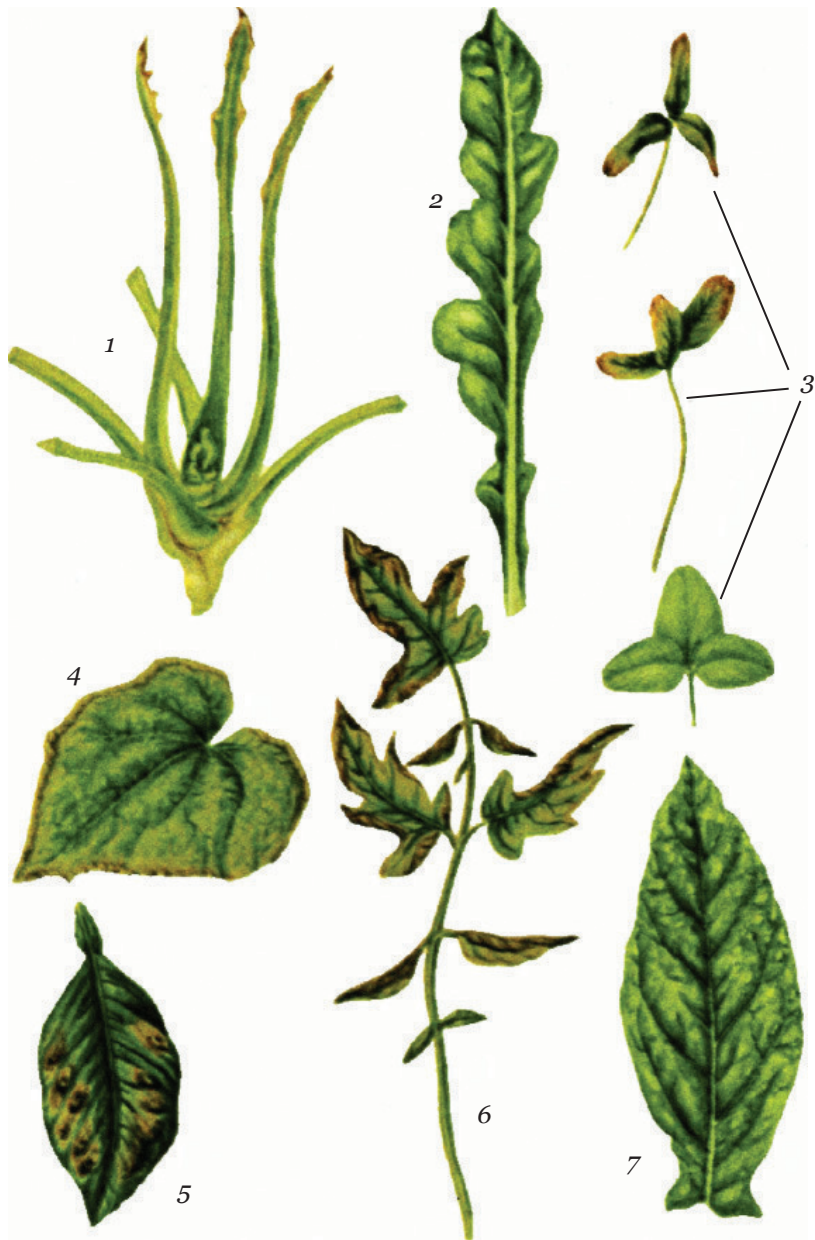


Рисунок 14. Признаки молибденового голодания у растений. 1 – цветная капуста (наружные листья нормального вида не изображены), 2 – цветная капуста (лист), 3 – клевер (лист; снизу – начальная стадия голодания), 4 – огурцы, 5 – лимон, 6 – томаты, 7 – табак



Рисунок 15. Признаки медного голодания у растений. 1 – яблоня, 2 – лимон, 3 – груша, 4 – овёс, 5 – лук, 6 – апельсин



Рисунок 16. Признаки цинкового голодания у растений. 1 – яблоня, 2 – лимон, 3 – слива, 4 – вишня, 5 – абрикос, 6 – груша, 7 – персик (две последовательные стадии голодания), 8 – соя, 9 – хлопчатник, 10 – фасоль

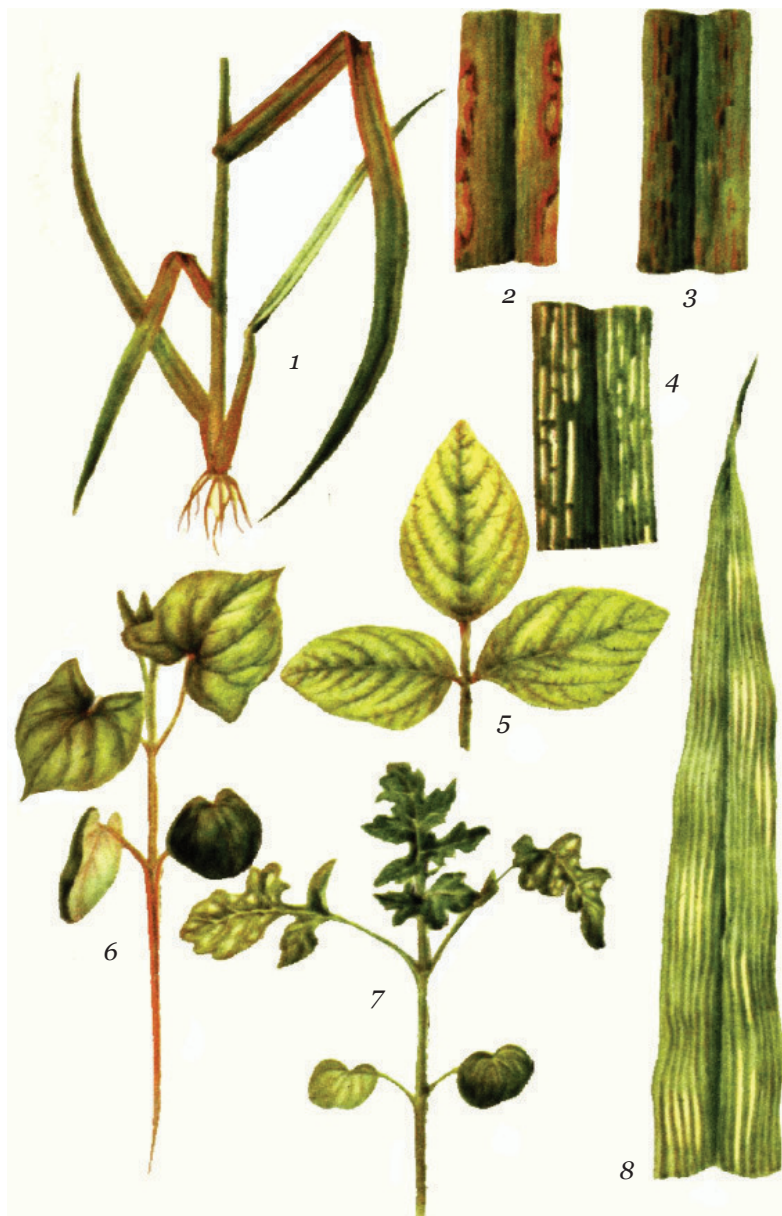


Рисунок 17. Признаки марганцевого голодания у растений. 1 – овёс, 2 – овёс (часть пластинки листа при увеличении), 3 – ячмень (часть пластинки листа при увеличении), 4 – пшеница (часть пластинки листа при увеличении), 5 – соя, 6 – гречиха, 7 – горчица, 8 – кукуруза



*Рисунок 18. Признаки марганцевого голодания у растений.
1 – подсолнечник, 2 – мак, 3 – картофель, 4 – хмель, 5 – сахарная свёкла*



Рисунок 19. Признаки марганцевого голодания у растений. 1 – капуста белокочанная, 2 – фасоль, 3 – петрушка, 4 – лук, 5 – томаты, 6 – огурцы, 7 – бобы, 8 – морковь, 9 – редька, 10 – кабачки

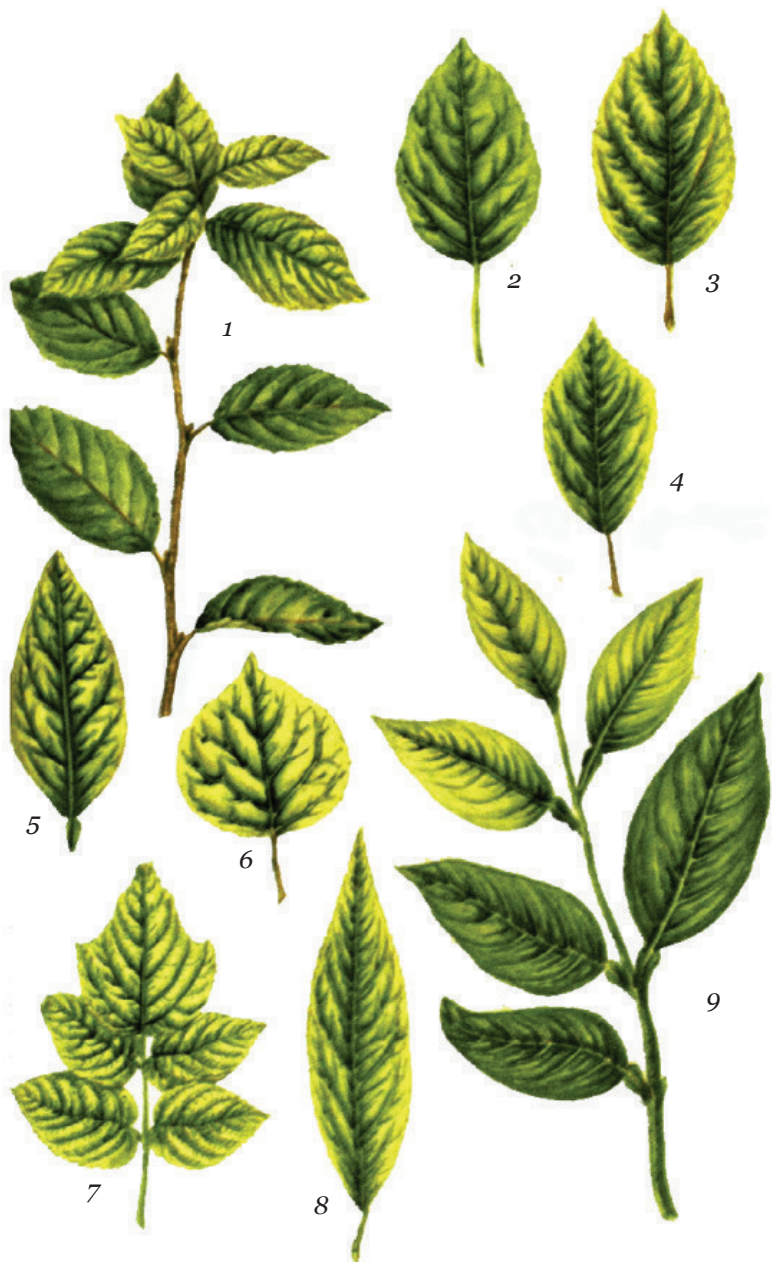


Рисунок 20. Признаки марганцевого голодания у растений. 1 – вишня, 2 – груша, 3 – яблоня, 4 – слива, 5 – грейпфрут, 6 – абрикос, 7 – малина, 8 – персик, 9 – цитрусовые

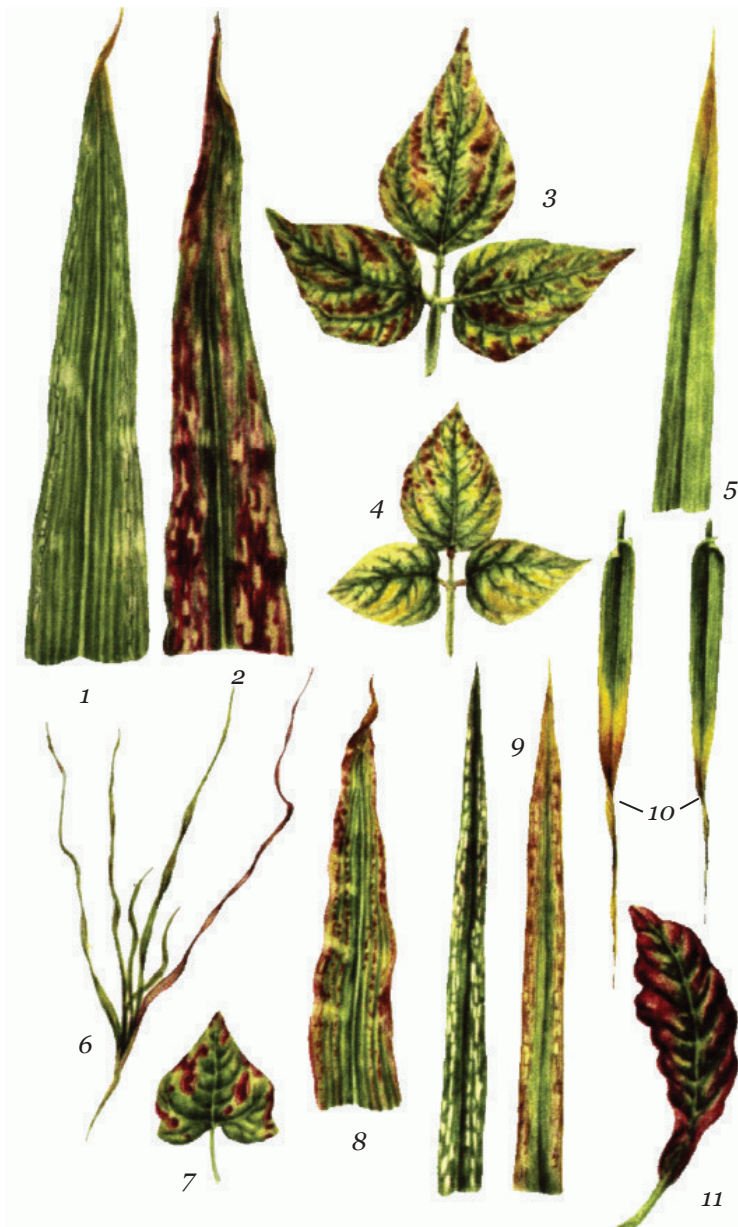


Рисунок 21. Признаки магниевого голодания у растений. 1 – кукуруза, 2 – кукуруза (на кислой почве), 3 – фасоль, 4 – соя, 5 – просо, 6 – рожь, 7 – гречиха, 8 – сорго, 9 – овёс (две последовательные стадии), 10 – ячмень, 11 – цикорий



Рисунок 22. Признаки магниевого голодания у растений. 1 – люцерна, 2 – клевер, 3 – тимофеевка, 4 – эспарцет, 5 – костёр, 6 – многолетний синий люпин, 7 – кормовой жёлтый люпин

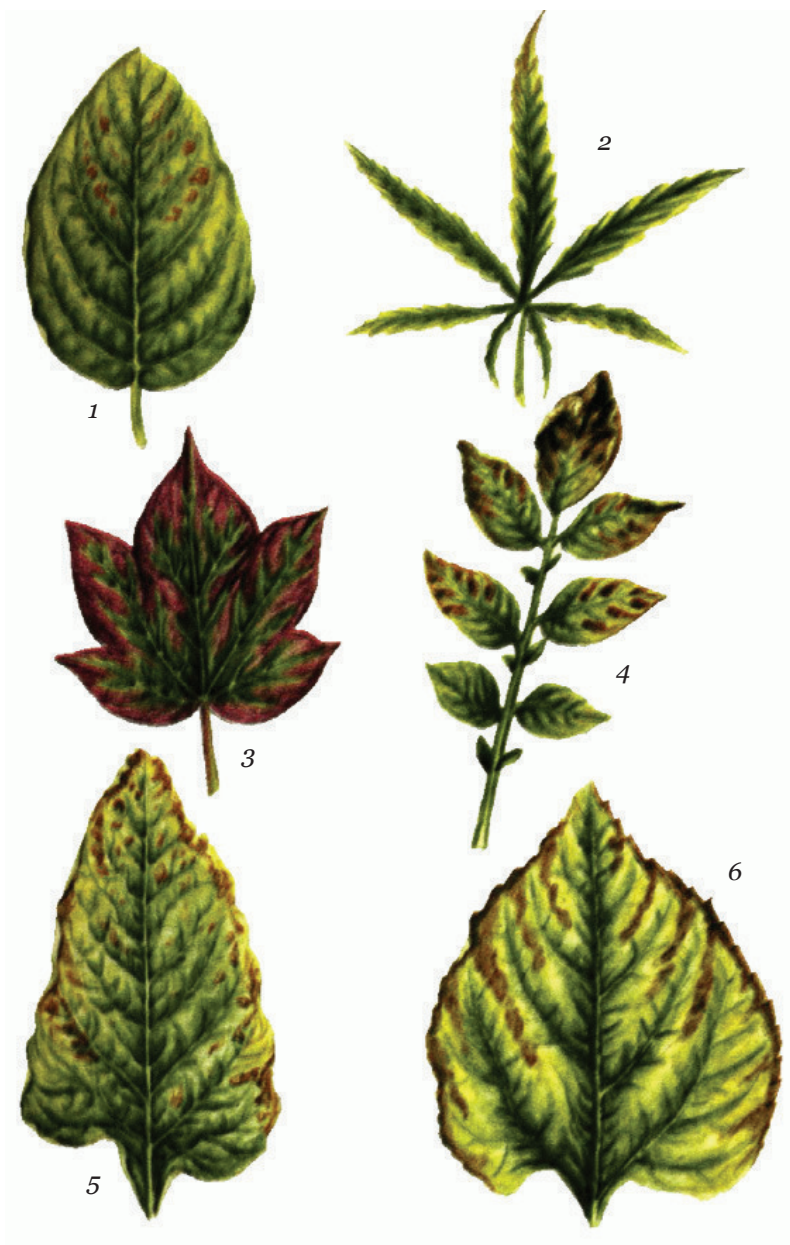


Рисунок 23. Признаки магниевого голодания у растений. 1 – табак, 2 – конопля, 3 – хлопчатник, 4 – картофель, 5 – сахарная свёкла, 6 – подсолнечник



Рисунок 24. Признаки магниевого голодания у растений. 1 – капуста белокочанная, 2 – томаты, 3 – кабачки, 4 – столовая свёкла, 5 – огурцы, 6 – репа



Рисунок 25. Признаки магниевого голодания у растений. 1 – яблоня (побе), 2 – яблоня, сорт “Антоновка”, 3 – яблоня, сорт “Коричное полосатое”, 4 – виноград, 5 – вишня, 6 – чёрная смородина, 7 – сирень, 8 – липа, 9 – жимолость

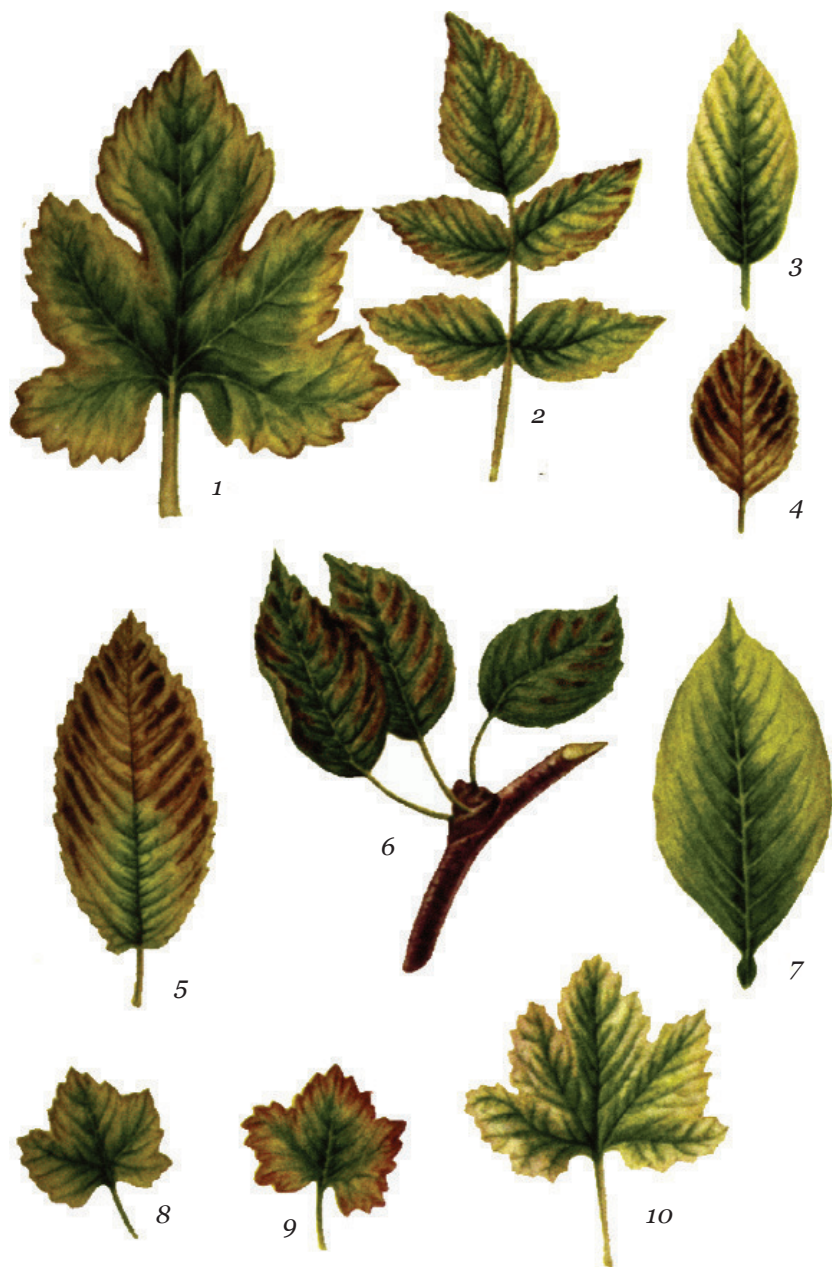


Рисунок 26. Признаки магниевого голодания у растений. 1 – виноград, 2 – малина, 3 – слива, 4 – вишня (вторая стадия), 5 – черешня, 6 – груша, 7 – лимон, 8 и 9 – крыжовник, 10 – белая смородина



Рисунок 27. Признаки магниевого голодания у растений. 1 – капуста кормовая, 2 – турнепс, 3 и 4 – кормовая свёкла, 5 – табак, 6 – брюква

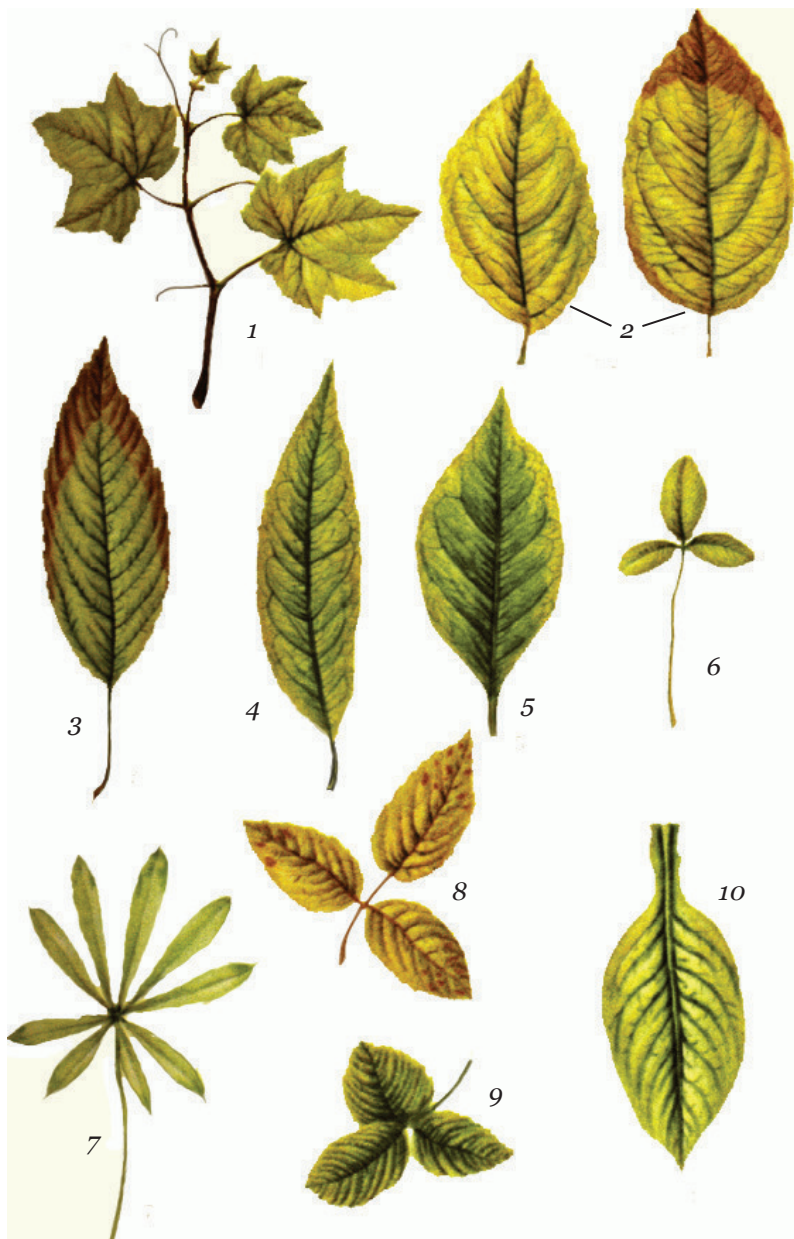


Рисунок 28. Признаки железного голодания у растений. 1 – виноград, 2 – яблоня (две последовательные стадии), 3 – черешня, 4 – персик, 5 – цитрусовые, 6 – клевер, 7 – люпин, 8 – малина, 9 – земляника, 10 – табак

Различные питательные вещества по-разному действуют на рост, развитие и урожай подсолнечника. Азот в сочетании с другими питательными элементами усиливает рост растений, способствует формированию более крупных растений и корзинок подсолнечника. Однако избыточное азотное питание неблагоприятно сказывается на накоплении масла в семенах. В этом случае повышается содержание белка в семенах и резко снижается их масличность.

Фосфор способствует более мощному развитию корневой системы подсолнечника, заложению репродуктивных органов с большим количеством зачаточных цветков в корзинке. При достаточном фосфорном питании ускоряется развитие растений, экономнее расходуется влага, в результате чего они более стойко переносят засуху и недостаток влаги в почве. При усиленном фосфорном питании резко снижается транспирационный коэффициент у растений.

Большее накопление масла в семенах происходит обычно при достаточном обеспечении растений фосфором. По своему действию азотные и фосфорные удобрения дополняют друг друга. Важное значение в питании подсолнечника играет калий, который в значительной мере влияет на фотосинтез и углеводный обмен в растениях. Эффективность различных сочетаний и доз минеральных удобрений в значительной мере определяется почвенно-климатическими условиями и предшествующими культурами, которые оставляют после себя различное количество неиспользованных питательных веществ.

Система удобрения подсолнечника складывается из трех приемов: основного (допосевного), припосевного и подкормок. Отзывчивость подсолнечника на основные элементы питания изучалась давно. В полевых опытах под подсолнечник вносили сульфат аммония, суперфосфат и калийную соль в обычных дозах 45 - 60 кг действующего вещества на 1 га. В результате было установлено, что на предкавказских выщелоченных и карбонатных чернозёмах подсолнечник положительно отзывается на внесение одного суперфосфата. Однако наибольший эффект на всех предкавказских чернозёмах получался от внесения азотно-фосфорного удобрения, которое существенно повышало урожай подсолнечника. Добавление к азотно-фосфорному сочетанию калийного удобрения снижало урожай, и лишь на карбонатном черноземе от NP и NPK получены одинаковые результаты.

Несмотря на очень высокий вынос калия из почвы с урожаем подсолнечника, внесение калийных удобрений на всех предкавказских выщелоченных и карбонатных чернозёмах под эту культуру положительных результатов не дает. Это можно объяснить тем, что в карбонатных и выщелоченных чернозёмах Кубани содержится много

калия и корневая система подсолнечника хорошо его усваивает. В последние годы в связи с применением азотно-фосфорных удобрений, интенсивным использованием пахотных земель и мобилизацией почвенного калия наблюдается отзывчивость подсолнечника на тройное удобрение.

В Центральной черноземной зоне основное внесение минеральных удобрений под подсолнечник дает высокий эффект. На сильно выщелоченных и выщелоченных черноземах внесение одного фосфорного удобрения повышает урожай подсолнечника на 2 - 3 ц/га, совместное внесение его с азотом ($N_{60}P_{60}$) способствует ещё большему повышению урожая (прибавка 4 ц/га семян и более).

Калийное удобрение эффективно на выщелоченном супесчаном черноземе при совместном внесении с фосфорным и на мощном чернозёме при совместном внесении с фосфорным и азотно-фосфорным удобрением. На карбонатных и выщелоченных чернозёмах степной и лесостепной зон наибольшие прибавки урожая семян подсолнечника и высокая экономическая эффективность получены при внесении по 45 - 60 кг действующего вещества каждого питательного элемента. Более высокие дозы азотно-фосфорных удобрений, а тем более калийных не оказывают существенного влияния на урожай подсолнечника.

В лесостепи Поволжья внесение под вспашку зяби $N_{30}P_{45}$ повышало урожай зерна на 1,6 - 3,4 ц/га, а полное удобрение $N_{30}P_{45}K_{30}$ — на 1,8 - 4 ц/га.

В Ставропольском крае определены оптимальные дозы удобрений для подсолнечника в зависимости от почвы. На выщелоченных предкавказских чернозёмах — $N_{45-60}P_{60-90}$ или $N_{45}P_{60}K_{30}$, на карбонатных чернозёмах — $N_{60}P_{60}K_{20}$, на каштановых почвах — $N_{45}P_{60}$. При оптимальном режиме питания подсолнечник повышает урожай семян до 5 ц/га и более, масличность семян возрастает на 2 - 3%.

В лесостепи Украины под подсолнечник рекомендуются следующие дозы минеральных удобрений: на мощных чернозёмах — $N_{30}P_{60}K_{30}$, на оподзоленных чернозёмах, тёмно-серых и серых лесостепных почвах — $N_{45}P_{60}K_{90}$.

В засушливых степных районах с недостаточным увлажнением на обыкновенных карбонатных и южных чернозёмах наибольшее повышение урожая семян подсолнечника получено от внесения под зяблевую вспашку одного суперфосфата (P_{45-60}). Это объясняется тем, что в засушливых степных районах усиленное азотное питание снижает устойчивость растений к засухе, что приводит к снижению урожая семян и их масличности, а фосфорное — улучшает развитие корневой системы и способствует экономному расходованию влаги.

Наибольший эффект от минеральных удобрений получается при внесении их на чернозёмных почвах под зяблевую вспашку. Удобрения, внесенные весной под культивацию зяби, менее эффективны по сравнению с осенним внесением. Весной под предпосевную культивацию целесообразно вносить легкоподвижные азотные удобрения (аммиачную селитру, аммиачную воду и др.).

Эффективность навоза при внесении его под подсолнечник в значительной мере определяется обеспеченностью влагой и почвенной разностью. На предкавказских слабовыщелоченных и выщелоченных чернозёмах прибавки урожая семян подсолнечника от навоза доходили до 5 ц/га. В зоне неустойчивого увлажнения на предкавказских карбонатных чернозёмах эффективность навоза несколько меньшая (прибавки урожая около 3 ц/га). В засушливой зоне на обыкновенных и южных чернозёмах Ростовской, Саратовской и Куйбышевской областей действие навоза более низкое (прибавки в среднем около 2 ц/га). В севооборотах с сахарной свёклой навоз целесообразно вносить под эту культуру, а минеральные удобрения – под подсолнечник: он хорошо отзывается на последствие навоза.

Хорошие результаты дает применение птичьего помета под подсолнечник. Так внесение осенью под вспашку перепревшего индюшиного помета на подстилке из подсолнечной лузги в дозах 7,5 - 10 т/га на чернозёме обыкновенном в Ростовской области способствовало повышению урожайности семян на 0,6 - 0,7 т/га, а масличности на 4,0%. Эффект от помета был выше, чем от минеральных удобрений вследствие более равномерного пополнения запаса питательных веществ в почве в течение вегетации подсолнечника, обусловленного постепенной минерализацией помёта.

Заметную прибавку урожая дает внесение в рядки небольших доз азотно-фосфорных, а в ряде случаев фосфорных и фосфорно-калийных туков (табл. 9.59). Наиболее эффективной дозой полного минерального удобрения для рядкового внесения на обыкновенных и южных чернозёмах является $N_{10}P_{20}K_{10}$. Урожай семян подсолнечника от такого удобрения повышается на 2 - 2,5 ц/га.

Однако при гнездовом способе внесения удобрений высокий эффект получается только в том случае, когда семена подсолнечника и суперфосфат разделены слоем почвы, так как суперфосфат отрицательно влияет на всхожесть семян, что объясняется наличием в нем свободной кислоты. На карбонатном чернозёме отрицательного влияния суперфосфата на всхожесть при внесении его вместе с семенами не отмечалось. Это объясняется наличием в карбонатном чернозёме достаточного количества кальция для нейтрализации повышенной кислотности, созданной внесенным суперфосфатом.

При внесении суперфосфата сбоку гнезд отрицательного влияния от очагового повышения кислотности почвы на всхожесть семян и на корневую систему подсолнечника не наблюдалось.

9.59. Действие рядкового внесения удобрений на урожай семян подсолнечника

Регион (страна), зона, район	Чернозём	Доза удобрений	Урожай без удобрений	Прибавка урожая
			ц/га	
Центральные чернозёмные районы, лесостепь	южный типичный	$N_{20}P_{20}$	19,5	2,3
		$N_{10}P_{20}$	18,9	1,7
Краснодарский край	выщелоченный	$N_{10}P_{10}$	25,1	0,9
Центральные черноземные районы, Поволжье, Северный Кавказ, степь	обыкновенный карбонатный	P_{20}	12,8	2,8
		$P_{20}K_{20}$	9,2	3,6
Степь Украины	обыкновенный	$N_{10}P_{20}$	21,7	2,3

Наибольший эффект подкормка дает при внесении удобрений во влажный слой без повреждения корневой системы растений. Подкормка неэффективна при мелкой заделке удобрений, когда они попадают в сухой слой почвы, а также и при глубокой, когда удобрения вносят слишком близко к растениям и повреждают корни. Лучший эффект получается при ранней подкормке культиваторами-растениепитателями одновременно с первой культивацией на глубину 8 - 10 см и на расстояние 15 - 20 см от рядка растений. Прежде всего подкормку проводят на полях, не получивших удобрения с осени, а тем более и при посеве. Наиболее целесообразна подкормка азотными удобрениями (N_{30}). В районах, хорошо обеспеченных влагой, иногда добавляют калийные удобрения (K_{20-30}).

УДОБРЕНИЕ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА

Лён возделывают в основном в дерново-подзолистой зоне. В европейской части Нечерноземной зоны находятся 90% посевов льна России. Лучшими для него являются средние и легкосуглинистые дерново-подзолистые, хорошо окультуренные почвы. Лён не выносит повышенной кислотности почвы. Благоприятна для этой культуры слабокислая среда (рН 5,5 - 6,5). При повышенной кислотности он страдает от токсического действия ионов алюминия. Содержание подвижного алюминия более 2 мг на 100 г почвы оказывает на лён вредное действие.

На известкованных и естественных карбонатных почвах лён страдает от избытка ионов кальция и недостатка бора, что приводит к различным бактериальным заболеваниям. При умеренном известковании, особенно с применением борных удобрений, лён хорошо растет. Неблагоприятное действие на лён оказывают ионы хлора.

В начале вегетации лён растет медленно, в период бутонизации и цветения – усиленно. Корневая система у него развита слабо, имеет малоразветвленный стержневой корень. Это является одним из факторов, обуславливающих повышенные требования льна к содержанию в почве легкодоступных питательных веществ. Кроме того, корни льна обладают слабой способностью усваивать питательные вещества из труднодоступных соединений.

Вынос питательных веществ льна на единицу урожая не является постоянной величиной и колеблется в зависимости от почвенно-климатических условий, агротехники и сорта льна. На 1 ц волокна лён выносит из почвы в среднем около 7 - 8 кг N, 3 - 4 кг P₂O₅ и 7 - 10 кг K₂O. Питательные вещества по периодам роста поглощаются льном неравномерно. От всходов до бутонизации он потребляет относительно небольшое количество питательных веществ. Например, до цветения лён поглощает примерно 30% азота и около 15% фосфора от максимального его содержания в урожае. А за короткий период от начала до массового цветения потребление азота достигает 90% и более, а фосфора к концу цветения – более 50%.

Несмотря на относительно небольшое потребление азота льном в первый период вегетации, для получения высокого урожая требуется уже в это время достаточный уровень азотного питания. Критический период в питании льна азотом – от фазы «ёлочки» до бутонизации. Однако обильное одностороннее питание льна азотом в этот период может вызвать утолщение стеблей, полегание льна, а следовательно, уменьшение выхода волокна и ухудшение его качества.

Недостаток фосфора особенно сказывается в первые дни роста льна, после появления всходов. Критический период в питании льна фосфором – от начала роста растений до образования 5 - 6 пар листьев. Недостаток фосфора в этот период резко снижает урожай соломки и семян, что не исправляется дальнейшим обеспечением льна фосфором. Последующее фосфорное голодание льна также отрицательно сказывается на его развитии, но менее резко, чем в начале вегетации. Фосфорные удобрения повышают урожай льна и улучшают его качество, увеличивая длину, прочность и выход волокна.

Максимум поглощения калия относится к периоду бутонизации и цветения льна. Второй максимум интенсивного поступления фосфора и калия наблюдается в период образования коробочек. Калий существенно улучшает качество урожая льна-долгунца.

Короткий период поступления большей части элементов питания, слаборазвитая корневая система с относительно низкой усвояющей способностью элементов пищи из труднорастворимых соединений характеризуют лен как растение, требовательное к питательному режиму почвы. Поэтому высокие и устойчивые урожаи льна можно получать только на плодородных, заправленных удобрениями почвах.

По клеверищу более высокое действие проявлялось от внесения фосфорных и калийных удобрений, так как в этом случае клевер накапливал достаточное количество азота в почве, поэтому действие азотных удобрений по клеверищу было несколько слабее, чем после картофеля и озимой ржи. После бобовых предшественников лён хорошо отзывается на внесение умеренных доз азотных удобрений (20 - 30 кг N на 1 га), если дозы фосфорно-калийных удобрений повышают до 60 - 90 кг P₂O₅ и 90 - 120 кг K₂O. В этом случае соотношение N : P : K было 1 : 3 : 4. При размещении льна после озимых или картофеля роль азота намного возрастает и его дозу надо повысить до 45 - 60 кг/га, с тем чтобы соотношение N : P : K было как 1 : 2 : 2. Нарушение правильного соотношения питательных элементов в удобрении, особенно применение более высоких доз азота, приводит к снижению урожая, ухудшению его качества: понижается выход и номерность волокна.

Применение минеральных удобрений обеспечивает получение следующих прибавок урожая льноволокна: на дерново-подзолистых супесчаных почвах – 3,6 ц при внесении N₆₀P₆₀K₈₀ (урожай на контроле без удобрений 7,3 ц), на дерново-подзолистых суглинистых почвах – 2,0 ц от N₄₅P₆₀K₆₀ (урожай на контроле 6,9 ц), на серых лесных почвах – 3,1 ц от N₄₅P₆₀K₆ (урожай на контроле 9 ц). В центральном районе Нечерноземной зоны, где размещается около половины посевов льна в России, в зависимости от предшественников, плодородия почв, их гранулометрического состава и других условий рекомендуется вносить под лен N₃₀₋₆₀P₆₀₋₉₀K₉₀₋₁₂₀. Такие дозы обеспечивают прибавку льносолмки около 9 - 12 ц/га. Фосфорные и калийные удобрения вносят с учетом содержания подвижных форм этих элементов в почве и поправочных коэффициентов (табл. 9.60).

При определении доз минеральных удобрений под лён-долгунец в северо-западном районе Нечерноземной зоны можно руководствоваться следующими примерными расчетами (табл. 9.61).

9.60. Поправочные коэффициенты к средним дозам удобрений с учетом содержания в почве подвижных форм фосфора и калия

Содержание в почве питательных веществ	Фосфорные удобрения	Калийные удобрения
Очень низкое	1,3 - 1,5	2,0
Низкое	1,0	1,5 - 2,0
Среднее	0,6 - 0,7	1,0 - 1,5
Повышенное	0,5	0,8 - 1,0
Высокое	0,2 - 0,3	0,7 - 0,8
Очень высокое	Рядковое удобрение	

9.61. Примерные дозы удобрений под лён-долгунец на минеральных почвах (в кг действующего вещества)

Планируемый урожай волокна (в ц с 1 га)	Азотные удобрения при окультуренности (бонитете) почвы			Фосфорные удобрения при содержании P_2O_5 (в мг на 100 г почвы)				Калийные удобрения при содержании K_2O (в мг на 100 г почвы)		
	хорошей (60)	средней (40 - 60)	слабой (20 - 40)	> 20	15 - 20	8 - 15	< 8	> 20	10 - 20	< 10
3 - 4	–	30	40	10 в рядок	30	50	70	30	40	60
5 - 6	30	40	50	30	50	70	90	50	60	80
8 - 10	50	60	*	60	80	100	120	70	90	120

* – высокий урожай не планируется до окультуренности почвы.

В других районах Нечернозёмной зоны планировать высокий урожай льна применением высоких доз удобрений без достаточной окультуренности почвы нельзя: получать высокие урожаи можно только на хорошо окультуренных почвах.

В конкретных условиях указанные примерные дозы удобрений должны уточняться. Например, при размещении льна по клеверищу с урожайностью сена 25 ц/га и более под лён рекомендуется вносить 30 - 40 кг N, при размещении по озимой ржи или низкоурожайным травам дозу азотных удобрений можно увеличить до 50 кг/га. При размещении же льна на почвах легкого гранулометрического состава дозу калийных туков целесообразно увеличивать в 1,5 раза.

Научно-исследовательскими учреждениями Волго-Вятского района на основе данных полевых опытов с учетом предшественников и агрохимических показателей почвы рекомендуются следующие дозы минеральных удобрений под лён-долгунец (табл. 9.62).

При размещении льна по пласту многолетних трав, урожай сена которых выше 50 ц/га, или хорошо удобренным пропашным культурам на высокоокультуренных почвах азотные удобрения можно не вносить или применять их в дозах 25 - 30 кг N на 1 га. На средне-

окультуренных почвах при выращивании льна по хорошему клеверищу или по хорошо удобренным органическими удобрениями пропашным культурам в западном регионе азотные удобрения рекомендуется применять в дозах 20 - 25 кг азота, а после зерновых – 40 - 45 кг.

9.62. Рекомендуемые дозы минеральных удобрений для льна-долгунца в Волго-Вятском районе

Планируемый урожай волокна (в ц с 1 га)	Азотные удобрения	Фосфорные удобрения при обеспеченности почв подвижным фосфором (в мг на 100 г почвы)				Доза калийных удобрений при обеспеченности почв обменным калием (в мг на 100 г почвы)		
		до 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	до 5	5 - 10	10 - 15
<i>По мягким предшественникам (картофель, озимая рожь)</i>								
3 - 4	30 - 40	80	60	40	40	80	60	40
5 - 6	40 - 50	90	80	60	40	90	80	60
7 - 8	50 - 60	100	90	80	60	120	100	80
<i>По клеверищу</i>								
3 - 4	20	80	60	40	40	60	60	40
5 - 6	30	90	80	60	40	90	80	60
7 - 8	30 - 40	100	90	80	60	120	100	80

Соотношение N:P:K на почвах, богатых азотом, должно быть 1:3:4, а на бедных – 1:2:2.

Оптимальная доза минеральных удобрений под лён-долгунец 200 - 250 кг/га (N, P₂O₅, K₂O); на единицу азота в зависимости от условий выращивания должно приходиться 2 - 3 единицы P₂O₅ и 3 - 4 единицы K₂O.

В получении высоких урожаев льна большое значение имеют также местные удобрения – перегной, компост, навозная жижа, птичий помёт. Внесение хорошо разложившегося навоза или перегноя 18 - 36 т/га непосредственно под лён перед зяблевой вспашкой повышает урожай соломки на 3 - 8 ц/га. Внесение свежего или слабо-разложившегося навоза под лен может снизить качество волокна, а неизбежное неравномерное распределение такого навоза по полю влечет за собой пестроту и неравномерность в развитии и созревании льна.

Внесение до посева льна 5 - 10 т навозной жижи повышает урожай соломки на 3 - 5 ц, а 20 т до посева – до 10 ц/га. Птичий помёт в дозе 5 ц/га повышает урожай льносоломки на 3 - 4 ц. Рекомендуемая доза навозной жижи 10 - 15 т, птичьего помета – 6 - 10 ц. Навозную жижу и птичий помёт можно вносить как до посева, так и в подкормку.

Большое значение имеют время внесения минеральных удобрений и способы их заделки. Фосфорно-калийные удобрения дают лучший результат при внесении их под осеннюю вспашку или рано весной. Азотные удобрения в большинстве случаев в 1,5 - 2 раза эффективнее при внесении их весной под культивацию по сравнению с осенним внесением.

Лучшими формами азотных удобрений для льна являются сульфат аммония и аммиачная селитра. На кислом фоне лучшими для льна оказались щелочные формы азотных удобрений, а на нейтральном – существенной разницы между кислыми и щелочными формами азотных удобрений не наблюдалось.

Для льна могут быть использованы все формы фосфорных удобрений, если их вносят в почву с учетом усвояемости и особенностей почвы и соблюдают правильную технику внесения. На кислых почвах Нечерноземной зоны большое значение имеет применение фосфоритной муки. Действие её на этих почвах приближается к действию суперфосфата. Высокоэффективным было внесение при посеве льна гранулированного суперфосфата в дозе 10 кг P_2O_5 на 1 га. Хорошее действие на урожай льна оказала нитрофоска, особенно при внесении ее на 3 см глубже семян.

Лучшей формой калийного удобрения является сернокислый калий. Систематическое внесение хлористых калийных солей приводит к накоплению в почве хлора, который отрицательно влияет на урожай и качество льноволокна. Отрицательное действие иона хлора на лён усиливает действие иона кальция. Повышенная концентрация $CaCl_2$ уменьшает содержание волокна в стеблях и снижает его качество.

На темноцветных заболоченных почвах, как и на известкованных, под лён вносят борные удобрения (по 0,5 - 1 кг бора на 1 га), они заметно повышают урожай льноволокна и семян. На почвах с низким содержанием подвижной меди (менее 3,5 мг на 1 кг почвы) проявляется эффективность медных удобрений. Хорошее действие медных удобрений отмечено на болотных почвах, осушенных торфяниках. При содержании подвижной меди меньше 3,5 мг на 1 кг почвы дозы медьсодержащих удобрений следующие: сульфата меди – 20 - 25 кг, пиритного огарка – 4 - 6 ц на 1 га.

При предпосевной обработке семян льна используют 0,05%-й раствор борной кислоты, 0,02%-й раствор сернокислой меди и 0,03%-й раствор сернокислого цинка. На 1 ц семян, замачиваемых в два приема, используют 8 - 10 л раствора. Можно проводить также некорневую подкормку льна раствором борного удобрения, содержащим 200 - 250 мг бора на 1 л раствора, или 0,02 - 0,05%-м раствором сернокислой меди. На гектар расходуют 800 - 1000 л такого раствора за 1 - 2 приёма.

Большое значение в льняных севооборотах дерново-подзолистой зоны имеет известкование. Однако наблюдаются случаи отрицательного действия извести на урожай льна при внесении ее в дозах свыше 1,5 - 2 т CaCO_3 на 1 га. На богатых почвах, хорошо заправленных органическими удобрениями, лён меньше страдает от переизвесткования, чем на почвах малокультуренных, бедных органическим веществом. Недостаток влаги усиливает отрицательное действие извести на урожай льна. Минеральные удобрения, вносимые под лён, не уменьшают вредного действия избыточного известкования, а кислые формы удобрений даже усиливают его. Внесение бора устраняет или уменьшает отрицательное действие извести.

На кислых почвах в льняных севооборотах рекомендуется вносить известь в паровом поле по 1,5 - 2 т/га на суглинистых почвах и 1 - 1,5 т на лёгких супесчаных, или поверхностно перед посевом клевера по 5 - 10 ц, или в рядки с семенами клевера по 1,5 - 3 ц. Обычно не рекомендуется вносить известь в дозах более чем $1/3 - 1/2$ гидролитической кислотности. В льняных севооборотах известкование необходимо проводить при рН почвы 5 и ниже. При рН 5,1 - 5,5 известкуют выборочно те участки, где клевер плохо развит.

Для выращивания высоких урожаев льна на легких почвах большое значение имеют удобрения, содержащие не только калий, но и магний. На легкосуглинистой почве при систематическом использовании калимагнезии под лен в севообороте получено 13,1 ц/га волокна и 12 ц/га семян, что превышает урожай волокна на 1,9 ц/га и семян на 0,4 ц/га при внесении калия сернокислого.

На дерново-подзолистых почвах при внесении повышенных доз фосфорных удобрений или при высоком содержании в почве подвижных форм фосфора лён может ощущать недостаток цинка. В этих случаях можно вносить сернокислый цинк вместе с гербицидами.

Наиболее равномерное распределение минеральных удобрений на поверхности поля достигается при внесении их под лён туковыми сеялками типа СТН-2,8 и РТТ-4,2.

УДОБРЕНИЕ КАРТОФЕЛЯ

С урожаем *картофеля* на каждые 100 ц клубней с ботвой выносятся 50 - 70 кг N, 15 - 20 кг P_2O_5 и 60 - 80 кг K_2O . Количество выносимых питательных веществ разными по величине урожаями картофеля колеблется в широких пределах. Однако установлено, что в растениях картофеля содержится больше всего калия, меньше азота и еще меньше фосфора. Такое соотношение основных элементов питания наблюдается, как правило, во всех почвенно-климати-

ческих условиях и на всех сортах картофеля независимо от агротехнических условий его выращивания. Содержание питательных веществ в ботве колеблется более резко, чем в клубнях. Чем выше дозы удобрений, применяемые под картофель, и чем выше его урожай, тем больше выносятся питательных веществ картофелем, но прямой зависимости между ростом урожаев и содержанием в них элементов питания не наблюдается. В период клубнеобразования в значительной мере используются на рост клубней азот, фосфор, калий и другие элементы, накопленные в ботве. Ко времени уборки в клубнях содержится примерно 78 - 80% N, 96% K₂O и 90% P₂O₅ от общего их количества во всем урожае. Для выращивания мощной ботвы в период от появления всходов до клубнеобразования необходимо интенсивное азотное питание картофеля, однако избыточное, особенно одностороннее питание азотом после цветения, вызывая рост ботвы, задерживает процесс клубнеобразования.

Калийное питание картофеля имеет большое значение как в период формирования ботвы, так и во время образования и роста клубней. Если уровень калийного питания картофеля до бутонизации был достаточно высоким, то снижение его в последующем не оказывает существенного влияния на урожай клубней. Это объясняется тем, что при старении ботвы, богатой калием, последний передвигается в клубни, обеспечивая потребность их в этом элементе питания. Чем благоприятнее климатические и агротехнические условия выращивания картофеля, тем относительно меньше расходуется питательных веществ на единицу урожая.

Поступление азота и зольных элементов в процессе вегетации картофеля происходит неравномерно. Наибольшее количество азота, фосфора и калия потребляется картофелем в период бутонизации и цветения растений, что соответствует наивысшим приростам надземной массы картофеля. В период клубнеобразования поступающие в растение питательные элементы расходуются в основном на рост клубней. Однако, несмотря на большое количество в картофеле калия, потребность в нем на большинстве почв основных районов производства картофеля выражена более слабо, чем в азоте, а иногда и в фосфоре.

Степень отзывчивости картофеля на азот, фосфор и калий в зависимости от типа почв различна. На дерново-подзолистых песчаных, супесчаных, суглинистых и серых лесных почвах, на выщелоченных черноземах наибольшая потребность бывает в азоте. На лёгких по гранулометрическому составу почвах западных районов Нечерноземной зоны, а также на пойменных и торфянистых почвах калий часто занимает первое место. В районах Закавказья и Средней Азии

калий на картофель обычно действует слабо и становится более эффективным при внесении высоких доз азота и фосфора. На обыкновенном и мощном чернозёме в первом минимуме часто оказывается фосфор.

Потребность картофеля в основных элементах питания меняется в зависимости от условий его выращивания, сортов и доз удобрений, применяемых в севообороте. Картофель хорошо усваивает калий и фосфор почвы, значительно лучше, чем яровые зерновые культуры; хорошо переносит кислую реакцию почвы, оптимальная рН 5 - 6. На почвах, нуждающихся в извести, картофель благоприятно отзывается на непосредственное внесение извести. При этом значительно повышается эффективность минеральных удобрений. При известковании почвы непосредственно под картофель повышается урожай клубней на 23 - 26 ц с 1 га, снижается поражаемость их паршой по сравнению с известкованием, проведенным за несколько лет до посадки картофеля. На легких слабокислых почвах в севооборотах, насыщенных картофелем, вносить известь нецелесообразно. На среднекислых почвах рекомендуется вносить известь непосредственно под картофель в дозах, не превышающих 1/4 гидролитической кислотности, или из расчета нейтрализации физиологической кислотности вносимых под картофель минеральных удобрений.

Способность картофеля накапливать в урожае большое количество питательных веществ и слаборазвитая его корневая система, расположенная главным образом в пахотном горизонте, обуславливают повышенную его отзывчивость на удобрения. Однако действие минеральных удобрений на урожай картофеля в значительной мере зависит от почвенно-климатических зон страны, гранулометрического состава, плодородия почв и общего уровня агротехники.

На дерново-подзолистых супесчаных почвах высокие урожаи картофеля получают при совместном применении навоза и минеральных удобрений. Эффективность навоза и минеральных удобрений под картофель примерно равна.

На чернозёмах, преимущественно выщелоченных и оподзоленных, в зоне с меньшей обеспеченностью осадками, чем на дерново-подзолистых почвах, эффективно внесение под картофель полного минерального удобрения. В степной зоне эффективно сочетание удобрения с поливом.

При размещении картофеля на осушенных торфяных почвах важно учитывать режим осушения. Самый высокий урожай клубней отмечается при среднем режиме осушения (табл. 9.63).

Действие удобрений на урожай картофеля в значительной мере зависит от уровня агротехники. Эффективность удобрений сильно возрастает при улучшении ухода за картофелем во время вегетации и

при посадке этой культуры пророщенными клубнями. При своевременных сроках посадки и использовании на посадку таких клубней эффект от удобрений также заметно повышается.

Ленточное внесение удобрений в борозду при посадке картофеля эффективнее в сравнении с разбросным внесением их под перепашку зяби (табл. 9.64).

9.63. Урожай картофеля (ц/га) при применении удобрений в различных режимах осушения торфяных почв

Вариант удобрения	Мелкое осушение	Среднее осушение	Глубокое осушение
Без удобрений	156,7	214,4	202,6
P ₁₂₀	216,6	247,9	236,9
K ₁₈₀	200,0	232,8	230,7
P ₁₂₀ K ₁₈₀	227,6	289,2	268,0
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₈₀	257,1	322,0	308,4

9.64. Эффективность ленточного внесения удобрений в борозду при посадке картофеля (Б) в сравнении с разбросным внесением их под перепашку зяби (А)

(сводка лаборатории механизации техники внесения удобрений ВИУА)

Почвы	Число опытов	Урожай картофеля, ц/га	Прибавка урожая, ц/га от внесения NPK	
			А	Б
Дерново-подзолистые суглинистые	72	142	36	64
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	14	125	31	50
Чернозёмы выщелоченные и оподзоленные	12	140	23	56

Отмечается преимущество внесения удобрений в посадочную борозду картофелесажалкой, которая обеспечивала размещение ленты удобрений вблизи клубней при их посадке по сравнению с внесением растениепитателем.

На подзолистых и серых лесных почвах все формы азотных удобрений при однократном внесении оказывают на урожай картофеля почти одинаково высокое действие. На других типах почв (южных) явственно обнаруживается преимущество кислого фона почв перед щелочным.

Однако различия в эффективности форм азотных удобрений при однократном внесении не особенно велики, так что можно с успехом применять любые источники азотного питания для

картофеля. Различия проявляются значительно резче при систематическом их применении в севообороте (с частым повторным внесением на одной и той же площади). На тяжелых суглинках они проявляются постепенно с усилением в каждой последующей ротации, на легких же почвах различия между формами азотных удобрений проявляются достаточно резко уже в первой ротации. На фоне извести эффективность различных форм азотных удобрений на суглинках выравнивается. На супесчаных же почвах полного выравнивания не происходит. На этих почвах кислые формы азотных удобрений способствуют более глубоким изменениям, которые не могут быть устранены внесением извести. В этом случае часто целесообразно внесение магния.

Формы фосфорных удобрений для картофеля ни при однократном, ни при систематическом применении не вызывают резких изменений в урожаях. Это подтверждает пониженную потребность картофеля в фосфоре, особенно на навозном фоне. В действии большей части форм фосфорных удобрений не обнаружено устойчивых различий ни между собой, ни в зависимости от кислотности фона НК. По характеру действия выделяется только фосфоритная мука. Внесенная (весной) в одинарной дозе (45 кг P_2O_5 на 1 га), она даёт несколько пониженную прибавку урожая по сравнению с равной ей по содержанию P_2O_5 дозой суперфосфата. Двойная доза фосфоритной муки по эффективности примерно равняется суперфосфату на всех почвах при наличии кислого фона НК. На щелочном фоне действие фосфоритной муки даже в двойной дозе значительно слабее действия суперфосфата.

Различные формы калийных удобрений в зависимости от свойств почвы по-разному действуют на картофель. На почвах легкого гранулометрического состава калийно-магнезиальные соли эффективнее хлористого и сернокислого калия. Внесение каинита на этих почвах значительно понижает урожай клубней, что, по-видимому, связано с вредным для картофеля увеличением концентрации солей в почвенном растворе при внесении низкопроцентного удобрения. На дерново-подзолистых суглинистых почвах хлористый калий уступает сульфату калия и калийно-магнезиальным солям. На чернозёмах различные формы калийных удобрений по эффективности часто сближаются (табл. 9.65).

Бесхлорные формы калийных удобрений часто более эффективны, чем хлористый калий. Они способствуют повышению не только урожая картофеля, но и содержанию крахмала в клубнях. Преимущество бесхлорных форм калийных удобрений при внесении под картофель отчетливо проявляется при систематическом при-

менении калийных удобрений на дерново-подзолистых лёгких почвах. Лучшее действие на урожай картофеля оказывают сульфат калия, калимагнезия и калийная селитра по сравнению с хлорсодержащими калийными удобрениями.

9.65. Влияние различных доз калийных удобрений на урожай картофеля (данные геосети ВИУА)

Почвы	Урожай на фоне, ц/га	Прибавка урожая, ц/га, при внесении			
		хлористого калия	калийно-магnezияльной соли	сульфата калия	каинита
Дерново-подзолистые	187,4	23,7	35,8	–	–
Песчаные, супесчаные	170,7	18,9	32,0	21,3	–
Песчаные, супесчаные	141,3	15,0	32,6	18,9	10,4
Дерново-подзолистые суглинистые	243,6	16,3	–	25,1	–
Дерново-подзолистые суглинистые	241,0	18,9	23,9	26,4	–
Чернозёмы выщелоченные	170,5	21,7	28,4	–	–
Чернозёмы выщелоченные	221,2	23,8	–	22,3	–
Чернозёмы выщелоченные	242,7	24,3	–	23,9	26,3

Присутствие магния в удобрениях часто оказывает положительное действие на урожай клубней и их крахмалистость.

Весьма эффективны под картофель сложные удобрения, особенно при местном внесении (в гнездо или лентой в борозду). Прибавки в этом случае от сложных удобрений более высокие, чем от эквивалентной смеси простых туков. В основном внесении вразброс с заделкой плугом урожай от сложных удобрений и смеси простых туков были практически одинаковыми.

Картофель очень хорошо реагирует на органические удобрения. Это объясняется тем, что потребность его в питательных веществах сначала очень слабая, затем постепенно возрастает. Максимальной она бывает в июле - августе, когда внесенные весной минеральные удобрения оказываются в значительной мере исчерпанными. В это время усиливается поступление в почву усвояемых форм питательных веществ разложившегося навоза. Высокое действие навоза проявляется на подзолистых суглинистых и супесчаных почвах. На серых лесных и чернозёмных почвах действие навоза значительно слабее. Необходимо отметить, что на более окультуренных почвах (при более высоких урожаях без удобрений) высокие прибавки урожая картофеля получают и при меньших дозах навоза.

Картофель положительно отзывался на повышение дозы навоза. Увеличение урожая с возрастанием дозы навоза вплоть до самой высокой (60 - 80 т) отмечено на всех опытных станциях. Однако увеличение дозы навоза выше 40 т сопровождается снижением приростов урожаев на единицу удобрений, особенно на подзолистых почвах. Высшая оплата навоза приростом урожая получается на подзолистых почвах при внесении до 40 т навоза на 1 га (2 - 3 ц клубней на 1 т навоза), на черноземных суглинистых почвах – до 20 т (1 ц клубней на 1 т навоза). Повышение дозы сверх указанного оптимального уровня приводит к понижению оплаты урожаем.

Питательные вещества навоза на черноземных почвах мобилизуются медленнее, чем на подзолах. Поэтому на черноземах большие дозы навоза по своей эффективности слабо отличаются от малых доз, но действие их сохраняется значительно дольше. На всех типах почв сохраняется сильное действие навоза на урожай картофеля на второй год после внесения (последствие).

Навоз в дозах 30 - 40 т/га и выше в значительной степени обеспечивает растение питательными веществами, поэтому действие минеральных удобрений на фоне навоза снижается. Дозы навоза и минеральных удобрений устанавливают дифференцированно с учётом почвенно-климатических условий зоны, потребности картофеля в питательных веществах, содержания их в почве в подвижной форме, места картофеля в севообороте, планируемого урожая и т.д. Для условий Белоруссии дозы удобрений под картофель представлены в табл. 9.66.

В Нечернозёмной зоне, особенно на легких почвах центральных и западных районов, навозный фон не ослабляет, а часто усиливает действие азотных удобрений по сравнению с безнавозным фоном (особенно на ранних сортах картофеля).

На дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах минеральные удобрения под картофель необходимо вносить в дозах $N_{60}P_{60}K_{90-120}$, на дерново-подзолистых суглинистых почвах – $N_{90}P_{60}K_{60}$. На обеих разностях почв доза навоза может быть равна 30 - 40 т/га. При возделывании картофеля после зерновых культур можно увеличить дозы азотных удобрений, а после зернобобовых, однолетних и многолетних бобово-злаковых смесей – дозы фосфорных и калийных. Обязательным должно быть внесение рядкового удобрения в дозе $N_{20-30}P_{20-30}K_{20-30}$. Лучше применять сложное удобрение, а если его нет, то смесь простых удобрений, содержащих бесхлорную форму калия.

9.66. Дозы навоза (в т на 1 га) и минеральных удобрений (кг действующего вещества на 1 га) под картофель в условиях Белоруссии (Т.Н. Кулаковская)

Планируемый урожай (ц/га)	Дозы удобрений							
	навоза	азотных	фосфорных при разной обеспеченности почв подвижным фосфором			калийных при разной обеспеченности почв обменным калием		
			низкой	средней	высокой	низкой	средней	высокой
<i>Суглинистые почвы</i>								
До 150	50 - 60	50 - 60	60 - 70	40 - 50	20 - 30	70 - 80	50 - 70	40 - 50
151 - 220	50 - 60	60 - 70	70 - 80	50 - 60	30 - 50	80 - 90	70 - 80	50 - 60
221 - 300	60 - 70	70 - 80	80 - 90	60 - 70	50 - 60	80 - 120	80 - 90	60 - 70
>300	60 - 70	80 - 90	90 - 100	70 - 80	60 - 70	120 - 130	90 - 100	70 - 80
<i>Супесчаные и песчаные почвы</i>								
До 150	50 - 60	50 - 70	50 - 60	30 - 40	20 - 30	70 - 80	60 - 70	50 - 60
151 - 220	60 - 70	70 - 80	50 - 70	40 - 50	30 - 40	80 - 100	70 - 80	60 - 70
221 - 300	60 - 70	80 - 90	70 - 80	50 - 60	40 - 50	100 - 130	80 - 100	70 - 80
>300	70 - 80	90 - 100	80 - 90	60 - 70	50 - 60	130 - 150	100 - 120	80 - 100
<i>Торфяно-болотные почвы</i>								
До 180	–	–	90 - 110	80 - 90	60 - 70	140 - 160	100 - 110	80 - 90
181 - 260	–	–	110 - 130	90 - 110	70 - 80	160 - 180	110 - 130	90 - 100
261 - 350	–	–	130 - 150	110 - 130	80 - 90	180 - 200	130 - 150	100 - 110
>350	–	–	150 - 170	130 - 140	90 - 100	200 - 220	150 - 170	110 - 130

В лесостепи Украины оптимальными дозами основного минерального удобрения под картофель на фоне 20 - 40 т навоза на 1 га являются: на тёмно-серых лесных почвах и оподзоленных чернозёмах – $N_{60}P_{45-60}K_{60}$; на мощных чернозёмах – $N_{45-60}K_{45-60}$; на малогумусных выщелоченных чернозёмах – $N_{60-90}P_{90}K_{60}$. Если под предшественник был внесен навоз, то под картофель вносят только минеральные удобрения, но в несколько повышенных дозах; на темно-серых оподзоленных почвах и оподзоленных чернозёмах – $N_{90}P_{60-90}K_{60}$, а на мощных чернозёмах – $N_{60-90}P_{60-90}K_{60}$. В этой зоне оплата минеральных удобрений урожаем картофеля довольно высокая. При норме внесения $N_{60}P_{60}K_{60}$ прибавка урожая клубней картофеля на 1 ц тука в среднем составляет 4,5 - 6,7 ц.

В Полесье ориентировочно оптимальными дозами минеральных удобрений под картофель на фоне 30 - 40 т навоза являются: на дерново-подзолистых почвах – $N_{60-90}P_{90}K_{90-120}$, на серых лесных – $N_{60}P_{60}K_{60-90}$.

В условиях орошения на предкавказском чернозёме доза минеральных удобрений рекомендуется $N_{60-80}P_{90-120}K_{20-40}$. На фоне навоза дозу фосфора и калия можно уменьшать. Калийные удобрения вносят на почвах с низким и средним содержанием калия в почве. На почвах с повышенным и высоким его содержанием калийные туки обычно неэффективны. Фосфорные и калийные удобрения рекомендуется вносить с осени под зяблевую вспашку, а азотные – весной перед посадкой картофеля.

В условиях Юга и Юго-Востока Казахстана при орошении под картофель рекомендованы следующие дозы удобрений (табл. 9.67).

9.67. Нормы минеральных удобрений, применяемых под картофель в орошаемой зоне юго-востока Казахстана (данные Казахского НИИ картофелеводства и овощеводства)

Культура	Картофель ранний			Картофель среднепоздний		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозём горные	45-60	30-45	–	60-90	45-60	30
Каштановые почвы	60-75	30-60	30-60	90-120	45-60	30-60
Серозёмы предгорные	75-90	45-60	45-60	120-150	60-90	60-90

Большое значение имеет внесение небольших доз удобрений (по 20 - 30 кг каждого) при посадке картофеля. Лучше использовать сложные удобрения (нитрофоска, нитроаммофоска). Если применяется смесь простых туков, то следует давать бесхлорные калийные удобрения или ограничиться внесением азотно-фосфорных удобрений. Наибольший эффект получается при сочетании основного удобрения до посадки с местным при посадке клубней.

Если до посадки минеральные удобрения не вносили или их внесено недостаточно, проводят подкормки в зависимости от свойств почвы и погодных условий. Однако при перенесении удобрений из основного в подкормку эффективность их снижается. В Нечернозёмной зоне и в лесостепных районах наиболее эффективно сочетание внесения удобрений до посадки с заделкой под плуг и местного внесения при посадке. Перенесение части удобрений, в частности азотных, из основного удобрения в подкормку целесообразно в увлажненных северных и северо-западных районах на песчаных и супесчаных почвах с высоким уровнем грунтовых вод, где имеется опасность вымывания удобрений.

При исследовании действия удобрений на качество клубней картофеля важно учитывать окультуренность почвы, сортовые особенности, условия погоды, виды и формы удобрений, дозы, сроки и способы их внесения. Так, в большинстве случаев азотные удобрения ухудшают, а фосфорные улучшают такие показатели, как содержание крахмала, аскорбиновой кислоты, кулинарные свойства, лежкость клубней и т.д. В то же время при правильном соотношении питательных веществ в удобрениях и оптимальных их дозах азот нередко оказывает положительное действие.

Азотные удобрения усиливают рост ботвы, удлиняют период вегетации и физиологического вызревания клубней. Если картофель убирается после завершения процессов образования крахмала, то качество клубней будет хорошее. При длительной засухе более резко проявляется негативное действие азотных удобрений на качество клубней, так как такие растения имеют хорошо развитую ботву, а при засухе задерживается фотосинтез, замедляется накопление крахмала, а часть его тратится на процессы дыхания.

Фосфор ускоряет развитие растений, в том числе и процесс клубнеобразования, тем самым сокращает вегетационный период. Поэтому оптимальное фосфорное питание обеспечивает физиологическую зрелость клубней к уборке, они содержат больше крахмала, имеют более крупную кожуру, меньше подвергаются механическим повреждениям при уборке и транспортировке.

Калий также в большинстве случаев улучшает качество клубней. При построении систем удобрения для сортов картофеля получить высокий урожай и качество клубней можно в том случае, если они в сочетании с другими направлены на ускорение ростовых процессов и физиологического созревания клубней. Этими процессами можно управлять с помощью правильного соотношения питательных элементов в удобрениях с учетом их содержания в почве.

На качество клубней оказывают влияние формы удобрений. Так, хлоридные формы удобрений обычно ухудшают качество клубней. Особенно резко это проявляется на почвах слабоокультуренных, с низким содержанием подвижных форм фосфора и калия. На почвах хорошо окультуренных действие хлоридных форм удобрений на качество клубней проявляется слабее. На таких почвах часто действие хлоридных и сернокислых форм калия на величину и крахмалистость клубней бывает равноценным.

Действие удобрений на качество клубней зависит и от сортов картофеля. Так, на ранних сортах картофеля слабо проявляется действие форм калийных удобрений, а на поздних сортах оно определяется сроками уборки: если сорт убран раньше физиологического

созревания клубней, различия в действии форм удобрений проявляются более резко. Это объясняется тем, что хлор увеличивает оводненность тканей: задерживает развитие и созревание клубней. Кроме этого, ионы хлора подавляют активность ферментов, участвующих в процессе оттока продуктов ассимиляции из листьев в клубни, вследствие чего задерживается накопление в них крахмала.

В основных картофелеводческих районах при внесении не-высоких доз калия (60 - 70 кг K_2O на га) на хорошем азотно-фосфорном фоне не наблюдается преимущества сернокислого калия перед хлористым в действии как на урожай, так и на содержание крахмала в клубнях картофеля.

9.5. УДОБРЕНИЕ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Большое количество видов овощных культур и возделывание их в разнообразных почвенно-климатических условиях требуют дифференцированного подхода к применению под них удобрений. Однако имеются общие характерные закономерности в возделывании овощных культур. Все они хорошо отзываются и дают лучшие результаты на окультуренных почвах, характеризующихся благоприятными агрофизическими и агрохимическими свойствами, достаточно гумусированных, со слабокислой или нейтральной реакцией среды.

Для большинства овощных культур кислотность почвы допускается не ниже pH 5,5, степень насыщенности основаниями – не менее 75 - 80%. Содержание обменного алюминия не должно превышать 3 - 4 мг, а для таких культур, как лук, чеснок, салат, шпинат, – 1 мг на 100 г почвы. Благоприятный для овощных растений уровень грунтовых вод на пойменных почвах в весенний период не выше 60 см, а в период вегетации – не выше 80 - 90 см.

Капуста белокочанная потребляет большое количество питательных веществ. Урожай товарной продукции капусты 300 ц/га содержит примерно 90 кг N, 30 кг P_2O_5 , 135 кг K_2O . Капуста потребляет азот, фосфор и калий в течение всего вегетационного периода (60 - 140 дней) в зависимости от сорта. Более растянуты сроки потребления азота, фосфора и калия у поздних сортов, а сжаты – у ранних сортов. Максимальное потребление капустой элементов питания приходится на период формирования кочана. Она хорошо растет при реакции почвы, близкой к нейтральной (pH 6 - 7). На кислых почвах капуста положительно реагирует на известкование.

Капуста весьма отзывчива на внесение минеральных удобрений. На большей части почв, особенно на подзолистых, капуста в первую очередь нуждается в азоте. На торфяных пойменных

почвах, отличающихся низким содержанием калия, высокие прибавки урожая получаются от калийных удобрений. В южных районах с жарким и сухим климатом капуста повышает урожай от внесения азота только на фоне достаточных доз фосфора и калия.

Высокоэффективно применение под капусту навоза, с повышением доз навоза повышается ее урожай. Более отзывчивы на внесение навоза среднеспелые и позднеспелые сорта. Это объясняется медленным разложением навоза и повышенной потребностью капусты в период формирования кочана. Скороспелые же сорта капусты лучше размещать по хорошо удобренному навозом предшественнику. Для непосредственного применения под скороспелые сорта пригоден только перепревший навоз.

Высокий эффект получается от местного внесения навоза – в лунки при посадке капусты. Повышенные дозы навоза и полное минеральное удобрение, обеспечивая получение высоких урожаев капусты, способствуют и ускорению ее созревания, что имеет большое значение для получения ранней товарной продукции. Это особенно важно для ранних сортов.

При внесении одного навоза капуста испытывает недостаток прежде всего в азоте. Поэтому при внесении навоза под капусту необходимо добавлять азотные удобрения. Только при выращивании капусты на поймах и низинных, хорошо разложившихся торфяниках, богатых минеральными формами азота, часто отпадает надобность во внесении азотных удобрений.

Капуста цветная на почвах с повышенным содержанием азота, особенно на торфяниках и лугово-болотных дерново-подзолистой зоны, страдает от недостатка молибдена, образует большое количество листьев, у нее затягивается вегетация, в результате получается продукция низкого качества. Поэтому при выращивании рассады капусты цветной в фазе 3-4 листьев ее опрыскивают 0,02%-м раствором молибденовокислого аммония.

Томаты. Для создания урожая 100 ц товарной продукции при соответствующем количестве вегетативной массы томаты потребляют примерно 25–35 кг N, 10–15 кг P₂O₅ и 35–50 кг калия. Томаты отличаются растянутым периодом поглощения питательных веществ. Из общего количества питательных веществ в плодах содержится до 80% азота и калия и свыше 80% фосфора.

В начале вегетации, после высадки рассады, потребность в элементах питания сравнительно небольшая, а в период плодоношения резко возрастает. Особенно высокая потребность в этот период проявляется в отношении азота и калия. Повышенная чувствительность к недостатку фосфора у томатов наблюдается в раннем возрасте.

Томаты лучше других культур переносят кислотность почвы. Оптимум развития для них находится в пределах рН 5,6 - 7,1. Хорошо реагируют на внесение навоза, особенно на мало гумусированных почвах. С увеличением доз навоза возрастают урожаи культуры.

В Нечернозёмной зоне России в связи с коротким вегетационным периодом томатов возникают трудности при использовании азотных удобрений. Это объясняется разрастанием вегетативной массы при усиленном азотном питании, увеличением периода вегетации, что задерживает созревание плодов. Для данной зоны это особенно нежелательно. Сильному развитию вегетативной массы способствует и внесение под томаты навоза. Поэтому непосредственно под эту культуру вносить навоз не рекомендуется.

В связи с недостатком тепла в Нечернозёмной зоне томаты требовательны к фосфору, что обеспечивается внесением повышенных доз фосфорных удобрений. Положительное влияние на созревание и качество плодов томатов оказывают калийные удобрения.

Эффективность минеральных удобрений в значительной мере зависит от типа почвы. На чернозёмных почвах более сильное влияние на урожай томатов оказывают фосфорные удобрения. Нередко существенное повышение урожая наблюдается от дополнительного внесения азота. На подзолистых почвах высокоэффективно внесение полного минерального удобрения. На торфяных почвах из-за недостатка калия эффективность азота и фосфора резко снижается. Томаты в первый период развития очень чувствительны к недостатку фосфора. Поэтому высокоэффективным приемом является внесение суперфосфата в лунки при посадке рассады или в рядки при посеве семенами в грунт. Сочетание допосевного и припосевного удобрения обеспечивает получение высокого урожая томатов.

На сероземах Средней Азии при орошении томаты хорошо отзываются прежде всего на внесение азота, затем фосфора и калия, здесь эффективно и внесение органических удобрений. Наиболее высокие урожаи этой культуры получают при совместном внесении органических и минеральных удобрений.

При возделывании томатов по пласту люцерны дозы азотных удобрений снижают на 20 - 25%. В этих условиях особое значение приобретает дробное внесение минеральных, особенно азотных и калийных удобрений.

Огурцы требовательны к пищевому режиму почвы. Это объясняется тем, что корневая система их располагается в верхнем слое почвы и слабо использует питательные вещества нижних слоев. Огурцы отличаются от других овощных растений довольно быстрым темпом поглощения питательных веществ и большей чувствитель-

ностью к повышенной концентрации почвенного раствора. Чувствительны к кислой реакции почвы, оптимальный интервал рН 6,5 - 7, поэтому они положительно реагируют на известкование кислых почв.

В течение первых двух недель после всходов огурцы медленно поглощают азот и фосфор, а в течение 30 дней – калий. В последующем при интенсивном росте вегетативных органов и в период плодообразования происходит интенсивное поглощение питательных веществ.

Хотя количество элементов питания в урожае огурцов сильно колеблется в зависимости от сорта и условий выращивания, однако содержание азота, фосфора и калия в огурцах находится примерно в соотношении 2 : 1 : 3. Так, на 100 ц товарной продукции огурцы потребляют примерно 30 кг N, 15 кг P₂O₅ и 45 кг K₂O.

Важной особенностью огурцов является высокая их отзывчивость на внесение органических удобрений. Навоз, усиливая микробиологическую деятельность в почве, повышает питание огурцов углекислотой, которая выделяется из почвы. Углекислота используется огурцами благодаря стелющимся листьям полнее, чем другими растениями. Наивысшие урожаи огурцов получают от совместного внесения навоза и минеральных удобрений. Даже небольшие дозы минеральных удобрений, внесенных при посеве огурцов на фоне навоза, значительно повышают урожай.

Система удобрения огурцов в Нечернозёмной зоне должна способствовать ускоренному прохождению фенофаз с целью лучшего использования короткого лета. В этой зоне не следует увлекаться высокими дозами азота, которые не должны превышать дозы фосфора и калия. При орошаемой культуре целесообразно дробное внесение минеральных удобрений: в основном приеме, при посеве и в подкормку. Подкормки азотом и калием особенно необходимы в начале цветения и в период плодоношения, а фосфором – в начале цветения.

Столовые корнеплоды (свёкла и морковь) потребляют большое количество питательных веществ, причем морковь потребляет больше питательных веществ, чем свекла. Урожай корней свёклы с ботвой 300 ц содержит примерно 110 кг N, 25 кг P₂O₅ и 145 кг K₂O, а такой же урожай моркови – соответственно 135, 45 и 260 кг.

Свекла хорошо отзывается на внесение калийных удобрений, содержащих натрий, в частности на 40%-ю калийную соль. Наибольшее количество питательных веществ поглощается в период интенсивного роста корнеплодов.

Столовая свекла, как и сахарная, чувствительна к кислой реакции почвы. Оптимальная реакция для нее близка к нейтральной. По-

этому уже при рН ниже 5,8 свекла сильно реагирует на внесение извести. Оптимальная рН для моркови 6 - 6,5. Она более вынослива в отношении почвенной кислотности. Однако при рН ниже 5,5 морковь часто положительно отзывается на внесение извести. При внесении повышенных доз извести возможна химическая иммобилизация микроэлементов, особенно бора, что может не только снизить урожай, но привести к заболеванию свёклы сердцевинной, серой гнилью и др.

Свекла и морковь хорошо отзываются на внесение навоза. Однако под эти культуры не следует вносить слабо перепревший навоз. Такой навоз может привести к разветвлению корнеплодов и ухудшению формы, особенно у моркови. Это снижает лёжкость и товарную ценность продукта. Столовые корнеплоды, особенно морковь, рекомендуется размещать в севообороте на второй или третий год после внесения навоза, а непосредственно под эти овощные культуры применять минеральные удобрения, на которые столовые корнеплоды весьма отзывчивы. Урожай столовых корнеплодов при этом повышается более чем на 50%, а нередко удваивается. Морковь и свёкла положительно отзываются на рядковое внесение гранулированного суперфосфата.

Лук. Урожай лука 300 ц/га содержит примерно 90 кг N, 40 кг P₂O₅ и 120 кг K₂O. В первые два месяца потребление питательных элементов луком протекает медленно, а в последующем за короткий период поглощение элементов минерального питания идет интенсивно. Корневая система лука располагается в поверхностных слоях почвы и характеризуется слабой усвояемостью. Это обуславливает большую требовательность лука к плодородию почвы и наличию в ней усвояемых питательных веществ.

Лук чувствителен к концентрации почвенного раствора и к кислотности почвы. Оптимальная реакция почвенного раствора для лука находится в пределах рН 6,7 - 7,4. Лук по сравнению с другими овощными культурами лучше использует навоз, чем минеральные удобрения. Навоз под лук рекомендуется вносить только перепревший.

При возделывании лука в условиях орошения важно равномерно распределить удобрения с учетом биологических требований культуры. Фосфорные и калийные удобрения вносят в основном приеме, за исключением части фосфора при посеве. Подкормку азотом проводят при появлении 1 - 2 листьев и в начале формирования луковиц.

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ В ОВОЩНОМ СЕВООБОРОТЕ

Под овощные севообороты обычно отводят хорошо окультуренные или пойменные почвы. Однако такой площади в хозяйствах может быть недостаточно, и овощные культуры размещают на обычных полевых почвах. Обильное применение органических и минеральных удобрений позволяет в этом случае получать высокие урожаи овощей.

При составлении системы удобрения овощных культур необходимо учитывать: отношение овощных культур к концентрации почвенного раствора, отношение их к реакции почвенного раствора, отзывчивость на известкование, действие и последствие навоза под отдельные овощные культуры, отзывчивость их на отдельные виды и формы минеральных удобрений, высокую эффективность совместного внесения под овощи органических и минеральных удобрений. Например, по отношению к концентрации почвенного раствора можно выделить две группы: более выносливые (свёкла, капуста, томаты) и менее выносливые (морковь, огурцы, лук). По отношению к реакции почвы и известкованию овощи можно разделить на три группы: 1 – хорошо отзываются на внесение извести и не переносят кислой реакции среды (свекла, капуста белокочанная), нормальное развитие этих растений обычно обеспечивается при pH больше 5; 2 – лучше удаются по последствию извести (лук, морковь и огурцы), обеспечение нормального развития этих культур чаще достигается при pH больше 6; 3 – не нуждаются в известковании (томаты и картофель).

Овощные культуры по-разному реагируют на внесение навоза и минеральных удобрений. Наиболее высокое непосредственное действие навоза сказывается на огурцах и луке; а последствие (на второй год) на столовые корнеплоды и раннюю капусту не уступает прямому действию. Однако лук плохо отзывается на внесение свежего навоза, поэтому под эту культуру следует применять хорошо перепревший навоз или размещать его по предшественнику, удобренному навозом.

В Нечернозёмной зоне страны овощные культуры выращивают в основном на дерново-подзолистых пойменных и торфяных почвах, которые существенно различаются по свойствам и содержанию элементов питания. В табл. 9.68 приведена группировка почв Нечернозёмной зоны при их оценке для выращивания овощных культур.

На основании почвенных картограмм почву можно отнести к соответствующей группе по обеспеченности минеральным азотом ($N_{NH_4} + N_{NO_3}$), подвижным фосфором (P_2O_5) и обменным калием (K_2O) и определить дозы удобрений для планируемого урожая. Если для почв

и культур не разработаны рекомендации по применению азотных удобрений, то их рассчитывают исходя из выноса азота овощной культурой и содержания минерального азота в слое почвы 0 - 25 см. При этом азот, определяемый весной перед внесением азотных удобрений, принимается доступным для растения на 80 - 100%. Дозу азота определяют по разности между выносом азота культурой и содержанием его в почве. При окончательном расчёте годовой дозы азота вводят поправочный коэффициент на усвояемость элементов из удобрений (60 - 70%).

9.68. Группировка почв по содержанию элементов питания для овощных культур, мг на 100 г абсолютно сухой почвы

Элемент питания	Почвы	Обеспеченность почвы элементами питания, группа			
		низкая, 1	средняя, 2	повышенная, 3	высокая, 4
$N_{NH_4^+}$	дерново-подзолистые	3	3 - 5	5 - 8	8
$N_{NO_3^-}$	минеральные пойменные	5	5 - 7	7 - 10	10
P_2O_5 (по Кирсанову)	дерново-подзолистые	10	10 - 15	15 - 25	25
	минеральные пойменные	13	13 - 20	20 - 30	30
	торфяные	20	20 - 40	40 - 60	60
K_2O (по Кирсанову)	дерново-подзолистые	12	12 - 17	17 - 25	25
	минеральные пойменные	13	13 - 20	20 - 30	30
	торфяные	24	24 - 34	34 - 60	60

Для определения оптимальных доз фосфорных и калийных удобрений обычно пользуются агрохимическими картограммами и рекомендуемыми средними дозами минеральных удобрений, установленными зональными научно-исследовательскими учреждениями. Среднюю дозу удобрений принимают за единицу и относят к определенной группе почв по содержанию в них элементов питания в подвижных формах. При ином содержании подвижных форм фосфора и калия в почве каждого конкретного хозяйства рекомендованные средние дозы фосфорных и калийных удобрений изменяют: при более низком – увеличивают, при более высоком – уменьшают.

Требуемая доза удобрений определяется умножением средней рекомендуемой дозы (кг/га) на поправочный коэффициент. Рекомендуются следующие поправочные коэффициенты для овощных культур к средним дозам удобрений в зависимости от содержания подвижного фосфора и калия на дерново-подзолистых и серых лесных почвах:

Содержание в почве элементов питания	Коэффициенты
Фосфорные удобрения	
Очень низкое	без предварительного окультуривания
Низкое	получение среднего урожая не обеспечено
Среднее	1,2 - 1,5
Повышенное	1
Высокое	0,6 - 0,8
Очень высокое	рядковое удобрение при посеве
Калийные удобрения	
Низкое	1,2 - 2,0
Среднее	1,3 - 1,5
Повышенное	1
Высокое	0,6 - 0,8

Можно использовать также балансовый и другие методы, рассмотренные ранее.

Овощные культуры по-разному отзываются на различные формы удобрений. Из азотных удобрений хороший эффект дают аммиачная селитра и мочевина, но наиболее универсальной является калийная селитра. На сульфат аммония хорошо отзываются капуста, огурцы, томаты. Суперфосфат лучше действует по сравнению с другими фосфорными удобрениями. Сульфат калия лучше хлористого калия для всех культур, за исключением столовой свеклы. Примесь натрия в калийных удобрениях положительно влияет на урожай и качество свеклы, томатов, а также капусты. Высокопроцентных калийных удобрений требуют огурцы, лук, морковь. Наиболее устойчивые и высокие урожаи овощных растений получают при совместном внесении органических и минеральных удобрений. При внесении умеренных доз навоза в сочетании с минеральными удобрениями в большинстве случаев получают более высокие урожаи, чем от применения повышенных доз одного навоза или одних минеральных удобрений.

Дозы удобрений под отдельные овощные культуры устанавливают дифференцированно в зависимости от почвенно-климатических условий. Ориентировочные дозы удобрений для производственных условий приведены в табл. 9.69. Внося эти дозы удобрений и соблюдая правильную агротехнику на почвах со средним и высоким уровнем плодородия, можно получить с 1 га 35 - 50 т капусты, 25 - 35 т томатов, 15 - 20 т огурцов, 20 - 30 т столовой свеклы, 20 - 30 т моркови.

9.69. Примерные дозы удобрений,
рекомендуемые под овощные культуры

Культура	Минеральные удобрения, кг/га						Навоз, т/га	
	подзолистые почвы			чернозёмы			под- золис- тые почвы	чер- но- зёмы
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
Капуста сред- няя и поздняя	90 - 120	60 - 90	120 - 180	60 - 90	60 - 90	90 - 120	30 - 40	20 - 30
Капуста ран- няя и цветная	60 - 90	45 - 60	60 - 90	60 - 90	60 - 90	90 - 120	30 - 40	20 - 30
Томаты	60 - 90	90 - 120	90-120	60 - 90	90 - 120	60 - 90	20 - 30	30 - 40
Огурцы	60 - 90	60 - 90	60 - 120	45 - 60	60 - 90	60 - 90	60 - 120	60 - 90
Свекла	60 - 90	45 - 60	90 - 180	45 - 60	60 - 90	90 - 120	–	–
Морковь	60 - 90	60 - 90	90 - 120	45 - 60	60 - 90	60 - 90	–	–
Лук	45 - 60	45 - 60	60 - 90	30 - 45	45 - 60	45 - 60	30 - 40	20 - 40

Зональные условия оказывают существенное влияние на дозы минеральных удобрений под отдельные овощные культуры. Так, для лесостепи Поволжья примерные дозы удобрений под овощные культуры приведены в табл. 9.70. Навоз и компосты в этой зоне обычно вносят под капусту и огурцы в дозе 30 - 40 т/га осенью или весной под вспашку, но не позднее, чем за две недели до посева или посадки овощных культур. При внесении навоза норму минеральных удобрений можно уменьшить на одну треть.

9.70. Примерные дозы минеральных удобрений под овощные культуры в лесостепи Поволжья, кг действующего вещества на 1 га

Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Капуста	85 - 100	75 - 100	75 - 90
Томаты	70 - 90	90 - 120	75 - 100
Огурцы	60 - 70	60 - 100	70 - 75
Лук	60 - 70	75 - 90	60 - 75
Морковь	60 - 75	75 - 90	75 - 90
Свекла	75 - 90	85 - 100	85 - 100

Рекомендации по удобрению овощных культур в конкретных почвенно-климатических условиях Украины приведены в табл. 9.71. Причем дозы минеральных удобрений под томаты и столовые корнеплоды в этой таблице указаны с учетом размещения данных культур по хорошо унавоженным предшественникам. В левобережной лесостепи без орошения дозы минеральных удобрений снижают примерно вдвое.

9.71. Примерные дозы основного внесения удобрений
для овощных культур в различных зонах Украины

Культура	Навоз, т/га	Минеральные удобрения, кг питательных веществ на 1 га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Полесье, дерново-подзолистые почвы</i>				
Капуста средняя и поздняя	30 - 40	60	60	90
Капуста ранняя и цветная	40 - 60	60	60	60
Огурцы	40 - 60	45	60	60
Томаты	–	60	90	90 - 120
Лук репчатый	25 - 40	45	60	60
Столовые корнеплоды	–	60	60	60
<i>Правобережная лесостепь</i>				
Капуста средняя в поздняя	40	60	60	60
Капуста ранняя и цветная	40 - 60*	60	60	60
Огурцы	40	60	90	60
Томаты	–	90	120	90
Лук репчатый	30*	45	45	60
Столовые корнеплоды	–	45	60	60
<i>Левобережная лесостепь, при орошении</i>				
Капуста средняя и поздняя	25 - 40	120	60	45
Капуста ранняя и цветная	30 - 40*	90	90	60
Огурцы	30 - 50	60	60	45
Томаты	–	120 - 135	120	90
Лук репчатый	30*	120	60	
Столовые корнеплоды	–	90 - 120	60 - 90	60 - 90
<i>Степь, обыкновенный чернозём, при орошении</i>				
Капуста средняя и поздняя	20 - 40	120	60	45
Капуста ранняя и цветная	20 - 30*	90	60	45
Огурцы	20 - 40	60	60	45
Перец сладкий	20*	120	60	–
Баклажаны	20*	120	60	0 - 45
Лук репчатый	20*	60	60	60
Столовые корнеплоды	–	60 - 90	60 - 90	45 - 60
Томаты		60 - 90	60 - 90	45 - 60

* Перегной.

Юг и юго-восток Республики Казахстан по природно-климатическим и почвенным условиям являются благоприятным регионом для возделывания овощных и бахчевых культур. Овощные и бахчевые культуры предъявляют повышенные требования к уровню плодородия почвы. наиболее требовательны к условиям почвенного питания лук, чеснок, огурцы и бахчевые, менее – капуста, томаты, свёкла, морковь.

Для нормального роста и развития моркови требуются умеренные дозы минеральных удобрений ($N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$), на легких почвах дозу калийных удобрений увеличивают. Свёкла столовая требует более высоких доз удобрений – 90 - 120 кг д.в./га. Огурцы и бахчевые хорошо отзываются на средние дозы полного минерального удобрения. Лук и чеснок хорошо растут при внесении умеренных и повышенных доз азотно-фосфорных и средней дозы калийных удобрений.

Нормы удобрений корректируются с учетом обеспеченности почв подвижными формами элементов питания, уровня агротехники, сортовых особенностей возделываемых культур, уровня планируемой урожайности.

9.72. Нормы минеральных удобрений, применяемых под овощные культуры в орошаемой зоне юго-востока Казахстана (данные Казахского НИИ картофелеводства и овощеводства)

Культура	Чернозёмы горные			Каштановые почвы			Серозёмы предгорные		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Капуста ранняя	45 - 60	30 - 45	–	60 - 90	30 - 60	30 - 60	90 - 120	60 - 75	45 - 60
Капуста средне-поздняя	60 - 90	45 - 60	–	120 - 150	60 - 90	60 - 90	135 - 180	90 - 120	90 - 120
Томат	45 - 60	45 - 60	–	90 - 120	60 - 90	60 - 90	90 - 150	90 - 120	60 - 90
Чеснок	45 - 60	30 - 60	–	60 - 90	45 - 60	45 - 60	75 - 90	60 - 75	45 - 60
Огурец	30 - 45	30 - 45	–	75 - 120	60 - 90	60 - 90	90 - 120	60 - 90	45 - 60
Кабачок патиссон	–	–	–	60 - 90	60 - 90	30 - 60	90 - 120	60 - 90	45 - 60
Морковь	30 - 60	30 - 45	30	90 - 120	60 - 75	60 - 90	90 - 150	75 - 90	60 - 90
Свёкла столовая	45 - 60	30 - 60	30	90 - 120	60 - 90	60 - 90	120 - 150	90 - 120	60 - 90

При разработке системы удобрений под овощные и бахчевые культуры в севообороте важно сочетать органические и минеральные удобрения. Наиболее отзывчивы на органические удобрения – капуста и огурцы, далее – томат, чеснок, столовые корнеплоды, лук, возделывают по последствию навоза.

В опытах Казахского НИИ картофелеводства и овощеводства на предгорных каштановых почвах юго-востока Казахстана, внесение под овощные культуры навоза в количестве 20 - 35 т/га повышает продуктивность культур в среднем на 30%, внесение органоминеральных удобрений было более эффективно и обеспечивало повышение урожая до 50% и улучшение его качества. Органические удобрения под капусту, огурцы рекомендуется вносить в дозах 20 - 40 т/га, под бахчевые – 20 - 30 т/га. В короткоротационных 3 - 4-польных севооборотах органические удобрения следует вносить один раз за ротацию нормой 30 - 60 т/га.

Для Средней Азии рекомендуемые дозы минеральных удобрений под овощные и бахчевые культуры приведены в табл. 9.73.

9.73. Примерные дозы минеральных удобрений под овощные и бахчевые культуры в Средней Азии, кг действующего вещества на 1 га

Культура	Урожай, ц/га	Сероземы			Луговые и лугово-болотные почвы		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Капуста	200 - 300	150 - 200	100 - 150	50 - 100	120 - 150	120 - 150	60 - 100
Морковь	120 - 150	75 - 120	75 - 100	40 - 50	50 - 100	50 - 120	30 - 50
Томаты	300	200	150	100	150	150	100
Лук	220	200	150	75	160	160	100
Свёкла столовая		120	90	60	100	120	90
Огурцы	150	150	100	75	100	100	50
Прочие овощи	150	150	100	50	100	120	50
Бахчевые	250 - 300	100 - 150	100 - 150	50	80 - 100	100 - 120	50 - 60

СПОСОБЫ И СРОКИ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД ОВОЩНЫЕ КУЛЬТУРЫ

Минеральные удобрения при основном внесении заделывают осенью под зяблевую вспашку. На легких почвах и в районах достаточного увлажнения азотные удобрения можно вносить весной. Навоз и другие органические удобрения в районах недостаточного увлажнения необходимо вносить осенью под зяблевую вспашку, а в районах достаточного увлажнения их вносят под рано высеваемые культуры (лук, морковь, ранняя капуста) осенью под зябь, а под культуры позднелысеваемые (огурцы, томаты, средняя и поздняя капуста) – весной, но не позже, чем за 10 - 15 дней до посева или

посадки овощей. Важно создать два очага удобрений: $\frac{2}{3}$ и $\frac{3}{4}$ дозы внести под плуг, остальную часть – в рядки или вразброс до посева.

При посеве овощных культур широкорядным способом хорошо дать небольшую дозу удобрений в рядки (10 - 20 кг NPK с учётом отношения овощных культур к концентрации солей). Лучше всего такие дозы вносить комбинированной сеялкой одновременно с посевом семян на 2 - 3 см глубже семян и на 2 см в сторону от рядка. Вместе с семенами можно вносить лишь суперфосфат, уменьшив его дозу в 2 раза.

В процессе вегетации овощных культур проводят подкормки. Первую подкормку вносят на расстоянии 6 - 8 см от растений растениепитателями. Для рассадных культур подкормку лучше проводить одновременно с высадкой рассады или после того, как она приживется. Для высеваемых культур подкормку рекомендуется проводить при появлении третьего настоящего листа. При благоприятных погодных условиях дают и вторую подкормку, внося удобрения на глубину 10 - 12 см в середину междурядий до смыкания рядков, чтобы не повредить растения.

Дозы минеральных удобрений в подкормке в зависимости от основного удобрения, плодородия почвы и вида овощных культур составляют $N_{15-30}P_{15-30}K_{15-30}$. Для подкормок можно использовать также птичий помет (5 - 6 ц/га), навозную жижу (3 - 4 т/га), хорошо добавить к ней суперфосфат (1 ц/га).

Подкормки наиболее эффективны в районах достаточного увлажнения или при орошении, особенно на почвах легкого гранулометрического состава. В более засушливых районах в неорошаемом овощеводстве значение подкормок снижается. В этих условиях большую часть, а при небольших дозах все количество удобрений целесообразно вносить до посева с глубокой заделкой и лишь небольшое количество удобрений оставлять для внесения в рядки, в лунки или при посадке рассады. Например, в лесостепных районах страны на суглинистых и глинистых черноземах всю годовую норму удобрений для овощных культур целесообразно использовать в один прием – в основное внесение. Подкормка рекомендуется лишь в том случае, если в основном приеме удобрений было внесено недостаточно. Примерные системы удобрений в овощном севообороте приведены в табл. 9.74, 9.75. Такие севообороты используются на пойменных почвах Московской области.

Для Кубани, для центральной и западной зон примерная система удобрения в овощном орошаемом севообороте приведена в табл. 9.76.

В овощном севообороте северо-западной зоны на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (рН 5,4 - 5,6; гумус 2,5 - 3%) рекомендуется система удобрений, представленная в табл. 9.77.

9.74 Примерная система удобрений в севообороте с ранними овощными культурами

№ поля. Культуры	Планируемый урожай, ц/га	Основное внесение удобрений		Предпосевное удобрение	Подкормки
		органические, т/га	минеральные, кг/га		
№1. Однолетние травы (силосные)	300	–	N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₁₀	–	–
№2. Капуста цветная	250	навоз или компост – 40, после уборки капусты посев трав на сидераты – 40	N ₁₃₀ P ₁₂₀ K ₁₈₀	–	N ₂₀ K ₃₀
№3. Корнеплоды	300	–	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₃₀	P ₁₀	N ₃₀ P ₃₀
№4. Огурцы и томаты	350	навоз или компосты под огурцы – 60 - 80	N ₇₀ P ₈₀ K ₁₂₀	–	N ₂₀ K ₃₀
№5. Капуста белокочанная ранняя	600	–	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	–	N ₂₀ P ₃₀

9.75. Примерная система удобрения в севообороте с поздними овощными культурами

№ поля. Культуры	Планируемый урожай, ц/га	Основное внесение удобрений		Припосевное удобрение	Подкормки
		органические, т/га	минеральные, кг/га		
№1. Бобово-злаковые	300	повторный посев на сидераты – 30 - 40	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	–	–
№2. Капуста белокочанная поздняя	800	–	N ₁₃₀ P ₁₀₀ K ₂₀₀	–	N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀
№3. Капуста белокочанная поздняя	800	навоз или компост – 40 - 60	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₆₀	–	N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀
№4. Морковь	500	–	N ₈₀ P ₈₀ K ₁₄₀	P ₁₀	–
№5. Свёкла	600	–	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₇₀	P ₁₀	N ₂₀ P ₁₀ K ₃₀

Примерная схема удобрений в овощных севооборотах Украины приведена в табл. 9.78; в табл. 9.79 – для лесостепи при орошении в условиях Поволжья; в табл. 9.80 – для южной зоны Казахстана. В 5-6-польных севооборотах этой зоны Казахстана органические удобрения должны вноситься не менее чем в двух полях, в первую очередь под огурцы, капусту, картофель, если они размещаются не по пласту многолетних трав. Корнеплоды, лук и томаты лучше высевать второй культурой после внесения органических удобрений.

9.76. Примерная система удобрения в овощном орошаемом севообороте для центральной и западной зон Кубани

Чередование культур	Использование удобрений				Всего
	основное	предпосадочное или предпосевное	при посеве или посадке	подкормка	
Многолетние травы	N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀	—	—	—	N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀
Многолетние травы	—	—	—	P ₃₀ K ₃₀	P ₃₀ K ₃₀
Томаты рассадные	—	P ₃₀ K ₃₀	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₅₀ P ₉₀ K ₉₀
Огурцы	P ₃₀ K ₃₀	—	—	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀
Лук, чеснок	P ₃₀ K ₃₀	N ₃₀ P ₂₀ K ₂₀	—	—	N ₃₀ P ₅₀ K ₅₀
Томаты	P ₄₀ K ₄₀	N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀	—	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₅₀ P ₉₀ K ₉₀
Капуста средняя и поздняя	30 т навоза + P ₃₀ K ₃₀	P ₃₀ K ₃₀	N ₂₀ P ₁₀ K ₁₀	N ₇₀ P ₂₀ K ₂₀	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
Корнеплоды	P ₂₀ K ₂₀	N ₃₀ P ₁₀ K ₁₀	—	—	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀
Томаты	20 т навоза + P ₄₀ K ₄₀	N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀	—	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₅₀ P ₉₀ K ₉₀
Капуста ранняя	P ₄₀ K ₄₀	—	N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀	N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀

9.77. Примерная система удобрения в овощном севообороте северо-западной зоны

Чередование культур	Планируемый урожай, ц/га	Основное внесение	Припосевное внесение	Подкормка
Яровые зерновые с подсевом клевера	25 - 50	4–5 т извести + N ₆₀ P _{50–60} K _{60–80}	P ₁₀ + нитрагин с семенами клевера	—
Клевер на сено	40 - 45	—	—	P ₆₀ K ₄₀
Капуста поздняя	400 - 500	40–50 т навоза + N _{80–100} P _{60–80} K _{100–120}	—	1- 2 подкормки
Свекла*	200 - 250	N _{60–90} P _{60–80} K _{60–80}	P ₁₀	—
Капуста поздняя	400 - 500	50–60 т навоза + N _{100–120} P _{60–80} K _{100–120}	—	1- 2 подкормки

* Часть поля может быть занята другими столовыми корнеплодами.

Полуперепревший навоз, фосфорно-калийные удобрения вносят осенью под глубокую вспашку или весной при отвальной перепашке поля в количестве 2/3 годовой нормы. Азотные удобрения вносят равными частями при предпосевной культивации и в подкормках растений.

9.78. Примерная система удобрения
в овощных севооборотах Украины

Чередование культур	Навоз, т/га	Минеральные удобрения под вспашку, кг/га			В рядки при посеве P ₂ O ₅ , кг/га
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
<i>Левобережная степь при орошении</i>					
Яровые зерновые с подсевом люцерны	–	–	60	60	10
Люцерна	–	–	–	–	–
Люцерна	–	–	–	–	–
Огурцы	40	60	60	45	10
Томаты	–	120	120	90	–
Лук	30–40 т перегноя	120	60	60	–
Капуста	–	120	120	90	–
Сборное поле	–	90	90	90	–
<i>Степь при орошении</i>					
Яровые зерновые с подсевом люцерны	–	30	100	60	10
Люцерна	–	–	–	–	–
Люцерна	–	–	–	–	–
Огурцы	20–40	60	60	30	10
Томаты	–	80	70	0–30	–
Лук	25 т перегноя	60	60	0–60	10
Капуста	–	80	80	30	–
Сборное поле	–	90	90	0–60	–

Примечание. Люцерну рекомендуется подкармливать ежегодно фосфорно-калийными удобрениями (P_{30–60}K_{30–60}), а также проводить 1 - 2 подкормки огурцов, томатов и капусты в дозе N_{20–30}P_{20–30}K_{15–20}.

Первая подкормка проводится одновременно с междурядной культивацией после появления массовых всходов столовых корнеплодов, лука, картофеля, при образовании 1 - 2 настоящих листьев огурца и бахчевых или через 10 - 12 дней после приживания рассады пасленовых и капусты. Вторую подкормку дают при междурядной культивации перед плодообразованием пасленовых, бахчевых или в начале его, во время бутонизации картофеля, в начале формирования корнеплодов, образования луковиц, завязывания кочана. Для ранних овощных и картофеля достаточно одной подкормки после появления массовых всходов растений или через 10 - 12 дней после приживания рассады.

9.79. Примерная система удобрения культур овощного севооборота в лесостепи Поволжья при орошении

Чередование культур	Навоз, т/га	Минеральные удобрения, кг/га		
		основное внесение	перед посевом или при посеве	подкормка
Капуста	30 т	$P_{30-45}K_{30-45}$ под вспашку	N_{30} под культивацию зяби, $N_{15}P_{20}K_{15}$ при высадке рассады	первая – $N_{15}P_{15}$ через 15 - 20 дней после высадки рассады; вторая – $N_{20}P_{20}K_{30}$ через 2 недели после первой
Томаты	–	$P_{45}K_{45}$ под вспашку	N_{30} под культивацию, $N_{15}P_{20}K_{15}$ при высадке рассады	первая – $N_{15}P_{25}K_{25}$ в начале цветения; вторая – $N_{20}P_{25}K_{25}$ в период плодообразования
Лук	20 - 30 т перегноя	$P_{45}K_{45}$ под вспашку	N_{20} под культивацию, P_{10} в рядки	первая – $N_{15-20}P_{15-20}$; вторая – $N_{15-20}P_{15-20}K_{15-20}$
Столовые корнеплоды	–	$P_{45}K_{45}$ под вспашку	P_{10} в рядки под морковь, $N_{10}P_{15}K_{15}$ под свеклу	первая – $N_{10}P_{10}K_{10}$; вторая – $N_{15}P_{20}K_{20}$ под морковь; первая – $N_{15}P_{20}K_{20}$; вторая – $N_{20}P_{30}K_{30}$ под свеклу

9.80. Примерная схема размещения удобрений в овощном севообороте Южного Казахстана

Чередование культур	Навоз, т/га	Минеральные удобрения, кг/га		
		основное внесение	предпосевное или припосевное	подкормки
Зерновые с подсевом люцерны	–	$N_{45}P_{75}K_{45}$	P_{15}	N_{50}
Люцерна	–	–	–	–
Люцерна	–	–	–	–
Томаты	–	$P_{60}K_{60}$	$P_{30}K_{30}$	первая – $N_{35}P_{15}$, вторая – $P_{15}K_{30}$
Огурцы	30	P_{45}	–	первая – $N_{35}P_{15}$; вторая – N_{35}
Капуста	30	$P_{30}K_{45}$	$N_{60}P_{20}$	$N_{60}P_{20}K_{20}$
Картофель	–	$P_{45}K_{30}$	$N_{30}P_{15}$	$N_{35}P_{15}$
Столовые корнеплоды	–	$P_{45}K_{40}$	N_{30}	$N_{35}P_{15}$

Наилучшие формы удобрений для них – мочевина, аммиачная селитра, сернокислый аммоний, суперфосфат двойной, хлористый калий, сернокислый калий. Из комплексных применяют аммофос, нитроаммофос.

9.6. УДОБРЕНИЕ ЛУГОВ, ПАСТБИЩ И СЕЯНЫХ ТРАВ В ПОЛЕВОМ СЕВОБОРОТЕ

В комплексе с осушением, поверхностным улучшением, подсевом трав и другими мероприятиями удобрения приобретают большое значение в повышении продуктивности кормовых угодий. Травы на сенокосах и пастбищах растут с весны и до осени, что обуславливает повышенную их потребность в питательных веществах. Потребность в них увеличивается при многократном скашивании трав, особенно при пастбищном использовании угодий. Это объясняется тем, что молодая трава пастбищ отличается более высоким содержанием азота, фосфора, калия и других питательных веществ по сравнению с травами сенокосного использования. Несмотря на частичный возврат питательных веществ с выделениями животных, пастбища обычно нуждаются в более высоких дозах удобрений, чем сенокосы. В 100 кг сена содержится 1,5 - 2 кг N, 0,4 - 0,5 кг P₂O₅ и 1,5 - 2 кг K₂O; в 100 кг сухой массы пастбищной травы – соответственно 2,5 - 3; 0,6 - 0,7 и 2,5 - 3 кг; при обильном удобрении на высокопродуктивных пастбищах в 100 кг сухой массы – 3 - 3,5 кг N, 0,8 - 1 кг P₂O₅ и 3 - 3,5 кг K₂O.

Необходимо учитывать особенности пополнения запасов питательных веществ в почве на лугах и пастбищах с помощью удобрений: характер травостоя, особенно соотношение в нем бобовых и злаковых трав; способ использования кормового угодья; предшествующее удобрение; плодородие почвы, ее агрохимическую характеристику (почвенная разность, гранулометрический состав и др.); условия увлажнения, хозяйственные задачи и возможности и др.

УДОБРЕНИЕ ЛУГОВ

На лугах с минеральными почвами фосфорные и калийные удобрения вносят из расчета 30 - 40 кг каждого питательного вещества на 1 га. Луга на осушенных торфяниках, а также бобово-злаковые травосмеси нуждаются в более высоких дозах фосфора и калия – до 60 - 100 кг/га. Пойменные (заливные) природные сенокосы Нечернозёмной зоны, расположенные в центральной части поймы преимущественно со злаковым и злаково-разнотравным травостоем, рекомендуется ежегодно удобрять азотными (45 - 90 кг) и калийными (30 - 60 кг/га) удобрениями. При внесении 45 - 60 кг азота при двухукосном использовании луга можно получить 40 - 50 ц/га сена, а при дозах азота 90 кг – 60 - 70 ц/га. При многоукосном использовании (три укоса и более) травостоя заливного луга или при орошении сенокоса дозы азотного удобрения увеличивают до 120 кг N,

а калийных – до 90 кг K_2O на 1 га. В этом случае дополнительно к азотному и калийному удобрениям вносят фосфорные из расчёта 30 - 45 кг P_2O_5 на 1 га. Урожай при этом повышаются до 80 - 90 ц сена с 1 га.

На злаковых и разнотравно-злаковых сенокосах, расположенных в приустьевой части поймы крупных рек с супесчаными почвами, а также на слабозаливаемых или незаливаемых сенокосах долин малых рек с супесчаными почвами необходимо ежегодно вносить полное минеральное удобрение в нормах: 45 - 60 кг N, 30 - 45 кг P_2O_5 и 30 - 60 кг K_2O на 1 га. Это обеспечивает получение в среднем 35 - 40 ц сена с 1 га. Такие же дозы удобрений требуются на суходольных природных сенокосах со злаковыми и разнотравно-злаковыми травостоями на дерново-подзолистых и серых лесных почвах.

Для получения урожаев сена 40 - 50 ц/га на низинных сенокосах с преобладанием злаково-разнотравного травостоя на минеральных дерново-подзолистых почвах требуется ежегодно вносить по 60 - 90 кг N, 45 - 60 кг P_2O_5 и 60 - 90 кг K_2O на 1 га.

Травостой пойменных сенокосов в Ростовской области, в основном злаковые, нуждаются прежде всего в азотных удобрениях. Оптимальная экономически выгодная доза этих удобрений 60 - 90 кг N на 1 га. Такая доза удваивает урожай сена с пойменного сенокоса.

На горных лугах наиболее эффективны азотные и фосфорные удобрения. Для предгорных лугов, расположенных на небольшой высоте (500 - 600 м над уровнем моря), оптимальные дозы азотных удобрений составляют 90 - 120 кг N, для среднегорных (800 - 1000 м) – 60 - 90, для высокогорных (субальпийских и альпийских) – 45 - 60 кг. Фосфорные и азотные удобрения рекомендуется вносить в соотношении 1/3 - 2/3 : 1, т. е. 120 - 180 кг N, 40 - 60 или 60 - 90 кг P_2O_5 . Калийные удобрения вносятся в дозе 30 - 40 кг действующего вещества на 1 га.

Лучший срок внесения азотных удобрений – рано весной вразброс по поверхности почвы. При дозе 40 - 90 кг их обычно вносят в один срок, а при более высоких дозах в два-три приёма – 50% рано весной и по 25% после каждого укоса. Так же поступают с внесением азота в зависимости от числа укосов. На одноукосных сенокосах всю дозу азотных удобрений дают весной, а на двуукосных в два приёма: под первый – 60 - 70% и под второй укос – 30 - 40%. Применение азотных удобрений в ранние сроки развития злаковых трав обеспечивает повышение урожая, но мало изменяет содержание азотистых веществ в сене; удобрения же, внесенные во вторую половину вегетации растений, слабо повышают урожай, но увеличивают содержание азотистых веществ в сене. Фосфорные и калийные

удобрения на сенокосах вносят весной или после первого укоса, или осенью, что обуславливается слабой миграцией РК по профилю почвы.

На выровненных плато и склонах не более 15° для внесения удобрений используют наземные машины, самолеты, а на участках с сильно пересеченным рельефом и склонами более 15° – вертолёты.

Примерные дозы удобрений разных типов лугов представлены в табл. 9.81.

9.81. Дозы удобрений для ежегодного внесения на разных типах лугов

Тип луга	Почва	Удобрение, кг действующего вещества на 1 га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Сеянный на осушенных низинных торфяниках	торфяная	0 - 50	30 - 45	45 - 90
Сеянный на осушенных переходных торфяниках	торфяная	30 - 50	30 - 45	30 - 60
Суходольный сухой Нечернозёмной зоны	песчаная и супесчаная	30 - 40	20 - 30	20 - 30
То же	глинистая и суглинистая	30 - 40	30	20 - 30
Заливной высокого уровня	аллювиальная песчаная и супесчаная	30-50	20 - 30	30 - 45
Заливной низкого уровня	аллювиальный суглинок	30 - 70	20 - 30	20 - 30
Горно-степной	горный чернозём	30 - 50	30 - 45	0 - 30

УДОБРЕНИЕ ПАСТБИЩ

На природных суходольных пастбищах при поверхностном их улучшении рекомендуемые дозы удобрений следующие: N₉₀₋₁₂₀P₄₅₋₆₀K₆₀₋₉₀. При таком удобрении урожаи возрастают с 40 - 50 до 150 - 200 ц зеленой массы с 1 га. Если доля многолетних бобовых трав в травостое на природных пастбищах достигает 30%, то дозу фосфорных удобрений целесообразно увеличить до 75 - 90 кг P₂O₅ и калийного – до 100 - 120 кг K₂O, а дозу азотного уменьшить до 45 - 60 кг N на 1 га.

При пастбищном использовании кормового угодья азотные удобрения в небольших дозах (N₃₀₋₅₀) вносят в один прием – после первого стравливания или при слабом отрастании травы. При повышенных же дозах (N₆₀₋₁₂₀) удобрение целесообразно вносить в несколько приемов по N₃₀₋₅₀ весной и после очередного стравливания на пастбищах с бедными почвами. На богатых же почвах первое внесение удобрений проводят после первого стравливания и затем после каждого очередного стравливания.

Оптимальная зона азотного удобрения на пойменных культурных пастбищах при интенсивном их использовании 60 кг N на 1 га под цикл (300 кг N на 1 га за сезон). Эта доза обеспечивает получение 7 - 12 тыс. кормовых единиц с 1 га при оплате 1 кг N 10 - 13 кормовыми единицами. Дозы 90 - 120 кг под цикл (450 - 600 кг N на 1 га за сезон) к существенному приросту урожая трав не приводили. Кроме того, с увеличением дозы снижалось качество корма в результате увеличения содержания нитратов.

Примерные дозы минеральных удобрений для подкормки культурных пастбищ в лесной зоне следующие: на бобово-злаковом травостое без орошения – $N_{30-40}P_{30-45}K_{60-90}$, при орошении – $N_{40-45}P_{45-60}K_{60-120}$; на злаковом травостое без орошения – $N_{180-200}P_{45-60}K_{90-120}$, при орошении – $N_{240-300}P_{60-90}K_{120-180}$. Дозы азотного удобрения в бобово-злаковой травосмеси указаны при слабом развитии бобовых трав в год посева. Если доля бобовых в травостое снижается до 20%, то азотные удобрения вносят в дозах, указанных для злакового пастбища.

Лучший эффект от первой подкормки азотом получается, когда её вносят не рано весной, а спустя 3 - 4 недели после схода снега. Фосфорные и калийные удобрения при пастбищном использовании кормового угодья вносят, так же как и при сенокосном, в один приём – весной, летом или осенью. При систематическом применении этих удобрений время внесения мало отражается на их эффективности. При внесении повышенных доз калийных удобрений (K_{80-120}) целесообразно вносить их дробно вместе с азотными во избежание слишком высокого содержания калия в травах, что ведет к неблагоприятному соотношению для животных одновалентных и двухвалентных катионов в пастбищном корме. Примерная схема внесения удобрений в течение вегетационного периода на различных пастбищах представлена табл. 9.82.

Сеяные культурные пастбища со злаково-бобовым травостоем на предкавказском черноземе лучше отзываются на азотно-фосфорные удобрения, естественно-пойменные – на азотные. Лучшей дозой удобрения культурного пастбища со злаковым травостоем является $N_{240}P_{30}$; урожай при нормальном режиме орошения повышается более чем в 3 раза. На культурном пастбище с бобово-злаковым травостоем необходимо вносить по 90 - 120 кг N в четыре приёма и по 90 - 120 кг P_2O_5 на 1 га осенью.

При создании искусственных сенокосов и пастбищ необходимо учитывать, что потребность в питательных веществах трав довольно высокая уже в первый год жизни. Хотя надземная часть растения развивается слабо, однако в это время интенсивно формируется корневая система.

9.82. Примерная схема внесения удобрений
в течение вегетационного периода на различных пастбищах
(на 1 га)

Пастбище	Весной	После первого стравливания	После второго стравливания	После третьего стравливания
Сеяное или природное с чисто злаковым травостоем на минеральных почвах, продуктивность 4 - 5 тыс. кормовых единиц с 1 га	1 - 1,25 ц аммиачной селитры, 3 - 4 ц суперфосфата и 1 ц хлористого калия	1 - 1,25 ц аммиачной селитры	1 - 1,25 ц аммиачной селитры и 0,5 ц хлористого калия	1 - 1,25 ц аммиачной селитры
Сеяное с преобладанием злаковых трав на осушенных низинных торфяниках, продуктивность 4 - 5 тыс. кормовых единиц с 1 га	3 - 4 ц суперфосфата и 1 ц хлористого калия	—	1 ц хлористого калия	—
Сеяное или природное с большим участием белого клевера и других бобовых трав, продуктивность 3 - 4 тыс. кормовых единиц с 1 га	2 - 3 ц суперфосфата и 1 ц хлористого калия	—	0,5 - 1 ц хлористого калия	—

Вследствие слабой подвижности фосфора в почве фосфорные удобрения следует вносить из расчета обеспечения урожая трав на длительный срок использования угодья и заделывать плугом глубоко. Тем самым обеспечивается их высокая эффективность, так как при поверхностном внесении суперфосфата передвижение фосфора по профилю почвы не превышает 3 - 4 см. Под глубокую вспашку необходимо вносить фосфоритную муку на кислых почвах. Заделка калийных удобрений плугом также более эффективна, чем поверхностное их внесение, хотя калий в почве более подвижен, чем фосфор, и при поверхностном внесении проникает в почву до 8 см.

Азотные удобрения перед закладкой искусственных кормовых угодий вносить нецелесообразно. Азотный режим в почве и содержание протеина в сене, особенно в первые годы, должны прежде всего регулироваться соотношением бобовых и злаковых трав; при выпадении бобовых растений их необходимо подсевать. Только в травостое, где останутся в основном злаковые растения, а бобовые будут составлять незначительную долю в смеси трав, и при невозможности их посева возникает необходимость применения азотных удобрений.

При закладке сеяных лугов и пастбищ на бедных почвах с низким содержанием гумуса целесообразно использовать навоз в дозах до 20 т/га и другие органические удобрения с заделкой их плугом.

Луговые травы лучше всего растут при рН 5,5 - 7. Поэтому при создании сеяных лугов и пастбищ необходимо вносить полные дозы известковых удобрений. Особенно плохо переносят кислую реакцию бобовые травы, кроме клевера белого, который дает хороший урожай при том же рН, что и злаки. При рН 4 - 4,5 культурные виды трав быстро вытесняются дикими злаками – щучкой дернистой, полевицей обыкновенной и др. А это приводит к необходимости перепашки луга и повторного залужения.

Известкование лугов и пастбищ, расположенных на кислых почвах, – необходимый приём повышения их продуктивности, особенно в Нечернозёмной зоне. При известковании создаются благоприятные условия для развития в травостое бобовых трав, а это приводит к вытеснению разнотравья, которое приспособлено к кислой реакции среды и не выдерживает конкуренции с бобовыми травами. Известкование повышает эффективность минеральных удобрений. Наиболее высокие прибавки урожая сена получаются при совместном внесении извести, фосфорных и калийных удобрений. В Латвии продуктивность луга на дерново-подзолистой супесчаной почве без удобрения составила 1229 кормовых единиц с 1 га, при внесении минеральных удобрений – 2521, а при совместном применении их с известкованием – 3878 кормовых единиц.

Для полной нейтрализации минеральных кислых почв необходимо внести 4 - 6 т, на кислых торфянистых почвах – 2 - 3 т известковой муки на 1 га. Лучше использовать известковые материалы, содержащие магний. Известь при коренном улучшении лугов вносят под первую предварительную культуру (обычно под вико-овсяную смесь) или перед посевом трав, в крайнем случае поверхностно по травам. Известкование повышает содержание кальция в травах, улучшает качество кормов.

При удобрении лугов и пастбищ можно использовать все формы азотных удобрений (аммиачную селитру, мочевины, аммиачные и нитратные формы). На лугах со злаковой и злаково-разнотравной растительностью основные формы азотных удобрений оказывают примерно одинаковое действие. Эффективно применение аммиачной воды и безводного аммиака. Однако для внесения жидких удобрений на луга и пастбища требуются особые приспособления, обеспечивающие разрез дернины и внесение удобрений на глубину 10 - 12 см с последующей заделкой щелей. Вследствие неравномерного распределения осложняется их применение и снижается эффективность.

Наибольший и устойчивый эффект дает аммиачная селитра. Сульфат аммония на суходольных лугах с кислыми почвами, особенно при систематическом применении, уступает аммиачной селитре

в среднем на 20%. На такую же примерно величину в среднем за много лет на разных типах лугов снижалась эффективность мочевины по сравнению с аммиачной селитрой. При залужении можно применять все формы фосфорных удобрений (суперфосфат, фосфоритную муку, фосфат-шлаки, плавленные фосфаты и т.д.) на кислых минеральных и торфянистых почвах. При поверхностном внесении наибольший эффект на минеральных почвах получается от суперфосфата, а на торфянистых и фосфоритная мука не уступает суперфосфату. При недостатке калия в почве на злаковых и злаково-разнотравных травостоях все формы калийных удобрений дают примерно одинаковые прибавки урожая. На бобово-злаковых травостоях несколько лучший эффект получается от сернокислого калия.

Эффективность азотных, фосфорных и калийных удобрений на лугах и пастбищах зависит от плодородия почв, их гранулометрического состава. Например, более высокое действие фосфорных удобрений отмечается на лугах, расположенных на торфяных почвах, на низинных лугах, а низкое – на суходольных и заливных. Калийные удобрения более эффективны на лугах на осушенных торфяниках и низинных, а менее эффективны – на суходольных сухих. Слабая отзывчивость на азотные удобрения наблюдается на сеяных лугах и пастбищах, расположенных на окультуренных торфяниках центральных и южных областей России, а также на лугах и пастбищах с высоким содержанием в травостое бобовых растений (30 - 50%), на которых фосфорно-калийные удобрения обеспечивают достаточно высокие урожаи трав. Наиболее высокое действие фосфорно-калийного и полного минерального удобрения отмечается в западных, северных, северо-западных и центральных областях России, а также в горных районах.

На сеяных лугах и пастбищах действие удобрений выше, чем на природных кормовых угодьях. Однако и на естественных лугах и пастбищах с хорошим, незасоренным травостоем, особенно на заливных лугах с ровной поверхностью (без кочек) при механизированном внесении удобрений и уборке, систематическое удобрение этих кормовых угодий резко повышает урожай трав.

УДОБРЕНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ

С урожаем 50 - 70 ц сена клевер выносит из почвы 30 - 65 кг P_2O_5 , 70 - 120 кг K_2O , 120 - 170 кг CaO , 37 - 52 кг MgO (в надземной массе около 100 кг N и такое же количество в корнях). В Нечернозёмной зоне клевер хорошо отзывается на фосфорное и калийное удобрение, а на чернозёмах – на фосфорное. Кроме того, клевер хорошо реагирует на известкование на кислых почвах, на внесение

магниевого удобрения на песчаных почвах, медных – на торфяных и минеральных почвах стран Балтии и северо-западных областей России, молибдена – на многих дерново-подзолистых почвах.

Азотные удобрения под клевер не вносят, так как клевер питается азотом благодаря деятельности клубеньковых бактерий, живущих на корнях растений. Исключение составляют клеверо-злаковые смеси с небольшим участием клевера. В этом случае азот наряду с фосфором и калием имеет решающее значение в повышении урожая травосмеси. При возделывании бобовых трав нужно максимально использовать способность клубеньковых бактерий связывать атмосферный азот. Развитие этих бактерий улучшается при хорошем обеспечении клевера фосфором и калием. Внесение минерального азота в дозе более 30 кг, а также навоза более 20 - 30 т/га подавляет развитие клубеньковых бактерий. Клевер не переносит кислую реакцию среды. При pH ниже 5 и содержании подвижного алюминия или марганца более 1,5 - 2 мг на 100 г почвы клевер плохо растет, изреживается при перезимовках, урожай семян и сена снижается. Кислая реакция среды, подвижные формы алюминия и марганца, а также недостаток молибдена в почве отрицательно сказываются на развитии клубеньковых бактерий, процессах фиксации и превращения азота. Вследствие этого нарушается нормальное питание клевера азотом, листья приобретают бледно-зелёную окраску и подвергаются грибным заболеваниям.

Корни клевера обладают способностью усваивать фосфор из труднорастворимых соединений. Эта способность с возрастом повышается. Корневая система клевера проникает на глубину 100 - 125 см и более. Однако главная масса ее сосредоточена в пахотном слое почвы, куда и следует заделывать основную часть минеральных удобрений. При возделывании клевера удобрения вносят под покровную культуру: при посеве покровной культуры – гранулированный суперфосфат в количестве 10 - 15 кг P_2O_5 на 1 га, затем – в первый год пользования травами после первого укоса и по травам второго года пользования.

Клевер хорошо отзывается на внесение навоза, различных компостов (в дозе до 20 т/га) под покровную культуру. Под нее можно вносить и смесь навоза с фосфорно-калийным удобрением или только фосфорно-калийное удобрение. В большинстве случаев основное удобрение, внесенное под покровную культуру, – решающее условие получения высоких урожаев сена. Клевер красный лучше отзывается на внесение фосфорных и калийных удобрений под покровную культуру, чем поверхностно в подкормку.

Если под покровную культуру удобрения не применяли или вносили их в недостаточном количестве, то после ее уборки нужно дать фосфорные и калийные удобрения. Подкормка более целесообразна в ранние сроки жизни клевера. После уборки покровной культуры он быстро отрастает и чувствителен к недостатку фосфора и калия, так как корневая система в это время слабо усваивает фосфор из труднорастворимых соединений. Своевременное поверхностное внесение удобрений укрепляет вышедшие из-под покрова ослабленные растения клевера, повышает их зимостойкость и значительно увеличивает урожай в последующие годы. Дозы удобрений на дерново-подзолистых почвах: P_2O_5 – 30 кг, K_2O – 50 - 60 кг на 1 га; на серых лесных почвах и черноземах: P_2O_5 – 30 кг и K_2O – 30 - 40 кг на 1 га.

Лучшее фосфорное удобрение для поверхностного внесения – суперфосфат, а для основного внесения под покровную культуру – фосфоритная мука. Лучшими формами калийных удобрений под клевер являются сернокислый калий, калимагнезия и высокопроцентные калийные удобрения (KCl); они улучшают зимостойкость растений и повышают урожай.

Для клевера важное значение имеют молибден и бор. В качестве молибденового удобрения используют молибденизированный суперфосфат или молибденовокислый аммоний. Последний применяют для некорневой подкормки в дозе 50 - 100 г на 1 га или для обработки семян перед посевом из расчета 20 - 50 г на гектарную норму семян.

По особенности питания и потребности в питательных веществах близко к клеверам стоит лишь люцерна. Она хорошо отзывается на фосфорное удобрение, особенно в южных районах, – урожай сена увеличивается на 10 - 15 ц/га, а в поливных условиях прибавки возрастают до 20 - 70 ц. Калийные удобрения на незасоленных почвах в степных районах оказывают слабое влияние на урожай, а на засоленных даже снижают его. При хорошем фосфорном питании (50 - 60 кг P_2O_5 на 1 га) усиливается действие и калийных удобрений. При продвижении этой культуры на север, в Нечернозёмную зону, особое значение приобретает навоз, а на кислых почвах – известкование. Она более требовательна к реакции почвы, чем клевер красный (рН 6,5 - 7).

Поверхностное внесение части суперфосфата на второй и третий год жизни люцерны (под борону) не имеет преимуществ перед всей (трехлетней) нормой под глубокую пахоту (на 25 - 28 см). Это объясняется как слабым проникновением фосфатов по профилю почвы, так и высоким их последствием. Трехлетнюю дозу фосфора (90 кг P_2O_5) вносят под глубокую вспашку. Если в основном приёме

удобрения внести не удалось, то их вносят весной (до отрастания) и заделывают бороной в два следа.

Удобрения не только повышают продуктивность сенокосов и пастбищ, но и оказывают существенное влияние на качество корма, изменяя содержание белков и их аминокислотный состав, содержание углеводов, макро- и микроэлементов и другие показатели, определяющие их качество. Например, фосфорно-калийные удобрения в сочетании с умеренными дозами азота (60 - 90 кг/га) увеличивают содержание ряда важных аминокислот в сыром белке пастбищных трав и тем самым повышают биологическую ценность корма. При применении более высоких доз азота (300 - 400 кг/га) белковость корма значительно возрастает. Однако это происходит прежде всего за счет значительного накопления небелкового азота и часто сопровождается уменьшением количества некоторых ценных аминокислот. Применение высоких доз азота снижает содержание растворимых углеводов, которые расходуются на синтез аминокислот. Лучшее обеспечение азотом торфянистых почв приводит к большему содержанию белков в пастбищном корме на этих почвах. В травах же, выращиваемых на дерново-подзолистой почве, белков накапливается значительно меньше.

Общим положением для всех кормовых культур является то, что их химический состав в значительной степени отражает содержание макро- и микроэлементов в почве. Недосток тех или иных элементов сказывается на химическом составе растениеводческой и животноводческой продукции, а в конечном счете и на качестве продуктов питания человека. Недосток минеральных веществ можно компенсировать внесением соответствующих удобрений. Но каждое удобрение, как правило, усиливает поступление одних элементов и снижает – других. Например, известкование снижает кислотность почвы и усиливает поступление в растения фосфора, кальция и магния, количество же марганца, цинка, кобальта уменьшается. Под влиянием азотных удобрений содержание натрия, цинка, меди, кобальта, марганца увеличивается, а фосфора, кальция и магния снижается. Фосфорные удобрения повышают накопление фосфора в растениях, а кислые их формы – марганца, простой суперфосфат – серы. Под влиянием калийных удобрений возрастает содержание калия и снижается – кальция, магния и натрия, так как калий задерживает поступление этих элементов в растения. Поэтому получить высококачественный корм можно в том случае, если удобрения применяются с учетом содержания подвижных макро- и микроэлементов в почве, потребности кормовых культур в питательных элементах и оптимизации питания ими выращиваемых культурных растений.

Несбалансированность растительной продукции минеральными элементами (избыток калия, недостаток магния и кальция) вызывает ряд заболеваний животных, снижает их продуктивность. Под влиянием калийных удобрений содержание калия в корме повышается до 5% и более, т.е. до токсичного для животных количества, нарушается и оптимальное соотношение калия и натрия в корме, которое колеблется в пределах 5 - 8 : 1. Критическим пределом содержания калия в сухом веществе корма считается 3%, если в корме мало магния и много (более 17 - 20%) сырого белка. При внесении всей годовой дозы калия весной накопление калия в корме может достигать 5 - 6%. Поэтому при годовой дозе калия не более 60 кг/га K_2O вносить удобрение нужно после первого цикла использования, а при дозе более 60 кг/га калийные удобрения вносят дважды: после первого цикла и осенью. При высоком содержании подвижного калия в почве калийные удобрения весной не вносят.

Повышенные дозы азотных удобрений ослабляют накопление в травах кальция и магния, нарушая оптимальное соотношение К: (Са + Mg), которое в зеленом корме составляет 1 : 2,2. При недостатке кальция и магния в корме животные заболевают пастбищной тетанией. При низком содержании магния в почве и острой потребности в нем растений ежегодная компенсация магния (30 - 40 кг/га) достигается внесением магнийсодержащих калийных удобрений, а также доломитизированных известняков.

Положительное действие на качество корма оказывают и микроэлементы: улучшается питательная ценность трав. Опрыскивание микроэлементами повышает содержание белка, жира, безазотистых экстрактивных веществ. Улучшаются и другие показатели. Поэтому применением системы удобрений на лугах и пастбищах важно обеспечить сбалансированное содержание в кормах всех элементов.

Удобрения могут и косвенно влиять на качество корма. Так, интенсивное использование лугов и пастбищ под влиянием удобрений, т.е. большее число укусов и стравливание, значительно увеличивает содержание питательных веществ в корме, улучшает его перевариваемость и питательность. При чрезмерно же высоком содержании белка в корме растет его перерасход на образование единицы молока. При высоких дозах азота возможно и повышенное содержание мочевины в люпине. Кроме того, возможно повышенное накопление нитратного азота в корме, пределы токсичного количества его колеблются от 0,07 до 0,2%. Этому способствуют чрезмерно высокие дозы азотного удобрения, дефицит влаги в почве, недостаток фосфора и калия, низкая освещенность, низкие температуры.

Орошение, применение других видов удобрений снижают накопление нитратов в растениях. Обычно внесение после укоса 60 - 90 кг/га азота не приводит к токсичному накоплению нитратов. На пастбищах же после удобрения их повышенными дозами азота не рекомендуется быстрое стравливание молодой травы.

Важный показатель качества корма – содержание сахаров, а также отношение белков к сахарам (за оптимальное принято 1 : 0,8 - 1,5). При возрастании доз азота это отношение изменяется от 1 : 0,71 (при 120 кг/га азота) до 1 : 0,37 (при 360 кг/га азота). Поэтому для обеспечения достаточного количества углеводов в корме с сильно удобренных азотом площадей необходимо использовать злаки, богатые углеводами.

9.7. УДОБРЕНИЕ ПЛОДОВЫХ И ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПИТАНИЯ ПЛОДОВЫХ И ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР

Плодовые и ягодные культуры являются многолетними растениями, произрастающими на одном месте в течение многих лет. Поэтому в плодоносящих плодовых и кустарниковых садах основными мероприятиями повышения плодородия почв являются система применения удобрений и содержания почвы, а в засушливых условиях и орошения.

Получить высокие урожаи плодов и ягод хорошего качества можно при оптимальном обеспечении этих культур всеми макро- и микробиогенными питательными веществами.

Плодовые деревья и кустарниковые ягодники на протяжении своей жизни имеют три возрастных периода:

- 1) период усиленного вегетативного роста, на протяжении которого происходит формирование скелета кроны растения, как основы для последующего образования органов плодоношения;
- 2) период плодоношения, когда наряду с ростом происходит усиленное образование плодовых органов и урожая плодов;
- 3) период затухания плодоношения и отмирания частей кроны.

Следовательно, для ускорения плодоношения молодых садов важно максимально способствовать усилению роста деревьев в первые годы их жизни, чтобы получить мощный скелет кроны в возможно более короткие сроки. Иначе задача получения высоких ежегодных урожаев должна решаться еще в молодом саду в процессе выращивания молодых здоровых деревьев. Это особенно важно для семечковых плодовых деревьев.

Для более скороплодных косточковых пород и ягодных культур в первый возрастной период необходимо максимально формировать рост побегов для увеличения у них поверхности плодоношения и ускорения сроков получения высоких урожаев.

Если первый возрастной период садовод стремится по возможности уменьшать, то второй период плодоношения важно максимально удлинять.

Характерная особенность всех плодовых деревьев и ягодных растений заключается в том, что плодовые почки у них закладываются в год, предшествующий плодоношению.

Таким образом, для плодоношения необходимо иметь два летних сезона. В первый сезон происходит закладка плодовых почек, а во второй – цветение и формирование плодов. Поэтому для ежегодного плодоношения необходимо, чтобы наряду с формированием урожая плодов и ягод в текущем году происходила закладка плодовых почек урожая будущего года. Это достигается применением комплекса приемов агротехники, среди которых особое значение имеет правильная система удобрения с учетом требований растений к биогенным элементам по фенофазам их роста.

В связи с этим срок наступления и интенсивность роста побегов весной, как первой фенофазы растения, зависит не только от породы, вида, сорта и температурных условий весны, но и от запасов пластических веществ, накопленных растением в предыдущем году. Если в прошедшем году мероприятия способствовали накоплению запасных веществ, то в текущем году они усиливали рост растений, и наоборот, мероприятия и условия затягивали рост растений и не позволяли им накопить запасные вещества в год плодоношения или при позднелетнем и осеннем росте, то весной следующего года ослабляется рост растений.

В целом процесс формирования урожая у плодовых и ягодных растений состоит из отдельных фаз:

а) начальная фаза, когда формирование урожая состоит из *образования плодовых почек*. Обычно она проходит в течение летних месяцев (июнь - август);

б) вторая фаза формирования урожая – *цветение*. Она протекает весной следующего года при слаборазвитых листьях или при полном их отсутствии за счет пластических веществ, накопленных растением в предыдущем году. Во время цветения и начала роста побегов микробиологические процессы в почве протекают слабо, что не позволяет обеспечить полную потребность плодового дерева в азоте;

в) фаза *завязывания плодов и дальнейший их рост*, вплоть до созревания, также зависит от обеспеченности растений элементами питания. При недостаточном питании и водоснабжении много завязи опадает, в результате снижается урожай. Цветение оказывает большое влияние на биохимические процессы плодового растения. Происходит большая трата углеводов на процессы цветения и формирования плодов, что обуславливает гидролитическую направленность азотного обмена в растении. Поэтому в год высокого урожая смещение белкового обмена в плодовых органах деревьев в сторону гидролиза резко снижает закладку плодовых почек, так как их формирование происходит в процессе активного синтеза белков.

Количество съемных плодов обычно не превышает 5 - 10% от количества цветков. Чем более интенсивное цветение, тем ниже процент полезной завязи. При более слабом цветении нередко обеспечивается достаточно высокий урожай плодов и одновременно происходит активный процесс закладки плодовых почек для урожая будущего года. Поэтому для устранения периодичности плодоношения важно в неурожайный год снижать массовую закладку плодовых почек и стимулировать процесс в год высокого урожая плодов. Это достигается регулированием питания и водоснабжения плодовых деревьев путем правильной системы содержания почвы, удобрения и орошения в сочетании с обработкой деревьев и эффективной борьбой с вредителями и болезнями.

Размер поглощения питательных элементов растениями определяется процентным содержанием их в растении, размером самого растения и уровнем урожая. Однако на вынос питательных веществ плодовым и ягодным растением в значительной степени влияют почвенно-климатические условия и система приемов агротехники.

О величине поглощения питательных веществ различными плодовым и ягодным культурами можно судить по данным таблицы 9.83.

Из ягодных культур наибольшее количество питательных веществ потребляют земляника и крыжовник, а из плодовых растений – такие культуры, как яблоня и персик. При этом ягодные культуры в отличие от плодовых потребляют большое количество не только азота и калия, но и фосфора.

Можно привести и другие сравнительные данные о потреблении питательных веществ разными плодовыми и ягодными культурами (табл. 9.84, С.С. Рубин). Эти данные также подтверждают, что ягодники, особенно земляника, выделяются повышенным потреблением питательных веществ. Из плодовых деревьев повышенным поглощением биогенных элементов на единицу урожая отличаются косточковые культуры – персик, слива, в сравнении с яблоней и грушей.

9.83. Ежегодное поглощение питательных веществ плодовыми и ягодными растениями (по различным литературным источникам, сводка Н.Д. Спиваковского)

Растения	Урожай, т/га	Поглощение, кг/га			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Яблоня плодоносящая	61,5	66,8	17,9	71,5	73,4
Груша молодая плодоносящая	22,0	33,6	8,1	37,8	43,5
Слива молодая плодоносящая	9,9	33,9	10,2	43,5	47,1
Персик плодоносящий	23,4	84,9	20,4	81,9	129,6
Айва плодоносящая	21,0	51,6	17,4	64,8	73,8
Земляника	10,8	156,0	34,6	184,4	–
Смородина красная	20,1	133,0	51,0	82,0	174,0
Смородина черная	7,3	63,0	25,0	34,0	94,0
Крыжовник	18,0	79,0	40,0	123,0	96,0

9.84. Поглощение питательных веществ плодовыми и ягодными культурами (в кг на 1 т урожая)

Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Яблоня	1,09	0,29	1,16	1,19	0,49
Груша	1,53	0,37	1,72	1,45	0,56
Персик	3,63	1,30	3,51	5,55	1,71
Слива	3,53	1,04	4,42	1,57	1,42
Смородина чёрная	8,63	3,42	4,66	12,87	–
Смородина красная	6,61	2,54	4,08	8,66	–
Крыжовник	4,39	2,22	6,83	5,33	–
Земляника	14,44	3,20	17,07	–	–

Плодовые и ягодные культуры могут реутилизировать, т.е. повторно использовать питательные вещества, содержащиеся в вегетативных органах. Так, азот, фосфор и калий из стареющих органов и тканей переходят в более молодые, а из листьев перед их опадением осенью – в ветви, ствол и корни, и вторично используются растением следующей весной. Питательные же вещества опавших листьев после разложения органических веществ становятся доступными плодовым и ягодным растениям.

Поэтому судить о выносе питательных веществ плодовыми и ягодными культурами, а следовательно, и о потребности их в удобрениях можно лишь условно. Для более объективного представления о характере питания плодовых и ягодных растений и о потребности их в удобрениях необходимо знать особенности поглощения питательных веществ по фенофазам в течение вегетационного периода.

Характер поглощения питательных веществ зависит от комплекса условий: содержания и соотношения биогенных элементов в почвенном растворе, реакции среды, водообеспеченности, светового и теплового режимов и т.д.

Как и у других культурных растений, существует тесная взаимосвязь между фотосинтезом и корневым питанием. Например, при ослаблении фотосинтеза уменьшается приток ассимилятов из листьев в корни, что снижает темп поступления элементов пищи из почвы в растение. В то же время и углеродное питание растений через листья, обмен веществ в значительной мере зависят от поступления элементов пищи в растение через корни.

Что касается поступления питательных элементов по фенофазам, то наибольшее их поглощение у многолетних плодовых деревьев происходит в фазу усиленного роста побегов, а у плодоносящих – во время формирования плодов. В то же время после окончания роста побегов и вслед за уборкой урожая плодовые и ягодные растения продолжают поглощать питательные вещества в связи с позднелетним и осенним ростом корней и запасным накоплением питательных веществ.

Исследования показывают, что у плодовых и ягодных культур имеется два периода активного поглощения питательных веществ. Первый период отмечается весной и в начале лета, когда происходит рост побегов и формирование урожая плодов и ягод. Второй период – в конце лета и осенью, т.е. после окончания уборки урожая, когда продолжается рост ствола дерева в толщину, идет накопление запасных питательных веществ. Этому благоприятствует позднелетний и осенний рост всасывающих корней.

Необходимо отметить общую закономерность в потребности плодовых и ягодных культур в питательных элементах; повышенное поглощение азота в фазу плодообразования, а также уменьшение закладки плодовых почек и снижение морозоустойчивости деревьев при недостатке фосфора и калия. Наибольшая закладка плодовых почек и наивысшая морозоустойчивость деревьев отмечаются при оптимальном обеспечении деревьев полным минеральным удобрением (NPK).

Анализ потребности плодовых и ягодных культур в питательных веществах по фазам вегетации позволяет прийти к ряду общих положений и закономерностей.

1. При достаточном водоснабжении динамика роста побегов в значительной степени зависит от обеспеченности растений азотом. Потребность в этом элементе нарастает от фазы начального роста побегов к фазе усиленного роста и затухания роста побегов.

2. С окончанием роста побегов синтез белков продолжается. Ствол растения растет в толщину до самой осени; образуются запасные белки, играющие в следующем году важную роль в развитии побегов в фазу цветения.

3. Фосфор и калий в составе полного минерального удобрения повышают морозоустойчивость растений.

4. В фазу начала усиленного роста побегов недостаточное обеспечение растения питательными веществами, особенно азотом и калием, приводит к образованию слабых побегов, преждевременно вступающих в период покоя. Поэтому на протяжении всей фазы усиленного роста побегов необходим оптимальный уровень питания и благоприятный водный режим. Это обеспечивает быстрое нарастание листьев и ускоряет прохождение ростовых процессов.

5. В фазу затухания ростовых процессов происходит отложение запасных питательных веществ в растении. В эту фазу наряду с азотным и фосфорным важно достаточное калийное питание, которое поддерживает фотосинтез в стареющих листьях, способствует своевременной остановке роста побегов и повышению морозоустойчивости растений.

6. Повышенная потребность растений во всех элементах питания имеет место в фазу цветения, в фазу завязывания и формирования плодов.

7. В год плодоношения большое значение имеет обеспечение растений калием, который в составе полного минерального удобрения усиливает рост и закладку плодовых почек.

8. Высокая потребность плодовых и ягодных культур в питании весной и в начале лета совпадает с периодом слабой микробиологической активности почвы (особенно в весенний период). Поэтому система агромероприятий должна обеспечивать благоприятный водный режим и оптимальное содержание питательных веществ в почве.

9. В конце лета и осенью нередко наблюдается несоответствие между биологическими требованиями плодовых и ягодных культур для повышения морозоустойчивости и фактическими условиями в этот период. Например, пониженная потребность растений в азоте и воде во второй половине вегетационного периода часто совпадает с повышенным содержанием минерального азота в почве и повышенной ее влажностью.

10. Плодовые и ягодные культуры обладают важной особенностью питания – способностью запасать в своих тканях значительное количество питательных веществ и расходовать их в период наибольшей потребности. Этим можно объяснить часто слабое

действие удобрений в молодых садах и ягодниках на рост побегов и утолщение штамба в сравнении с последующим их действием на урожай плодов и ягод, когда мобилизуются все запасные вещества, накопленные в предшествующие годы.

11. Для получения наибольшей эффективности от применяемой системы удобрений важно знать не только потребность в питательных веществах и периодичность питания растений в вегетационный период, но и уровень плодородия почв, климатические условия зоны, систему содержания почвы в саду, а также свойства и технологию применения самих удобрений: их виды, формы, дозы, сроки и способы внесения и т.д.

Только с учетом комплекса перечисленных факторов удобрения будут способствовать прогрессивному повышению плодородия почвы в плодовом саду, а также реализации высокой урожайности плодовых и ягодных культур.

ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПЛОДОВЫХ И ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР

Высокая продуктивность садовых растений возможна при достаточном содержании и правильном соотношении всех биогенных макро- и микроэлементов в почве.

Для этого применяется комплекс разных агротехнических приемов.

1. Система обработки почвы, направленной на мобилизацию потенциального плодородия почв, т.е. перевода питательных веществ почвы в доступные для питания растений формы.

2. Система применения органических и минеральных удобрений с учетом плодородия и свойств почвы, биологических требований выращиваемых культур, климатических особенностей зоны и свойств самих удобрений.

3. Система содержания почвы в садах, и прежде всего посев различных сидеральных культур, особенно бобовых растений, для накопления азота в почве.

Установить состояние обеспеченности питательными веществами почвы в саду можно по внешним признакам растений (*визуальная диагностика*), по определению содержания подвижных питательных веществ в почве (*агрохимический анализ почвы*) и по химическому составу отдельных органов растений, в основном листьев (*химическая листовая диагностика*).

Главным же методом определения обеспеченности растений питательными веществами на данной конкретной почве является закладка полевых и вегетационных опытов в условиях сада.

ВИЗУАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПИТАНИЯ ПЛОДОВЫХ И ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР

Признаки недостатка питательных веществ по внешнему виду плодовых и ягодных растений представлены в табл. 9.85 и на цв. ил. 1 (3; 6), 10 (4 - 8), 13 (3), 14 (5), 15 (1 - 3; 6), 16 (1 - 7), 20, 25 (1 - 6), 26, 28 (1 - 5; 8; 9).

Диагностика недостатка биогенных элементов для питания растений по внешним признакам является весьма ориентировочной для того, чтобы судить о нуждаемости садовой культуры в применении того или иного удобрения, так как у разных видов растений могут не совсем одинаково проявляться признаки недостатка того или иного питательного элемента или для различных элементов могут быть весьма сходными по виду. Кроме того, растения вследствие засухи, подмерзания, вирусных заболеваний, повреждения корневой системы и т.д. могут иметь признаки нелегко различимые с недостатком питательных веществ.

В холодную весну отмечается слабый прирост корневой системы, а это сказывается на поглощении питательных веществ, что может временно вызвать недостаток того или иного элемента.

Высокая температура, засуха могут вызвать недостаток для культур бора, марганца, калия. Признаки недостатка этих элементов проявляются также при интенсивном известковании кислых дерново-подзолистых почв.

Поэтому необходимо учитывать природные и агротехнические условия выращивания плодовых и ягодных культур, с тем чтобы установить причины тех или иных признаков, свидетельствующих об отклонениях условий роста и развития культур от биологических требований растений. Поэтому внешние признаки состояния растения должны рассматриваться с учетом почвенной и растительной диагностики (химического состава).

ПОЧВЕННАЯ ДИАГНОСТИКА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ ПЛОДОВЫХ И ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР

Все факторы жизни растения: питание, водообеспечение, воздушный и температурный режим, биологическая активность почвы и другие в значительной мере связаны с состоянием плодородия и свойств почвы. Поэтому и система удобрения должна быть дифференцированной с учетом почвенных условий. Это определяет и разработку системы агротехнических приемов в каждой почвенно-климатической зоне с учетом типа почвы.

Наиболее важные показатели почвенной диагностики для разработки системы удобрения следующие.

9.85. Внешние признаки недостатка питательных веществ

Пита- тельный элемент	Характерные признаки растения при недостатке элемента
1	2
Азот	Ослабленный рост побегов; листья бледно-зеленого слегка желтоватого цвета. На старых листьях появляется желтый, оранжевый, красный или пурпурный оттенки. Побеги слегка изогнуты, а при длительном голодании они становятся твердыми и тонкими; листья малого размера при остром недостатке азота приобретают желтоватый цвет, рано опадают, в них, как правило, накапливается красноватый и багровый пигмент. Слабое цветение и завязывание плодов у плодоносящих деревьев, сильное осыпание плодов. У земляники слабое образование усов
Фосфор	Листья мелкие, тусклой синевато-зеленой окраски с пурпурным оттенком. У черной смородины появляются бурые тускло-бронзовые пятна. Слабое цветение и завязывание плодов при сильном их осыпании. Образуются сильно окрашенные плоды. Мякоть плодов косточковых пород мягкая, кислая, плохого вкуса
Калий	Появление краевого «ожога» листьев (от краев пластинки к середине). У черешни, вишни, персика и сливы помимо краевого «ожога» листьев – хлороз тканей между жилками, крапчатость, иногда скручивание внутрь краев листа. Неравномерное созревание яблок и ягод черной смородины. Деревянистая и кислая мякоть плодов. Появление на края листьев черной смородины коричневых пятен, красновато-пурпуровых оттенков. Тонки побеги при нормальной их длине, особенно при высоком отношении азота к калию в почвенном растворе
Кальций	Отмирание у яблони, смородины и крыжовника точек роста, верхушек побегов, «ожог» и закручивание кверху листьев (в первую очередь верхних). Отмирание сердечек и тканей листа земляники
Магний	Некроз или хлороз тканей листа между жилками, коричневая пятнистость листьев между жилками. Появление красных полос по краям листа у крыжовника. Недозревание плодов у яблони. Преждевременное опадение нижних листьев на побегах у яблони, а верхние листья остаются в виде розетки. Пятнистый хлороз
Железо	Недостаток железа часто вызывается щелочной реакцией, избытком в почве углекислых солей кальция, магния, натрия и калия. Хлороз (сильное пожелтение и даже побеление листьев сплошное по всей пластинке) появляется на молодых верхушечных листьях
Бор	Пятнистый хлороз. Утолщение листьев яблони, их гофрированность, образование желтых жилок, опробковение жилок. Прекращение роста молодых веточек у яблони и образование у них многочисленных почек и розеток, отмирание концов побегов. Опробковение внутренних тканей у плодов яблони и груши, сухая пятнистость. Побурение и растрескивание, уродливость плодов, появление на поверхности плодов характерных темно-зеленых вдавленностей. Образование у малины мелких деформированных листьев в узлах и ненормальное утолщение верхушки побега

1	2
Цинк	Появление мелколистости, розеточности: листья побегов мелкие и узкие, деформированы, с хлорозом тканей между жилками, у верхушки побега листья несколько больше развиты и собраны в розетку. Плоды мелкие, заостренные или уродливой формы. Отмирание побегов и ветвей, особенно у вершины дерева. Быстрое побурение мякоти плода персика при снятии кожуры
Марганец	Хлороз тканей между жилками листа, начинающийся у края листа и распространяющийся к центральной жилке. Появление хлороза раньше на старых листьях (а не на молодых верхушках, как при хлорозе от недостатка железа)
Медь	При остром недостатке отмирание у яблони концов побегов, загибающихся книзу – так называемое увядание кончиков. Край листьев обожженные и рваные. При слабом недостатке меди – хлороз тканей между жилками молодых листьев

1. *Мощность почвенных генетических горизонтов и характер распространения корневой системы плодовых и ягодных культур.* Это позволяет иметь представление о потенциальном плодородии и обеспеченности растений питательными веществами, а также разрабатывать и планировать соответствующую технику внесения удобрений.

2. *Содержание гумуса и гранулометрический состав почв.* Это связано с пищевым, водным, и воздушным режимами почвы. Почвы более гумусированные отличаются повышенным потенциальным плодородием и лучшим обеспечением растений питательными веществами, особенно азотом по сравнению с малогумусными почвами. С другой стороны, легкие по гранулометрическому составу почвы (супесчаные, легкие суглинки), а также торфяные почвы отличаются низкой обеспеченностью калием.

3. *Кислотность почв, емкость катионного обмена и степень насыщенности почв основаниями.* Это позволяет определить необходимость известкования почв, установить дозы извести, а также более эффективные формы минеральных удобрений. Например, на кислых дерново-подзолистых почвах целесообразно использовать щелочные, нерастворимые в воде минеральные удобрения (фосфоритная мука, преципитат, томасшлак, термофосфаты, костная мука и др.), а также физиологически щелочные или физиологически менее кислые. На черноземах и каштановых почвах, имеющих нейтральную или слабощелочную реакцию, предпочтительны наоборот, физиологически кислые удобрения.

4. *Обеспеченность почв подвижными формами питательных макро- и микроэлементов.* Для каждой зоны и типа почв разработаны и

приняты стандартные методы определения подвижных форм биогенных элементов, а также градации обеспеченности ими почв и растений. По этим показателям судят о степени нуждаемости плодовых и ягодных культур в тех или иных элементах и в соответствии с этим определяют дозы внесения минеральных удобрений.

В соответствии с повышенной потребностью плодовых культур в элементах минерального питания по сравнению с однолетними культурами разработаны уровни содержания основных питательных веществ в почве (табл. 9.86, Семенюк, 1983).

9.86. Уровни содержания подвижных P_2O_5 и K_2O в почве при различной обеспеченности питательными веществами, мг на 100 г абс. сух. почвы

Обеспеченность	N-NO ₃	P ₂ O ₅		K ₂ O	
		по Чирикову	по Мачигину	по Чирикову	по Мачигину
0-20 см					
Низкая	< 2	< 7	< 2	< 7	< 19
Средняя	2 - 12	7 - 9	2 - 3	8 - 14	20 - 30
Повышенная	12 - 15	10 - 16	4 - 5	15 - 20	31 - 45
Высокая	> 15	> 16	> 5	> 20	> 45
20 - 40 см					
Низкая	< 1	< 6	< 1,5	< 6	< 18
Средняя	1,5 - 8	6 - 8	1,5 - 2	7 - 14	19 - 30
Повышенная	8 - 20	9 - 14	3 - 4,5	15 - 20	31 - 40
Высокая	> 20	> 14	> 4,5	> 20	> 40
40 - 60 см					
Низкая	< 0,5	< 5	< 1	< 5	< 15
Средняя	1 - 5	5 - 6	1 - 2	6 - 10	16 - 25
Повышенная	5 - 15	8 - 12	2 - 3,5	11 - 15	26 - 35
Высокая	> 15	> 12	> 3,5	> 15	> 35
Среднее					
Низкая	< 1	< 6	< 1,5	< 6	< 17
Средняя	1 - 8	6 - 8	1,5 - 3	7 - 14	18 - 29
Повышенная	8 - 20	9 - 14	3,5 - 5	15 - 20	30 - 40
Высокая	> 20	> 15	> 5	> 20	> 40

В.В. Церлинг (1990) приводит следующие группировки почв Нечернозёмной зоны по обеспеченности подвижными формами фосфора и калия для различных плодовых и ягодных культур (табл. 9.87).

9.87. Группировка дерново-подзолистых и серых лесных почв Нечерноземной зоны по обеспеченности подвижными формами фосфора и калия (P_2O_5 и K_2O , по Кирсанову) для плодовых и ягодных культур

Группа. Обеспеченность почв	Для плодовых культур в слое 0 - 50 см		Для ягодных и кустарников в слое 0 - 40 см		Для малины и земляники в слое 0 - 25 - 30 см	
	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
1. Низкая	< 5	< 6	< 10	< 10	< 8	< 8
2. Средняя	5 - 10	6 - 12	10 - 18	10 - 15	8 - 15	8 - 12
3. Повышенная	10 - 15	13 - 18	19 - 25	16 - 20	16 - 20	13 - 18
4. Высокая	16 - 20	19 - 25	26 - 30	21 - 25	21 - 30	19 - 25
5. Очень высокая	> 20	> 25	> 30	> 25	> 30	> 25

5. *Состояние водно-физических свойств почвы и почвенной структуры.* Эти показатели (водопроницаемость, влагоемкость и др.) позволяют более объективно судить об эффективности разрабатываемой и применяемой в садах системы удобрений.

Все перечисленные показатели почвенной диагностики при разработке системы удобрения под садовые культуры могут быть определены в лабораториях научно-исследовательских учреждений, в государственных центрах и станциях системы агрохимической службы, которые имеются в каждой области и крае России.

ДИАГНОСТИКА ПИТАНИЯ ПЛОДОВЫХ И ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ ОТДЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ

Для диагностических целей используют в основном химический анализ листьев. По простоте отбора листьев, их однородности, проценту живых клеток в тканях листа являются лучшим объектом исследований.

Используется валовой анализ листьев, зрелых, закончивших рост, но активно функционирующих. С этой целью применяют обычные методы озоления органического вещества для определения в нем N, P, K, Ca, Mg и микроэлементов (Практикум по агрохимии, 2001).

Исследования показали, что химический состав сформировавшихся листьев в сравнении с другими органами (в том числе генеративными) наиболее объективно отражает условия питания.

Метод листовой диагностики основан на предположениях, что концентрация питательных веществ в листьях находится в определенной прямой зависимости от их содержания в доступной для

растений форме в корнеобитаемом слое почвы, а также, что рост, развитие и плодоношение культур непосредственно связаны с количеством питательных веществ в листьях. Хотя такая связь имеется, но не всегда проявляется в достаточной степени, так как она обусловлена сложными процессами взаимодействия факторов роста растений (антагонизм и синергизм ионов, физико-химические и агрофизические свойства почвы, способы и сроки внесения удобрений, комплекс агротехнических и мелиоративных приемов в технологии возделывания плодовых и ягодных культур и т.д.). Однако листовая диагностика имеет большое значение для уточнения потребности садовых растений в удобрениях.

Оптимальное содержание питательных элементов в растениях в той или иной фазе соответствует наиболее благоприятным условиям роста садовой культуры, при которых она наиболее полно реализует потенциальные возможности формирования урожая. Поэтому по отдельным культурам величины оптимального содержания биогенных элементов в отдельные фазы развития довольно постоянны.

Существуют критерии, позволяющие оценить химический состав растений в связи с их продуктивностью.

Оптимальное содержание – это такое количество питательных веществ в органах растений, при котором создаются наилучшие условия для роста и формирования урожая плодовых культур. Близким к этому понятию является *критический уровень содержания питательных веществ* – такое процентное содержание данного элемента, выше которого трудно установить реакцию растения на этот элемент при внесении удобрений.

Существует понятие *минимальный уровень содержания питательных веществ* в листьях растений, который обеспечивает получение заданного высокого урожая.

Приведем лишь некоторые показатели содержания макро- и микроэлементов в листьях садовых культур (из обзора В.В. Церлинг, табл. 9.88).

Г.М. Семенюк (1983) на основе данных о содержании питательных веществ в листьях косточковых культур, произрастающих на почвах с различными уровнями минерального питания, а также обобщения работ по изучению доз минеральных удобрений под плодовые культуры приводит средние дозы минеральных удобрений по этим культурам на черноземных почвах (табл. 9.89).

9.88. Уровни содержания макро- и микроэлементов в листьях садовых культур (макроэлементы – в % сухого вещества, а микроэлементы – в мг/кг сухого вещества)

Элемент	Фаза, период	Индикаторный лист	Уровень содержания элементов			
			очень низкий	низкий	оптимальный	высокий
1	2	3	4	5	6	7
<i>Яблоня (разные сорта)</i>						
Азот	Август	Листья из середины приростов	< 2	2,0 - 2,2	2,3 - 2,5	> 2,8
Фосфор	Цветение	Листья из середины ростовых побегов	< 0,10	0,13 - 0,15	0,17 - 0,20	> 0,30
Калий	То же	То же + семенной подвой	–	< 1,8	1,8 - 2,0	> 2,2
Кальций	Окончание роста	Средние листья побегов	< 0,6	0,6 - 0,7	1,1 - 1,3	> 1,5
Магний			–	< 0,4	0,4 - 0,6	> 0,7
Железо	Начало роста побегов	Листья побегов	–	< 50	50 - 250	> 250
Бор	Окончание роста побегов	Закончившие рост листья новых побегов	5 - 10	11 - 18	20 - 50	> 50
Медь			3,0 - 3,4	4,0	5,3	–
Марганец			–	< 20	20 - 200	201 - 300
Молибден			< 0,05	0,05 - 0,09	0,10	> 0,10
Цинк			Верхние листья	< 30	35	43
<i>Груша</i>						
Азот	Окончание роста побегов	Листья середины ростовых побегов	< 1,3	1,7 - 1,9	2,0 - 2,6	> 3,0
Фосфор			< 0,10	0,10 - 0,13	0,15 - 0,26	> 0,30
Калий			< 0,7	1,3	1,8 - 2,3	> 2,5
Кальций	Середина лета	Средние листья побегов	< 0,50	1,0	1,25	> 1,50
Магний	Май	Нижние листья побегов	< 0,20	0,30	0,45 - 0,60	> 0,60
Железо	Июнь - сентябрь	Закончившие рост листья	< 5	5 - 25	35 - 100	> 100
Бор	Середина лета	Закончившие рост листья с черешками	–	< 20	20 - 150	> 150
Медь			–	< 5	5 - 20	> 50
Цинк			< 10	15	15 - 20	> 20

1	2	3	4	5	6	7
Плодовые косточковые культуры: слива						
Азот	Активный рост побегов	Листья	< 2,0	2,4 - 2,6	2,6 - 3,2	> 3,2
Фосфор		То же	< 0,08	0,15	0,16 - 0,22	> 0,23
Калий		Пластинки листьев из се- редины при- роста	0,8 - 1,1	1,5	1,6 - 2,1	> 2,3
Кальций	Июль	Листья	< 0,50	0,50 - 1,50	1,50 - 2,1	> 2,50
Магний	То же	То же	< 0,05	0,05 - 0,20	0,21 - 0,40	> 0,45
Железо	Июль - август	То же	< 40	40 - 60	61 - 200	201 - 600
Бор	8 - 12 неделя после цветения	То же	< 25	25 - 28	29 - 66	> 66
Медь		Листья с черешками	–	< 5	5 - 10	> 10
Марганец			< 15	15 - 19	20 - 90	> 90
Вишня и черешня						
Азот	Цветение	Листья	< 2,2	2,2 - 2,6	2,6 - 3,0	> 3,2
Фосфор	Активный рост побегов	То же	< 0,08	0,15	0,17 - 0,20	> 0,22
Калий		То же	< 0,8	1,3	1,3 - 1,6	> 1,6
Кальций	Июль - август	Листья	–	< 2	3	> 3
Магний	Июль	То же	< 0,12	0,12 - 0,29	0,30 - 0,42	> 0,42
Железо	Июль - август	Закончившие рост листья середины ос- новного побега текущего при- роста	–	< 119	119 - 203	> 203
Бор			–	< 38	38 - 54	> 54
Медь			–	< 8	8 - 28	> 28
Марганец			< 20	44	44 - 60	> 60
Персик						
Азот	Июль - август	Закончившие рост листья середины ос- новного побега текущего при- роста	< 2,0	2,4 - 2,8	3,0 - 3,3	> 3,4
Фосфор			–	0,09 - 0,10	0,24 - 0,29	0,50 - 0,72
Калий	Июнь	Листья с середины прироста	0,27 - 0,28	0,71 - 1,20	1,70 - 2,50	> 2,50
Кальций	Сентябрь	Листья	–	< 1,23	1,50 - 2,00	> 2,2
Магний	Лето	Листья	–	0,13 - 0,30	0,9 - 1,2	> 1,2

1	2	3	4	5	6	7
<i>Персик</i>						
Железо	Середина лета	То же	–	< 60	60 - 240	> 240
Бор	То же	То же	< 12	12 - 18	20 - 40	> 40
Медь	12 - 14 недели после цветения	Листья молодых отрастающих побегов	< 4	4 - 6	7 - 20	> 20
Марганец	Середина лета	Листья	< 20	40 - 60	70 - 130	> 130
Цинк	То же	Листья с основного побега	–	< 15	15 - 50	> 50
<i>Земляника</i>						
Азот	Бутонизация, закладка плодовых почек	Листья	0,58 (симптомы голодания)	1,2 - 1,5	1,9 - 2,4	> 2,5
Фосфор			0,10 (симптомы голодания)	0,22 - 0,26	0,35 - 0,39	> 0,40
Калий			< 2,0	2,0 - 2,5	2,8 - 3,0	> 3,0
Кальций	Цветение - созревание	Листья с черешками	–	< 1,65	1,65 - 2,50	> 2,50
Магний	То же	Закончившие рост листья	–	0,12 - 0,17	0,18 - 0,24	> 0,24
Бор	Бутонизация	Листья	–	< 50	70	> 100
Медь	То же	То же	< 3,4	4,0	8,7 - 9,6	> 9,6
Цинк	То же	То же	–	< 40	40 - 60	> 60

Почвенная и растительная, в основном листовая, диагностика в садоводстве позволяет не только определить нуждаемость плодовых культур в удобрениях, но и правильно рассчитать дозы их внесения. Для более объективного научного подхода к разработке системы применения удобрений в садах методы диагностики необходимо проверять путем закладки полевых опытов с конкретными плодовыми культурами.

Систему применения удобрений в садах можно представить следующими разделами: применение удобрений в питомниках; предпосадочное удобрение; особенности применения удобрений в молодом саду; удобрение плодоносящего сада.

9.89. Примерные дозы удобрений молодых деревьев косточковых культур в зависимости от содержания элементов питания в листьях и условий произрастания, кг д.в. на 1 га

Уровень содержания элементов питания в листьях	Чёрный пар			Задержание		
	N	P	K	N	P	K
<i>Персик</i>						
Недостаточный	120	60	90	180	60	120
Оптимальный	60	30	60	90	30	60
Высокий	–	–	–	60	–	30
<i>Абрикос</i>						
Недостаточный	90	60	90	120	60	90
Оптимальный	60	30	60	90	30	90
Высокий	–	–	30	30	–	30
<i>Слива</i>						
Недостаточный	60	60	90	90	60	90
Оптимальный	30	–	60	60	30	60
Высокий	–	–	30	30	–	30
<i>Вишня</i>						
Недостаточный	90	60	90	90	60	90
Оптимальный	60	30	–	60	30	30
Высокий	–	–	–	30	–	–

Удобрение плодовых питомников. Лучшей системой удобрения плодовых питомников является органоминеральная, при которой сочетается внесение органических и минеральных удобрений. В питомниководческих севооборотах органические удобрения вносят один раз за ротацию.

Минеральные удобрения необходимо вносить ежегодно. Нормы фосфорных и калийных удобрений дифференцируются в зависимости от уровня обеспеченности почв доступными формами фосфора и калия (табл. 9.90).

В школке сеянцев и в плодовом питомнике органические, а также фосфорные и калийные минеральные удобрения следует вносить осенью под предпосадочную вспашку. Азотные удобрения в школке сеянцев целесообразно вносить в два срока: половину дозы – весной, в конце мая, а вторую половину – в период интенсивного роста, в июне.

В первом поле питомника удобрения также необходимо вносить два раза по половинной дозе в качестве подкормки: первую половину вносят после приживания растений, а вторую – в фазу интенсивного роста.

9.90. Дозы удобрений для школки сеянцев первого и второго полей плодового питомника

Почвы	Школка сеянцев			Первое поле			2-е поле	
	Органические удобрения*, т/га	Минеральные удобрения, кг/га д.в.		Органические удобрения, т/га	N	Минеральные удобрения, кг/га д.в.		
		Уровень обеспеченности почвы	P ₂ O ₅			K ₂ O		Уровень обеспеченности почвы
Дерново-подзолистые и светло-серые оподзоленные	60	Низкий	120	150	90	Низкий	150	150
		Средний	90	120		Средний	120	120
		Оптимальный	60	90		Оптимальный	90	90
Дерново-оподзоленные, бурозёмно-подзолистые, дерново-бурозёмные	60	Низкий	120	150	80	Низкий	150	150
		Средний	90	120		Средний	120	120
		Оптимальный	60	90		Оптимальный	90	90
Серые и тёмно-серые оподзоленные, чернозёмы оподзоленные и выщелоченные	60	Низкий	150	150	60	Низкий	150	150
		Средний	120	120		Средний	120	120
		Оптимальный	60	90		Оптимальный	90	90
Чернозёмы обыкновенные и тёмно-жёлтые, тёмно-каштановые (при орошении)	40	Низкий	120	120	40	Низкий	90	120
		Средний	90	90		Средний	60	90
		Оптимальный	60	60		Оптимальный	45	60

* Дозы органических удобрений для всех уровней обеспеченности почвы фосфором и калием.

Во втором поле питомника азотные удобрения следует вносить в начале вегетации под первую весеннюю обработку.

Эффективность удобрений в садах и питомниках проявляется на фоне высокой агротехники, в комплексе с другими агротехническими приёмами.

В условиях орошения применение азотных удобрений (особенно в виде подкормки) проводят до полива или одновременно с поливом.

Предпосадочное удобрение. Плодово-ягодные культуры долгие годы произрастают на одном месте, поэтому большое значение имеет предварительное окультуривание почвы, т.е. до посадки саженцев. После посадки деревьев такой прием проводить затруднительно, так как может быть повреждена корневая система, которая быстро разрастается и насыщает почву вокруг посаженного растения.

Основной способ предпосадочного окультуривания почвы – глубокая обработка и внесение органических и минеральных удобрений. Глубина плантажной вспашки зависит от почвенных и климатических условий. Особенно осторожно к определению глубины предпосадочной вспашки нужно подходить на дерново-подзолистых почвах, где проводить ее следует на глубину гумусового слоя с постепенным углублением.

В районах достаточного увлажнения для повышения плодородия и улучшения свойств почвы за несколько лет до посадки сада важно высевать бобовые многолетние травы или сидераты. Примерные дозы удобрений представлены в табл. 9.91.

9.91. Дозы удобрений при предпосадочной подготовке (окультуривании) почвы для плодового сада (рекомендации ВНИИС им. И.В. Мичурина)

Удобрения	Северная (таёжно-лесная) нечернозёмная зона	Средняя (лесная, лесостепная и степная) зона		Южная зона	
	дерново-подзолистые и подзолистые почвы	чернозёмные, темно-серые лесные почвы	дерново-подзолистые, серые лесные оподзоленные почвы	каштановые почвы, сероземы	бурые лесные (горные) почвы
Органические (навоз, компосты и др.), т/га	60 - 80	20 - 40	40	30 - 40	–
Минеральные, кг д.в./га					
азотные	40 - 60	–	30 - 40	–	–
фосфорные	150 - 200	150	200	100	150
калийные	250 - 250	150	200	100	150

Эти дозы удобрений должны уточняться в зависимости от содержания подвижных форм питательных веществ и свойств почвы.

В связи с этим для нечерноземной зоны рекомендуются дифференцированные дозы удобрений для яблони в зависимости от обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и калия (табл. 9.92).

9.92. Дозы предпосадочного удобрения под яблоню, кг д.в./га
(Краюшкина, Дадько, 1994)

Обеспеченность почвы подвижными P_2O_5 и K_2O	Дозы удобрения, кг д.в./га	
	P_2O_5	K_2O
Низкая	450	600
Средняя	350	500
Высокая	150	200

В зарубежных странах (Франция, Венгрия, Болгария) под плантажную вспашку перед посадкой сада также вносят высокие дозы удобрений: 40 - 100 т/га органических удобрений, до 200 - 300 кг/га P_2O_5 , 150 - 200 K_2O .

Формы удобрений, как и под полевые культуры, применяют в зависимости от особенностей зоны и свойств почвы.

На кислых почвах необходимо проводить известкование. Дозы извести устанавливают в зависимости от величины гидролитической кислотности, рН и гранулометрического состава почвы. Для известкования можно использовать молотый известняк, доломитовую муку, мергель, дефекат (отход свеклосахарного производства). Дозы извести для дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава приведены в табл. 9.93 (рекомендации СЗНИИСХ).

9.93. Дозы извести для дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава, $CaCO_3$, т/га

Почва	рН _{KCl}						
	4,4 - 4,5	4,6 - 4,7	4,8 - 4,9	5,0 - 5,1	5,2 - 5,3	5,4 - 5,5	5,6 - 5,7
Супесчаная	4,5	4	3,5	3*	2,5*	0	0
Легкосуглинистая	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3*
Среднесуглинистая	6,5	6	5,5	5	4,5	3,5	3*
Тяжелосуглинистая	8	7,5	6,5	6	5	4,5	4

* Известкование необязательно.

Кроме сплошного окультуривания почвы большое значение имеет *улучшение условий питания около корней дерева, т.е. в пределах посадочной ямы*. Прежде всего посадочную яму желательно заправить верхним гумусовым слоем почвы, взятой из междурядий сада. Исследования показали определенную эффективность этого приема. Большое значение имеет внесение в посадочные ямы органических и минеральных удобрений. При этом на посадочную яму ($d = 120$ см, $h = 55$ см) рекомендуется вносить 8 - 10 кг перегноя и 30 - 100 кг минеральных удобрений (N, P_2O_5 и K_2O). При пред-посадочном внесении не следует увлекаться повышенными дозами удобрений. Опыты показали, что из отдельных видов минеральных удобрений при внесении их в высоких дозах наиболее отрицательно влияют азотные и менее – фосфорные и калийные.

В то же время при размещении удобрений не по всей посадочной яме, а лишь на дне и в нижней ее части, где корни саженца не могут с ним соприкоснуться, полное минеральное удобрение никогда не оказывало угнетающего влияния, а, наоборот, уже в год внесения усиливало рост саженца.

Ориентировочные дозы предпосадочного удобрения в зависимости от почв представлены в табл. 9.94 (Н.Д. Спиваковский).

9.94. Дозы органических и минеральных удобрений на посадочную яму (в кг)

Удобрение	Дерново-подзолистые почвы			Черноземы и каштановые почвы		
	семечковые	косточковые	ягодные кустарники	семечковые	косточковые	ягодные кустарники
Навоз (перепревший), компост	20 - 30	10	6 - 8	10 - 12	8	4 - 6
Аммиачная селитра	0,06	0,04	0,02	0,06	0,04	0,02
Суперфосфат	1,0	0,4	0,2	0,5	0,3	0,15
Сернокислый калий	0,15	0,06	0,04	0,08	0,05	0,03
Древесная зола	0,8	0,4	0,2	0,4	0,2	0,1
Молотый известняк, доломит	0,6 - 1,0	0,3 - 0,4	0,1 - 0,15	–	–	–

Система удобрения в молодых и плодоносящих садах является важнейшей частью комплекса мероприятий и направлена на обеспечение хорошего роста и развития плодово-ягодных культур, на ускорение плодоношения молодых садов и получение высоких и устойчивых урожаев плодов и ягод при систематическом воспроиз-

водстве показателей плодородия почвы. В ней предусматривается сочетание органических и минеральных удобрений, оптимальные дозы, формы, сроки и способы их внесения.

Весьма важный и ответственный период в системе удобрения плодовых культур – осень. К этому времени садовые растения заканчивают вегетацию, но их жизнедеятельность, физиолого-биохимические процессы продолжают – развиваются плодовые почки, накапливаются запасные пластические вещества, остается активной корневая система, особенно нарастает всасывающая ее часть. Поэтому комплекс осенних агроприемов имеет большое значение для накопления запасных веществ в растении, успешной подготовки растений к зиме и повышения их морозостойкости.

Из осенних агротехнических приемов особое значение принадлежит удобрению почвы, которое называется основным, так как осеннее удобрение действует в процессе всей годичной вегетации растения.

В осенний период особое значение имеет внесение фосфорных и калийных удобрений, а также навоза, компостов, а в южных слабодренированных почвах желательно внести также одну треть азотных удобрений (лучше – сульфат аммония). В северных же районах, на дерново-подзолистых почвах, из азотных удобрений лучше применять менее подкисляющие почву – мочевину и аммиачную селитру. Сернокислый аммоний в этом случае можно применять только на фоне известкования.

На кислых дерново-подзолистых почвах из фосфорных удобрений кроме суперфосфата можно применять преципитат, фосфоритную муку, томасшлак, термофосфаты и костную муку.

В зоне черноземных почв из азотных удобрений применяют аммиачную селитру, мочевину, сульфат аммония, а из фосфорных – суперфосфат.

Из калийных удобрений для всех зон можно использовать сернокислый калий, калимагнезию (шенит) и золу, которая особенно полезна для подзолистых почв.

Следует иметь в виду, что большинство ягодных культур чувствительны к хлору, особенно красная смородина, крыжовник, малина и земляника; в меньшей степени – черная смородина. Поэтому удобрения с высоким содержанием хлора не следует применять под ягодные культуры. Минеральные удобрения с невысоким содержанием хлора применять можно, но вносить их лучше осенью, что обеспечивает вымывание хлора с атмосферными осадками к весенней вегетации ягодных культур.

Нормы органических и минеральных удобрений при совместном внесении устанавливаются с учетом возраста молодого сада и удобряемой площади приствольного круга (табл. 9.95).

9.95. Примерные дозы органических и минеральных удобрений при совместном их внесении на одно дерево в молодых садах (в кг) (по Н.Д. Спиваковскому)

Годы после посадки	Количество навоза или компоста, кг	Количество минеральных удобрений, г действующего вещества					
		Северная зона			Средняя зона		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 - 2	10 - 15	15	18	15	12	15	12
3 - 4	15 - 20	25	30	25	20	25	20
5 - 6	20 - 30	35	42	35	28	35	28
7 - 8	30 - 40	48	58	48	38	48	38
9 - 10	40 - 50	62	75	62	56	62	56

Если органические и минеральные удобрения в молодом саду вносят отдельно, то их нормы увеличивают в полтора раза.

В северной зоне и на западе средней зоны (подзолистые почвы) удобрение плодоносящих садов обычно проводят на всей площади насаждения в следующих дозах: 20 - 30 т навоза или компоста, и по 45 - 60 кг д. в. азотных, фосфорных и калийных туков на гектар. Можно вносить удобрения через год по 30 - 40 т навоза, а в промежуточные годы по 90 кг N, P₂O₅, K₂O.

В средней полосе (Центральная и Приволжская черноземная зона) при совместном ежегодном применении вместе с 10 - 15 т навоза вносят по 40 - 50 кг N, P₂O₅, K₂O. Если же система удобрения предусматривает внесение органических и минеральных удобрений через год, то 20 - 30 т навоза чередуются с внесением по 70 кг N, P₂O₅, K₂O.

На хорошо окультуренных почвах фосфорные и калийные удобрения можно вносить один раз в 2 - 3 года, а азотные удобрения – ежегодно в дозах, соответствующих рекомендациям зональных научных учреждений.

Наряду с почвенной и растительной диагностикой, климатическими особенностями, важно учитывать уровень планируемого урожая. Это можно показать на примере определения доз удобрений для яблони и груши (табл. 9.96).

9.96. Дозы удобрений для яблони и груши

Уровень обеспеченности почвы фосфором и калием	Органические удобрения, т/га	Минеральные удобрения, кг/га д.в.		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Неплодоносящие насаждения</i>				
Очень низкий	–	90	–	–
Низкий	–	75	–	–
Средний	–	60	–	–
Повышенный	–	60	–	–
Высокий	–	60	–	–
Очень высокий	–	60	–	–
<i>Урожайность до 7,0 т/га</i>				
Очень низкий	25	135	90	135
Низкий	20	110	75	110
Средний	15	90	60	90
Повышенный	15	90	45	70
Высокий	15	90	30	45
Очень высокий	15	90	–	–
<i>Урожайность 7,1 - 14 т/га</i>				
Очень низкий	30	180	135	225
Низкий	25	150	110	190
Средний	20	120	90	150
Повышенный	20	120	70	110
Высокий	20	120	45	75
Очень высокий	20	120	–	–
<i>Урожайность 14,1 - 28 т/га</i>				
Очень низкий	–	–	–	–
Низкий	30	190	150	225
Средний	25	150	120	180
Повышенный	25	150	90	135
Высокий	25	150	60	90
Очень высокий	25	150	–	–
<i>Урожайность > 28 т/га</i>				
Очень низкий	–	–	–	–
Низкий	–	–	–	–
Средний	30	180	150	210
Повышенный	30	180	110	160
Высокий	30	180	75	105
Очень высокий	30	180	40	50

Если перед посадкой и при посадке сада вносили рекомендуемые дозы органических, фосфорных и калийных удобрений, то в первые 3 - 4 года под молодые яблони дают только азотные удобрения. В садах, заложенных на участках без предварительной заправки почвы удобрениями, со второго года после посадки необходимо вносить органические (15 т/га) и минеральные удобрения. Дозы можно также корректировать с учетом уровней содержания азота, фосфора и калия в листьях, пользуясь поправочными коэффициентами (табл. 9.97).

9.97. Уровни содержания элементов питания в листьях яблони и поправочные коэффициенты для корректировки доз удобрений

Уровни содержания элементов питания	Содержание элементов питания, % на сухое вещество					Поправочные коэффициенты к средним дозам удобрений
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	
Низкий	< 1,60	< 0,15	< 1,00	< 1,10	< 0,28	1,50
Недостаточный	1,60-2,00	0,15-0,35	1,00-1,40	1,10-1,40	0,28-0,40	1,25
Оптимальный	2,01-2,40	0,36-0,55	1,41-1,80	1,41-2,00	0,41-0,60	1,00
Повышенный	2,41-2,80	0,56-0,75	1,81-2,20	2,01-2,20	0,61-0,75	0,75
Избыточный	> 2,80	> 0,75	> 2,20	> 2,20	> 0,75	–

В плодоносящем саду лучшей является органоминеральная система удобрения. В качестве органических удобрений наряду с традиционными формами (навоз, компосты) можно использовать и сидеральные культуры, высеваемые в междурядьях сада. Перед посевом сидератов в саду необходимо дополнительно внести примерно 20 т/га органических удобрений, 60 - 90 кг/га P₂O₅ и 90 - 120 кг/га K₂O. Азотные подкормки проводят в дозе 30 - 60 кг/га д.в. в зависимости от вида сидеральной культуры.

При создании оптимальных условий питания важно предусматривать обеспечение растений также и микроэлементами, дефицит которых может иметь место на разных почвах. На карбонатных и произвесткованных почвах часто наблюдается недостаток марганца, бора, цинка; при внесении повышенных доз фосфорных удобрений проявляется дефицит цинка и меди, на кислых почвах – молибдена и т.д.

При наличии признаков голодания садовых культур микроэлементами проводят некорневые подкормки микроудобрениями, что позволяет устранить дефицит этих элементов для растений в процессе вегетации.

В табл. 9.98 приведены рекомендуемые дозы концентрации раствора и сроки проведения некорневых подкормок садовых культур микроудобрениями.

9.98. Дозы микроудобрений для проведения некорневых подкормок плодовых растений

Элемент	Удобрение	Концентрация раствора, %	Доза, г на 10 л воды	Сроки опрыскивания
Марганец	Сульфат марганца	0,05 - 0,10	5 - 10	по листьям
Бор	Борная кислота	0,10 - 0,15	10 - 15	1-е – после цветения; 2-е – во время роста ягод
Медь	Сульфат меди	0,02 - 0,05	2 - 5	по листьям
Цинк	Сульфат цинка	0,05 - 0,10	5 - 10	по листьям
Молибден	Молибдат аммония	0,01 - 0,03	1 - 3	по листьям
Кобальт	Сульфат кобальта	0,005 - 0,01	0,5 - 1,0	по листьям

Некорневые подкормки микроэлементами – наиболее эффективный способ использования микроудобрений. Опрыскивать деревья можно перед цветением по бутонам, сразу после цветения, в период формирования плодов и после сбора урожая.

Применение научно обоснованной системы удобрения в садах обеспечивает регулярность плодоношения плодовых культур.

Часть 4

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ФУНКЦИИ АГРОХИМИИ. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

ГЛАВА 10

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АГРОХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ. ПУТИ ВОЗМОЖНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ УДОБРЕНИЯМИ

Мировая и отечественная практика интенсивного земледелия убедительно показывает, что удобрения – это материальная основа количества и качества получаемой растениеводческой продукции, источник биогенных элементов для растений.

Биогенные элементы – это химические элементы, входящие в состав организмов и выполняющие определенные биологические функции. Научно обоснованная система применения агрохимических средств позволяет решать задачи: расширенного воспроизводства плодородия почв, бездефицитного или положительного баланса биогенных элементов и гумуса в системе «почва - растение - удобрение», получения растениеводческой продукции, сбалансированной по химическому составу и питательной ценности, повышения рентабельности сельскохозяйственного производства, улучшения экологической ситуации в сельском хозяйстве.

В то же время применение удобрений и других средств химизации – это весьма активное влияние на природную среду. Наличие различных токсических примесей в минеральных удобрениях, неудовлетворительное их качество, а также возможное нарушение технологии их использования могут привести к серьезным негативным последствиям. В настоящее время в индустриально развитых странах, а также в ряде регионов нашей страны применяются высокие дозы минеральных удобрений, и их негативное влияние на природную среду приобретает все более опасный характер и глобальные масштабы. Поэтому в нашей стране особое внимание обращается на необходимость повышения эффективности мер по охране природы, внедрения научно обоснованных систем ведения сельского хозяйства, прогрессивных технологий. А для реализации этого у граждан страны необходимо воспитать чувство высокой ответственности за сохранение и приумножение природных богатств, бережливое их использование.

Сознательное и бережное отношение к природе каждого человека должно формироваться с детства – в семье, школе, средних и высших учебных заведениях и непосредственно на производстве.

Охрана природы – одна из важнейших задач работников сельского хозяйства. Почвовед, агрохимик, а в целом каждый земледелец по роду своей деятельности является самым первым блюстителем порядка в природе, ее главным хранителем, а рациональное хозяйствование на земле – важнейшее условие ее процветания.

В данной главе рассмотрены экологические аспекты применения агрохимических средств, и прежде всего основные пути загрязнения ими почвы и других звеньев биосферы и вытекающие отсюда негативные последствия.

ПРИЧИНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ УДОБРЕНИЯМИ И ВОЗМОЖНЫЕ НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Основные **причины загрязнения природной среды** удобрениями, пути их потерь и непроизводительного использования следующие:

- несовершенство технологии транспортировки, хранения, туко-смешения и внесения удобрений;
- нарушение агрономической технологии их применения в сево-обороте и под отдельные культуры;
- водная и ветровая (дефляция) эрозия почвы;
- несовершенство качества свойств минеральных удобрений;
- интенсивное использование различных промышленных, городских и бытовых отходов на удобрения без систематического и тщательного контроля их химического состава.

В **несовершенстве технологии транспортировки и внесения удобрений** необходимо выделить ряд моментов. Так, недостаток в транспортировке удобрений заключается в перевалочной системе от завода до поля и в дефиците специализированных автотранспортных средств. Значительная часть агрохимических средств перевозится автосамосвалами общего назначения, что приводит к существенным их потерям.

Увеличение объема складских емкостей для хранения минеральных удобрений, а также совершенствование механизированной технологии работы на складах, т.е. погрузочно-разгрузочных работ и тукосмешения с заданным соотношением питательных элементов в тукосмеси, существенно снижают потери минеральных удобрений, повышают их эффективность, сохраняют природную среду от загрязнения.

Существенным источником непроизводительного расходования минеральных удобрений, снижения их положительного действия являются неравномерное распределение по поверхности поля и их сегрегация (расслоение) при транспортировке и внесении. Например, потери урожая ячменя при внесении нитрофоски в дозах 60 - 80 кг/га NPK с неравномерностью 60 - 80% достигают 5 ц/га, картофеля – 15, сахарной свёклы – 20 ц/га. Недобор урожая от неравномерности внесения удобрений возрастает при использовании высококонцентрированных удобрений, повышении доз, высокой отзывчивости культуры на удобрения. Поэтому по агрохимическим требованиям к машинам по внесению минеральных удобрений в нашей стране показатель неравномерности разбросного внесения удобрений не должен превышать 15%.

В Чехии в опытах с озимой пшеницей при неравномерности внесения минеральных удобрений под эту культуру в 40 - 70% урожай зерна в зависимости от зоны возделывания снижается от 3 - 5 (5 - 8%) до 10 - 11 ц/га (15 - 16%).

В Германии выделены группы культур по степени чувствительности к неравномерному внесению удобрений. К первой группе отнесены картофель и озимый ячмень – снижение урожая достигает 8 - 10 зерн. ед. с 1 га, ко второй – озимая пшеница и рожь, кукуруза на силос. Потери урожайности этих культур составили 4,5 ц/га зерн. ед. Сеяные злаковые травы и свекла снижали урожай лишь на 2 - 4,5 ц/га зерн. ед. Негативное действие неравномерности посева в большей степени проявлялось на подзолистых почвах по сравнению с чернозёмами.

В России и странах СНГ проводится большая работа по совершенствованию техники внесения удобрений, повышению качества работ, снижению непроизводительных потерь удобрений, химических мелиорантов и других агрохимических средств, совершенствуются технологии работы с удобрениями. К таким технологиям следует отнести, прежде всего, технологию централизованного приготовления и внесения тукосмесей, контейнерную технологию, перегрузочную технологию транспортировки и внесения удобрений с использованием высокопроизводительных автомобильных перегрузчиков грузоподъемностью 8 т, технологию дробного внесения удобрений (для интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур) и технологию внутрипочвенного внесения удобрений. Для осуществления этих прогрессивных технологий промышленность уже частично поставляет сельскохозяйственному производству необходимые средства механизации.

Нарушение научно обоснованной агрономической технологии применения удобрений также является существенным источником их потерь и загрязнения окружающей среды. При рассмотрении влияния агрохимических средств на природную среду первостепенное значение имеет азот. Азотные удобрения решают проблему белка в сельском хозяйстве, а следовательно, и уровень продуктивности земледелия и животноводства. При нарушении технологии их применения потери азота бывают довольно значительными. Они могут оказать существенное негативное воздействие на биосферу – почву, воду, атмосферу, растения, а через них – на животных и человека. Азот усваивается в полевых условиях примерно на 40%, в отдельных случаях – на 50 - 70, иммобилизуется в почве на 20 - 30%. Большая его доля включается в состав трудногидролизуемых гумусовых веществ. Потери азота за счет улетучивания различных газообразных соединений составляют в среднем 15 - 25% от внесённого, а потери от вымывания зависят от свойств почвы, климата, водного режима, формы и дозы удобрения, вида культуры и т.д. Например, в земледелии Европы 2/3 потерь азота приходится на зимний период и 1/3 – на летний.

Факторами, определяющими потери азота, являются дозы, формы, сроки и способы внесения азотных удобрений, правильное соотношение азота с другими питательными элементами; гранулометрический состав и другие свойства почвы, степень ее эродированности; погодно-климатические условия; особенности технологии применения удобрений в условиях орошения и на осушенных землях; вид культуры и специализация севооборота. Доля азота удобрений в общих потерях азота от вымывания составляет 10 - 15%, остальная часть – азот почвы. Поэтому необходим комплексный подход к разработке приемов и мер борьбы с потерями азота.

В Нечернозёмной зоне в среднем вымывается 10 - 15 кг/га нитратного азота, на супесчаных почвах – 20 - 25, а на суглинистых – до 10 кг/га. В годы с нормальным увлажнением эти показатели снижаются примерно вдвое. В целом же способность почвы удерживать питательные элементы определяется ее разновидностью (песок < суглинок < глина), но всегда она ограничена. Поэтому избыток элементов питания, внесенных в почву с удобрениями, является потенциальным источником их вымывания. На дерново-подзолистых легких почвах Украины при внесении за 6 лет 345 кг азота потери его на рыхлопесчаной почве составили 161, а на связнопесчаной – 83 кг/га. Аналогичные примеры имеются во многих странах мира.

В Нечернозёмной зоне в среднем вымывается 10 - 15 кг/га нитратного азота, на супесчаных почвах – 20 - 25, а на суглинистых – до 10 кг/га. В годы с нормальным увлажнением эти показатели снижаются примерно вдвое. В целом же способность почвы удерживать питательные элементы определяется ее разновидностью (песок < суглинок < глина), но всегда она ограничена. Поэтому избыток элементов питания, внесенных в почву с удобрениями, является потенциальным источником их вымывания. На дерново-подзолистых легких почвах Украины при внесении за 6 лет 345 кг азота потери его на рыхло-песчаной почве составили 161, а на связно-песчаной – 83 кг/га. Аналогичные примеры имеются во многих странах мира.

Важнейшим агрономическим мероприятием, предотвращающим потери удобрений и биогенных элементов почвы в природную среду, является освоение научно обоснованных севооборотов.

Зависимость между вымыванием питательных элементов и видом сельскохозяйственных культур можно представить следующим порядком: овощные > корнеплоды > зерновые > кормовые травы.

Значительный ущерб окружающей среде наносит бессистемное использование бесподстильного навоза, навозных стоков и других отходов животноводства в нарушение научно обоснованных рекомендаций. Наиболее существенными нарушениями технологии использования органических удобрений являются:

- 1) недостаточное использование подстильных материалов и несовершенство систем навозоудаления, что в 1,5 - 2 раза уменьшает выход высококачественных органических удобрений, приводит к ежегодным потерям миллионов тонн жидких органических фракций;
- 2) неравномерное внесение навоза и компостов из-за недостаточного количества навозоразбрасывателей и применения бульдозеров и других примитивных средств, значительно снижающих эффективность органических удобрений;
- 3) нарушение соотношения численности животных и удобряемой площади, что ведет к избыточному удобрению полей, загрязнению окружающей среды;
- 4) недостаток при животноводческих комплексах ирригационно-подготовленных площадей для использования животноводческих стоков (при гидросмыве) и жидкой фракции бесподстильного навоза на орошение, а также слабое развитие трубопроводного транспорта и полевых навозохранилищ, что значительно повышает эксплуатационные затраты по сравнению с использованием мобильных средств, возрастают и потери навоза;

5) недооценка использования бесподстилочного навоза в сочетании с измельченной и рассеянной по полю во время уборки зерновых соломой и сидерацией полей.

Обобщение отечественного и зарубежного опыта использования органических удобрений позволяет заключить, что для предотвращения потерь биогенных элементов, особенно азота, необходимо руководствоваться следующими общими положениями:

- 1) на 1 га севооборотной площади должно вноситься ежегодно не более 200 кг азота;
- 2) в хозяйствах, имеющих животноводческие комплексы, в севооборотах необходимо вводить промежуточные культуры на корм скоту или в качестве зеленого удобрения (уплотненный посев сельскохозяйственных культур в севообороте практически предотвращает потери нитратов за счет вымывания, вследствие интенсивного их использования растениями);
- 3) осенью бесподстилочный навоз можно комбинировать с запахиваемой соломой или зелёным удобрением (в этом случае азот биологически иммобилизуется осенью и в весенне-летний период, что значительно сокращает потери).

Фосфор как биогенный элемент меньше теряется в окружающую среду вследствие малой его подвижности в почве и не представляет такой экологической опасности, как азот. Потери фосфатов чаще всего происходят в процессе эрозии почвы. В результате поверхностного смыва почвы с каждого гектара уносится до 10 кг фосфора. Потери же водорастворимых фосфатов с поверхностным стоком небольшие. При вымывании из почвы потери фосфора составляют не более 1 кг/га. Высокая фиксирующая способность глинистых и суглинистых почв препятствует его миграции по профилю почвы, тем более до грунтовых вод.

Потери калия более значительны, чем фосфора. В Нечернозёмной зоне России вымывание калия составляет 5 - 10 кг/га пашни и более в зависимости от вида культуры, гранулометрического состава почвы, количества атмосферных осадков и т.д.

Интенсивное применение минеральных удобрений усиливает миграцию и потери кальция, магния, серы и других биогенных элементов. В табл. 10.1 представлены обобщенные данные по количеству вымывания питательных элементов в Нечерноземной зоне России в зависимости от гранулометрического состава почвы.

Использование современных методов оптимизации применения удобрений в севообороте с учетом правильного соотношения питательных элементов в зависимости от плодородия и свойств почвы в комплексе с другими приемами земледелия (специализирован-

ные севообороты, уплотненные посевы промежуточных культур, дифференцированные почвозащитные системы обработки почвы, химическая мелиорация почв, орошение и осушение и др.) – важнейшее условие повышения коэффициента использования питательных элементов удобрений, непроизводительных их потерь в окружающую среду.

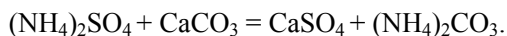
10.1. Средние количества элементов удобрений и почвы, вымываемых в Нечерноземной зоне России атмосферными осадками при внесении в почву $N_{60}P_{60}K_{60}$, кг/га пашни (по Бобрицкой)

Элемент	Суглинистые почвы	Супесчаные почвы
Азот	1 - 6	14 - 18
Калий	7	10 - 12
Кальций	50	70 - 120
Магний	3 - 7	10 - 15
Сера	14	25

Значительное количество биогенных элементов теряется в окружающую среду вследствие *несовершенства свойств и химического состава удобрений и различных удобрительных средств*. Например, потери азота мочевины, аммиачных форм удобрений в виде газообразного аммиака (NH_3) происходят под влиянием химических и микробиологических процессов, особенно при поверхностном их внесении. Эти потери возрастают на легких по гранулометрическому составу и высококарбонатных почвах. Заделка мочевины в почву значительно снижает потери азота. При благоприятных условиях на богатых гумусом почвах процесс превращения мочевины в углекислый аммоний происходит в течение 2 - 3 дней. На нейтральных и щелочных почвах без осадков потери азота в виде аммиака возрастают. Внесение же мочевины с заделкой её в почву (под вспашку, предпосевную культивацию, в рядки при севе и т.д.) весьма эффективно.

Второй биологический путь потери азота из удобрений – процесс денитрификации в почве. Газообразные потери азота вследствие этого процесса достигают 15 - 25% и более от внесенной дозы этого элемента. Выделенные из почвы газообразные продукты азота представлены большей частью N_2 и N_2O .

Наиболее существенный химический путь потерь азота из удобрений – выделение свободного аммиака (NH_3) вследствие взаимодействия аммиачных форм удобрений со щелочными, высококарбонатными почвами. Часто биологические и химические процессы в почве взаимосвязаны. Например, потери NH_3 из сернокислого аммония можно представить реакцией



Карбонат аммония – соединение нестойкое и распадается, как и при разложении мочевины, с выделением NH_3 , который улетучивается.

Все формы азота в естественных условиях в течение определенного времени переходят в наиболее подвижную форму, которая в значительном количестве может теряться с инфильтрационными водами. В настоящее время для торможения процесса нитрификации широко испытываются в производстве различные ингибиторы, позволяющие повысить коэффициент использования азота удобрений и существенно снизить потери его в окружающую среду. Среди ингибиторов нитрификации наиболее распространены американские препараты: нитрапирин (N-Serve), Extend, а также японский АМ, которые задерживают нитрификацию как аммонийных ионов почвы, так и внесенных удобрений. Ингибиторы повышают коэффициент использования азота из удобрений на 10 - 15%, а в ряде случаев и более. Потери же азота из удобрений снижаются в 1,5 - 2 раза.

Существенным недостатком многих минеральных удобрений, особенно азотных, является их физиологическая кислотность, а также наличие остаточной кислоты вследствие технологии их производства. Интенсивное применение таких удобрений в севообороте приводит к заметному подкислению почв, созданию неблагоприятных условий для роста растений. В этом случае возрастает потребность в известковании почв и нейтрализации кислотности самих удобрений. Требуется улучшение и физические свойства минеральных удобрений, а также необходима разработка новых форм химических соединений в качестве удобрений. Эти исследования должны быть направлены на оптимизацию питания растений макро- и микроэлементами, сочетания питательных элементов со стимуляторами роста, ретардантами, ингибиторами нитрификации и т.д. В настоящее время распространен прием капсулирования удобрений, покрытия гранул различными пленками, элементарной серой. Важно получать удобрения с контролируемым освобождением питательных элементов, особенно азота, в процессе вегетации культур.

Еще одним недостатком многих минеральных удобрений является наличие в них сопутствующих балластных элементов (фтора, хлора, натрия), а также токсических тяжелых металлов (кадмия, свинца и др.). При систематическом внесении повышенных доз удобрений балластные элементы могут накапливаться в почве в значительных количествах, отрицательно влияя на ее свойства и плодородие, на урожай и его качество, а мигрируя в грунтовые воды, повышать в них концентрацию солей. Пределы колебаний содержания токсических элементов в минеральных удобрениях могут быть довольно значительными.

Например, в фосфоритной муке содержится 2 - 3% фтора и 1,2 - 1,7% стронция; в суперфосфате – соответственно 1,2 - 2,7 и 1%, а также ряд других элементов. Среднее содержание тяжёлых металлов в удобрениях представлено в табл. 10.2.

10.2. Среднее содержание тяжелых металлов в удобрениях, мг/кг

Удобрение	Pb	Zn	Cu	Cd	Ni	Cr
Аммиачная селитра	0,3	0,5	1,0	0,3	0,9	0,6
Сульфат аммония	0,6	0,4	1,0	0,9	4,3	0,6
Мочевина	1,3	6,0	0,8	0,25	7,5	-
Суперфосфат двойной	38,0	14,2	13,0	2,5	17,0	41,0
Суперфосфат простой	42,5	19,3	14,3	3,5	24,8	10,0
Хлористый калий	12,5	12,3	4,5	4,3	19,3	0,5
Азофоска	10,5	31,1	20,0	1,3	11,0	3,2
Нитрофоска	5,0	7,6	10,8	1,0	4,3	3,2
Фосфоритная мука	30,0	81,0	45,0	1,3	73,6	40,0
Известняковая мука	37,5	21,0	5,8	5,5	30,0	37,0
Навоз	11,5	48,5	9,5	4,5	35,0	37,0

Токсические элементы попадают в минеральные удобрения главным образом с сырьем для их производства, частично загрязняют их в технологическом процессе. Например, 50 - 80% фтора, поступающего с фосфатным сырьем, остается в удобрениях, поэтому с 1 т необходимого растениям фосфора на поля поступает около 160 кг фтора. А это приводит к ухудшению свойств и плодородия почвы, к ингибированию в ней биологических процессов, нарушению биохимических процессов в растениях. Фтор отрицательно влияет на фотосинтез и биосинтез белка, нарушает деятельность таких ферментов, как энзолаза, фосфоглукумутаза, фосфатаза. Он может накапливаться в продуктах питания, в пшенице, картофеле, рисе, отрицательно влияя на здоровье животных и человека.

В какой степени опасно загрязнение почв тяжелыми металлами в результате применения минеральных удобрений?

При современном уровне химизации на 1 га попадает, например, несколько граммов кадмия и для допустимого обогащения им почвы (0,1 мг/кг) потребуется 100 лет. Однако нужно учесть, что интенсивное техногенное загрязнение почвы происходит комплексно не только минеральными удобрениями и не только кадмием, а и другими токсическими элементами. Например, навоз также

является некоторым источником накопления кадмия в почве. Содержание кадмия в стойловом навозе в среднем 0,4 мг/кг, свинца – 6,6 мг/кг сухого вещества. При норме расхода до 5 т сухого вещества на 1 га с навозом ежегодно вносится 1 - 4 г Cd/га, что менее 1% от содержания кадмия в верхнем слое почвы.

Потенциальным источником загрязнения почв сельхозугодий являются представляющие особую опасность применяемые на удобрение отходы промышленности, осадки сточных вод (ОСВ), фосфогипс, а также сапропель и др. Обычно их применяют в высоких дозах, так как они содержат низкий процент биогенных элементов. В то же время они содержат значительные количества элементов-загрязнителей (табл. 10.3). Систематическое их использование может привести к накоплению в почве тяжелых металлов, различных токсических соединений. Так, пиритные огарки содержат 40 - 63% железа, 1 - 2 – серы, 0,33 - 0,47 – меди, 0,42 - 1,35 – цинка, 0,32 - 0,58% – свинца и другие металлы. В свежих отвалах пиритных огарков содержится до 0,15% мышьяка. Под воздействием атмосферных осадков из них выщелачиваются многие токсические вещества, которые загрязняют почву и водоемы. Использование же высоких доз (5 - 6 ц/га) пиритных огарков в качестве, например, медного удобрения приводит к загрязнению почвы свинцом, мышьяком и другими металлами, а следовательно, и к повышению их содержания в сельскохозяйственной продукции.

10.3. Среднее содержание тяжелых металлов в отходах промышленности, используемых в сельском хозяйстве, мг/кг

Удобрение	Pb	Zn	Cu	Cd	Ni	Cr	As	Hg
Зола ТЭЦ	0,1	675,0	862,0	0	108,0	80,0	57,0	0,1
Меловые отходы	45,0	80,0	60,0	2,0	10,0	46,0	63,0	130,0
Фосфогипс	42,0	67,0	49,0	5,0	9,0	69,0	130,0	17,0
Зола углей	77,0	342,0	60,0	16,0	320,0	31,0	880,0	103,0
Пиритные огарки	4500	10000	4000	–	–	–	1500	–

Средний химический состав фосфогипса из апатитового концентрата следующий (%): Ca – 28,3; SO₃ – 55,5; P₂O₅ – 1,5; Sr – 1,8 - 2. Норма фосфогипса в зависимости от условий и целей его использования составляет от 5 до 20 т/га, с ними в почву попадает от 100 до 400 кг/га Sr. Качество кормов в значительной мере определяется отношением в них Ca (г) и Sr (мг). Оптимальная величина его 160. Уменьшение указанного соотношения до 80 и ниже делает корм неполноценным. Критическое содержание стронция может создаваться в почве при внесении 40 т/га этого отхода и более.

Содержащийся в фосфогипсе фтор снижает плодородие почвы и вызывает деградацию, имеется определенная опасность загрязнения растений фторидами.

Значительное загрязнение почв токсическими элементами возможно при использовании на удобрение осадков сточных вод. Для сравнения приведен средний уровень мг/кг микроэлементов, экстрагируемых раствором уксусной кислоты, в осадках сточных вод и в незагрязненных пахотных землях юго-востока Шотландии (среднее из 37 образцов ОСВ) (табл. 10.4).

10.4. Содержание микроэлементов в ОСВ и в незагрязненной почве в Шотландии

Объекты анализа	B	Си	Ni	Pb	Zn	Cd
Осадки сточных вод	13,3	146	7,2	37,1	489	1,9
Почвы	0,6	4,0	1,1	1,2	3,4	0,13

По данным ученых Шотландии, удобрение осадком, содержащим 5 мг/кг доступного кадмия, даже в дозе 25 т/га может повысить уровень доступного кадмия в почве на 50%, а превышение 5 мг/кг доступного кадмия в почве опасно с точки зрения экологии.

В США при условии непрерывного использования сточных вод для орошения на почвах всех типов концентрация Cd не должна превышать 0,01 мг/л, Cr – 0,10, Cu – 0,20, Pb – 5,0, Ni – 0,2 и Zn – 2 мг/л.

За последние годы довольно настоятельно ставится вопрос о широком использовании сапропеля в качестве органического удобрения. С ним возможно попадание в почву тяжелых металлов и токсических соединений. По данным Катре (1980, ФРГ), содержание кадмия в сапропеле из Мюнхена составляет 90 - 180 мг, а в сапропеле из Некара – 50 - 100 мг/кг сухой массы. При внесении последнего в почву содержание кадмия в растительной массе повышалось на 0,02 - 1,1 мг/кг сухой массы, а в почве – на 6 - 73 мг/кг.

Страны СНГ располагают большими запасами сапропеля, и прежде чем его использовать, необходимо тщательно изучить его химический состав, установить допустимое содержание тяжелых металлов и токсических соединений в сапропеле, используемом в качестве удобрения.

Многочисленные пути возможного загрязнения природной среды агрохимическими средствами не остаются без последствий, а оказывают многостороннее негативное влияние практически на все звенья биосферы.

Неблагоприятное воздействие удобрений, различных отходов, применяемых в качестве удобрений и химических мелиорантов, можно свести в основном к следующему.

1. Неправильное применение удобрений может ухудшить круговорот и баланс питательных веществ, агрохимические свойства и плодородие почвы.

2. Нарушение агрономической технологии применения удобрений, несовершенство качества и свойств минеральных удобрений могут снизить урожай сельскохозяйственных культур и качество продукции.

3. Попадание питательных элементов удобрений и почвы в грунтовые воды с поверхностным стоком может привести к усиленному развитию водорослей, образованию планктонов, т.е. к эвтрофированию природных вод с вытекающими отсюда негативными последствиями.

4. Попадание удобрений и их соединений в атмосферу отрицательно сказывается на деятельности сельскохозяйственных и других предприятий, здоровье животных и человека. Высказываются также опасения о возможном разрушении озонового экрана стратосферы вследствие проникновения в нее N_2O , образующейся при денитрификации азотных соединений почвы и удобрений.

5. Нарушение оптимизации питания растений макро- и микроэлементами приводит к различным заболеваниям растений, а часто и способствует развитию фитопатогенных грибных болезней, ухудшает фитосанитарное состояние почв и посевов.

Влияние агрохимических средств на свойства и плодородие почвы.

Почва – важное звено биосферы, и она прежде всего, подвергается сложному комплексному воздействию удобрений и других агрохимических средств, которые могут оказывать на нее следующее влияние: подкислять или подщелачивать среду; улучшать или ухудшать свойства почвы, ее биологическую и ферментативную активность; способствовать вытеснению ионов в почвенный раствор вследствие физико-химического их поглощения; способствовать или препятствовать химическому поглощению биогенных и токсических элементов; усиливать минерализацию гумуса или способствовать его синтезу; ослаблять или активизировать биологическую фиксацию N из атмосферы; усиливать или ослаблять действие других питательных элементов почвы или удобрений; мобилизовывать или иммобилизовывать макро- и микроэлементы почвы; вызывать антагонизм или синергизм питательных элементов и, следовательно, существенно влиять на их поглощение и метаболизм в растениях.

Многостороннее воздействие на почву агрохимических средств можно показать на следующих примерах. Систематическое применение физиологически кислых минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах повышает их кислотность, ускоряет вымывание из пахотного слоя кальция и магния, увеличивает ненасыщенность почв основаниями, в целом снижает плодородие почвы. В этом случае применение минеральных удобрений необходимо сочетать с известкованием как приемом химической мелиорации почвы. В комплексе создаются оптимальные условия питания растений и улучшения свойств почвы. Известкование не только снижает кислотность почвы и улучшает ее свойства, но и усиливает биологическую активность, мобилизует фосфор, молибден, но иммобилизует железо, цинк, никель, медь, кобальт, марганец и другие элементы, ослабляет токсичность таких элементов, как кадмий, свинец, стронций, ртуть и другие, снижая их доступность растениям.

Применение удобрений может не только мобилизовывать отдельные питательные элементы почвы, но и иммобилизовывать, т.е. связывать их, превращая в недоступную для растений форму. Например, одностороннее использование высоких доз фосфорных удобрений, особенно на карбонатных черноземах, часто значительно снижает содержание подвижного цинка в почве, вызывая цинковое голодание растений, что отрицательно сказывается на количестве и качестве урожая. Поэтому применение высоких доз фосфорных удобрений нередко вызывает необходимость внесения цинкового удобрения. Положительное взаимодействие этих элементов подтверждается опытными данными (табл. 10.5).

Влияние агрохимических средств на эвтрофирование и качество природных вод. Антропогенное эвтрофирование – это увеличение поступления в воду питательных для растений веществ вследствие деятельности человека в бассейнах водных объектов и вызванное этим повышение продуктивности водорослей и высших водных растений. Это важнейшая проблема современности.

10.5. Взаимодействие фосфорного и цинкового удобрений

Доза P ₂ O ₅ , кг/га	Доза Zn, кг/га	Урожай зерна кукурузы, ц/га
0	0	81,2
90	0	73,9
0	24	67,6
90	24	108,5

В водоёмы поступают стоки, содержащие много соединений азота и фосфора. Это связано со смывом в водоемы питательных веществ с окрестных полей. В результате и происходит антропогенная эвтрофикация таких водоемов, происходит усиленное развитие фитопланктона, прибрежных зарослей, водорослей, «цветение воды» и др. В глубинной зоне усиливаются анаэробные процессы, накапливается сероводород, аммиак и т.д. Нарушаются окислительно-восстановительные процессы и возникает дефицит кислорода. Это приводит к гибели рыб и растений, вода становится непригодной не только для питья, но даже для купания. Такой эвтрофированный водоем утрачивает свое хозяйственное и биогеоценотическое значение. Поэтому борьба за чистую воду – одна из важнейших задач всего комплекса проблемы по охране природы.

Естественные эвтрофные системы хорошо сбалансированы. Поступление же биогенных элементов в результате антропогенной деятельности нарушает нормальное функционирование сообщества и создает в экосистеме губительную для организмов неустойчивость. Если поступление посторонних веществ в такие водоемы прекратится, то они могут вернуться в свое первоначальное состояние.

Оптимальный рост водных растительных организмов наблюдается при концентрации фосфора 0,09 - 1,8 мг/л и нитратного азота 0,9 - 3,5 мг/л. Более низкие концентрации этих элементов ограничивают рост водорослей. На 1 кг поступившего в водоём фосфора образуется 100 кг фитопланктона. Цветение воды за счет водорослей возникает только в тех случаях, когда концентрация фосфора в воде превышает 0,01 мг/л.

С точки зрения охраны здоровья людей очень важно, чтобы содержание нитратов и токсических веществ в воде не превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК). Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) установлена ПДК для нитратного азота в питьевой воде для умеренных широт 22 мг/л, а для тропиков – 10 мг/л. Однако в районах интенсивного применения азотных удобрений довольно часто в питьевой воде концентрация нитратного азота больше ПДК.

Биогенные элементы, и прежде всего азот и фосфор, попадают в реки и водоёмы с промышленными и бытовыми сточными водами, со стоками с сельскохозяйственных угодий в результате биологической фиксации азота и т.д. Опасность эвтрофикации природных водных источников создают также отходы животноводства, особенно на крупных животноводческих комплексах промышленного типа с бесподстилочным содержанием скота. Несовершенство технологии накопления, хранения и использования бесподстилочного навоза

на таких комплексах приводит часто к скоплению на фермах огромных масс жидких навозных стоков. Часть из них попадает в реки и овраги, принося большой ущерб природной среде, другая часть мигрирует по профилю почвы, достигая и загрязняя грунтовые воды, делая их непригодными для хозяйственных целей.

Использование бесподстильного навоза в высоких дозах на ограниченной площади сельскохозяйственных угодий также может привести к загрязнению природных водных источников, к снижению плодородия и ухудшению свойств почвы, к получению растениеводческой продукции, не пригодной ни для пищевых целей, ни на корм скоту. Поэтому совершенствование технологии рационального использования отходов животноводства – важнейшее условие предотвращения загрязнения природной среды.

Значительная часть биогенных элементов попадает в реки и озёра со стоковыми водами, хотя и в большинстве случаев смыл элементов поверхностными водами значительно меньший, чем в результате миграции по профилю почвы, особенно в районах с промывным режимом. Загрязнение природных вод биогенными элементами за счет удобрений и почвы и их эвтрофикация возникают прежде всего в тех случаях, когда нарушается агрономическая технология применения удобрений, не выполняется комплекс агротехнических мероприятий, в целом культура земледелия находится на низком уровне.

Проблема качества природных вод находится сейчас в центре внимания научных и научно-технических учреждений почти всех стран мира, так как ухудшение качества природных вод принимает угрожающие размеры. В табл. 10.6 показаны допустимые пределы содержания токсических веществ в питьевой воде.

10.6. Допустимые пределы содержания некоторых токсических веществ в питьевой воде, мг/л

Токсикант	Концентрация
Мышьяк (в пересчёте на As)	0,05
Кадмий (в пересчёте на Cd)	0,01
Цианиды (в пересчёте на CN)	0,05
Свинец (в пересчёте на Pb)	0,1
Ртуть (общая, в пересчёте на Hg)	0,001
Селен (в пересчёте на Se)	0,01
Нитраты (в пересчёте на NO ₃)	45

Можно привести ряд требований по предотвращению загрязнения и эвтрофикации природных вод.

1. Строгое выполнение научно обоснованной технологии применения удобрений с учетом оптимальных доз, соотношений, форм, сроков и способов их внесения в соответствии с биологическими требованиями растений, почвенно-климатическими особенностями зоны и уровнем планируемого урожая.

2. Выполнение агрономических правил и санитарно-гигиенических норм при накоплении, хранении и использовании различных видов органических удобрений, особенно навоза, полученного при бесподстильном содержании скота, рациональное их сочетание с минеральными удобрениями.

3. Освоение научно обоснованных севооборотов, использование уплотненных посевов сельскохозяйственных растений, промежуточных культур, в том числе на корм скоту и на зеленое удобрение.

4. Выполнение комплекса мероприятий по предотвращению водной и ветровой эрозии почв: дифференцированная обработка почвы с учетом особенностей склона, запрещение вспашки вдоль склона, внедрение противоэрозионных севооборотов, залужение крутых склонов на кормовые угодья.

5. Посадка полезащитных, приовражных, прирусловых, а также на склонах лесных полос. Это эффективный путь предотвращения потерь биогенных элементов в реки, пруды и озера.

Для предотвращения процесса антропогенной эвтрофикации и загрязнения вод токсическими элементами необходима очистка промышленных и бытовых стоков от излишков минеральных соединений азота и фосфора, тяжелых металлов и других веществ.

Пути возможного загрязнения атмосферы при производстве и применении агрохимических средств. Основными источниками загрязнения атмосферы являются промышленность и транспорт. Хотя при применении удобрений загрязнение атмосферы незначительное, особенно при использовании гранулированных и жидких удобрений, тем не менее, оно имеет место. После применения удобрений в атмосфере обнаруживаются соединения, содержащие преимущественно азот, фосфор и серу. При производстве минеральных удобрений возможно существенное загрязнение атмосферы. Так, пылегазовые отходы калийного производства включают выбросы дымовых газов сушильных отделений, вредными компонентами которых являются пыль концентратов (KCl), хлористый водород, пары флотреагентов и антислеживателей аминов. При кислотных методах переработки хлористого калия на бесхлорные калийные удобрения, гидротермической переработке сульфатно-хлоридных калийных руд в качестве

побочных продуктов образуются газы, содержащие хлористый водород, а при получении нитрата калия – Cl_2 . Поэтому по экономическим и санитарным соображениям пылегазовые отходы калийного производства необходимо утилизировать и обезвреживать.

ПДК паров аммиака в воздухе рабочей зоны не должны превышать 20 мг/м^3 , содержание пыли нитрофоски – 2 - 5, фосфоритной муки – 5 мг/м^3 . Пороговая концентрация пыли хлористого калия 10 мг/м^3 , токсическая – 50 - 150 мг/м^3 . Загрязнение атмосферы агрохимическими средствами возможно при нарушении условий выполнения технологий применения удобрений и химических мелиорантов, авиацимических работах, химической мелиорации почвы, технологий использования безводного аммиака и аммиачной воды и др. Предотвратить загрязнение воздуха в этом случае можно при высокой ответственности и профессиональном мастерстве работников сельского хозяйства, имеющих дело со средствами химизации.

Существенными источниками загрязнения природной среды являются также газообразные потери азотных соединений из удобрений и почвы, а также бессистемное использование органических удобрений, особенно бесподстилочного навоза и навозных стоков.

Особенно существенное, в большинстве случаев местное влияние на атмосферу оказывают неправильное хранение и использование бесподстилочного навоза. При хранении его в открытых ёмкостях выделяются и попадают в атмосферу аммиак, молекулярный азот и другие его соединения. Происходят также разложение органических удобрений и ухудшение окружающей среды вследствие образования газообразных продуктов распада, обуславливающих неприятный запах.

Внесение бесподстилочного навоза и животноводческих стоков от крупного рогатого скота и свиней вызывает интенсивное бактериальное заражение. Патогенные бактерии сохраняются в почве земледельческих полей орошения в течение 4 - 5 месяцев. При внесении стоков в почву методом дождевания по воздуху на расстояние до 400 м распространялись и яйца гельминтов.

Агрохимической наукой хорошо изучены условия возможных газообразных потерь азота из удобрений и почвы и их размеры. Это позволяет применять комплекс агрономических мероприятий при использовании научно обоснованных систем удобрения, способствующих предотвращению потерь азота в окружающую среду. Наиболее важными из них являются: определение оптимальных доз азотных удобрений под каждую культуру севооборота; правильные сроки их внесения; заделка удобрений в почву при вспашке, куль-

тивации или дисковании; выбор форм азотных удобрений с учётом их свойств, требований культуры, а также почвенно-климатических условий. В каждом хозяйстве должна строго соблюдаться правильная технология работы с пылящими удобрениями и химическими мелиорантами, безводным аммиаком, с бесподстилочным навозом с учетом комплекса агрономических и санитарно-гигиенических требований. При работе с азотными удобрениями рекомендуется пользоваться ингибиторами нитрификации.

Весь перечисленный комплекс мероприятий в сочетании с максимальным уплотнением растительного покрова пашни во времени значительно снижает газообразные потери азота.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ АГРОХИМИИ

Анализ позитивного и негативного действия агрохимических средств в агроэкосистеме, взаимовлияния и взаимодействия факторов в агроэкосистеме, и прежде всего почвы, климата, удобрения и растения, позволяют сформулировать основные экологические функции агрохимии. Они формировались в течение длительного исторического развития мирового и отечественного земледелия.

1. Обеспечение оптимального круговорота биогенных элементов в агроценозе с активным их балансом.

Еще М.Г. Павлов (1825) писал, что целью применения удобрений является умножение питательных веществ в почве или, по крайней мере, возвращение того их количества, которое было взято из почвы растениями для создания урожая.

Спустя 15 лет немецкий ученый Ю. Либих четко высказал идею о сознательном регулировании обмена веществ между человеком и природой в своем учении о необходимости возврата питательных веществ, вынесенных растением с урожаем, в почву, что, по мнению К.А. Тимирязева, явилось важнейшим достижением науки.

Поддерживать активный баланс питательных элементов в агроценозе как критерий оценки состояния круговорота веществ в земледелии можно только при научно обоснованном применении удобрений. Поэтому Д.Н. Прянишников считал, что главной задачей агрохимии является изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех мер воздействия на химические процессы, протекающие в почве и растениях, которые могут повышать урожай и качество продукции.

Это определение находится в полном соответствии с общей стратегической задачей земледелия – сохранением и приумножением плодородия почвенного покрова, его экологической чистоты как главного богатства любого государства, материальной основы существования человечества на нашей планете.

Поддержание положительного баланса и активного биологического круговорота элементов в земледелии – основа продуктивности агроэкосистем.

Нарушение баланса биогенных элементов в системе почва – растение ведет к ухудшению химического состава почв, природных вод и растений, а это отрицательно влияет на питательную ценность продукции и может привести к различным функциональным заболеваниям человека и животных.

В.В. Ковальский ввел понятие «пороговые концентрации элементов в среде», выше и ниже которых наблюдается определенная биологическая реакция (в том числе и заболевания). Поэтому, регулируя биологический круговорот веществ, создавая их оптимальный баланс и содержание в почвах и растениях, агрохимия выполняет важную экологическую функцию.

2. Воспроизводство плодородия, улучшение свойств и гумусного состояния почв. Эти задачи современного земледелия успешно решаются при комплексном использовании агрохимических средств, в частности системы органических и минеральных удобрений в сочетании с химической мелиорацией почв. Именно научно обоснованная система использования агрохимических средств позволяет оптимизировать параметры показателей плодородия и основных химических и физико-химических свойств почвы.

Хорошо известна роль гумуса в решении различных аспектов почвенной экологии практически во всех сельскохозяйственных районах. А между тем уровень этого важного показателя плодородия почв систематически снижается во всех почвенно-климатических зонах. По данным Почвенного института им. В.В. Докучаева, потери гумуса на черноземах за 100 лет составили около 25 - 30% его запасов. В среднем с 1 га пашни ежегодно теряется около 400 - 600 кг гумуса, а там, где сильно развиты процессы эрозии, потери гумуса достигают 1 т/га. Предотвратить эти негативные экологические процессы в агроценозе можно при комплексном использовании агрохимических средств. Высокий эффект от их применения отмечается особенно на слабокультуренных дерново-подзолистых почвах (табл. 11.1).

Применение агрохимических средств в течение 41 года позволило преобразовать кислую слабокультуренную дерново-подзолистую почву в высокоплодородную, обеспечивающую по своим свойствам реализацию потенциальной продуктивности выращиваемых культурных растений.

3. Оптимизация питания культурных растений биогенными макро- и микроэлементами. Оптимизация питания усиливает экологические функции растений, непосредственно улучшая рост и развитие культуры, обеспечивая реализацию ее потенциальной продуктивности, формирование более качественной продукции, а также опосредованно, путем повышения устойчивости культурных растений к экстремальным условиям роста и развития (засухи, пониженные температуры, поражение болезнями и т.д.).

Обеспечение сельскохозяйственных культур в процессе вегетации питательными элементами в оптимальных дозах и соотношении усиливает деятельность физиологических барьеров, препятствующих поступлению токсических элементов и веществ в растения, особенно в генеративную их часть, которая является часто продуктом питания человека.

11.1. Влияние длительного применения системы агрохимических средств на улучшение свойств и плодородия дерново-подзолистых почв*

Вариант	pH _{KCl}	Hг, ммоль 100г почвы	подв. Al, мг/100 г почвы	S, ммоль 100 г почвы	V, %	гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы	K ₂ O, мг/100 г почвы
<i>Контрольный фон</i>								
0	4,4	4,25	3,2	7,2	62,9	1,96	6,0	3,0
НРК	4,1	6,20	6,4	5,6	47,4	2,26	22,0	24,0
<i>Известкование</i>								
0	6,9	1,05	0,49	9,8	90,3	2,18	10,0	10,0
НРК	6,9	1,20	следы	11,3	90,4	2,58	18,0	20,0
<i>Известь + органическое удобрение (навоз)</i>								
0	6,9	1,05	0,18	13,0	92,9	3,16	9,3	16,0
НРК	6,9	1,20	0,09	11,8	90,7	3,78	26,2	22,4

*Применение удобрений в течение 41 года.

Многочисленными исследованиями, выполненными в разных странах, установлен характер распределения тяжелых металлов (ТМ) в биомассе растений: корни > надземная часть > зерно. Это свидетельствует о наличии, по крайней мере, трех защитных механизмов (барьеров): на границе почва - корень, корень - стебель, стебель - зерно. Зная механизм поступления биогенных и токсических элементов в корни, транслокацию их в надземную часть, в том числе и в генеративные органы, можно существенно снизить накопление токсикантов в растениях, а следовательно, и в продукции растениеводства. Эта экологическая функция агрохимии требует более глубокого и обстоятельного исследования.

4. Снижение негативных последствий от глобального и локального техногенного загрязнения агроэкосистем тяжелыми металлами и другими токсическими элементами. Техногенное загрязнение почвы различными элементами может оказать существенное влияние на ее химический состав; агрохимические, физико-химические и биохимические свойства; состав и активность почвенной биоты. В исследованиях на дерново-подзолистых и черноземных почвах установлено, что загрязнение медью, хромом, цинком, никелем,

свинцом на уровне одного-двух кларков (в сравнении с незагрязнённой почвой) сопровождалось существенным изменением биоты: уменьшением общего количества бактерий, спорообразованием их, резким сокращением числа актиномицетов и увеличением количества грибов, падением численности в почве насекомых (жужелиц, чернотелок и др.) и дождевых червей. Отмечено снижение ферментативной активности в почве. Мутагенная активность загрязненной почвы, регистрируемая в меристематических клетках корней растений, в 5-10 раз выше, чем в незагрязненной почве. Изменения гумусного состояния почвы и ППК (хранителя почвенного плодородия и потенциала самоочищающей ее способности) являются важными показателями неблагоприятного воздействия загрязнителей на почву. Поэтому должны нормироваться реакция среды, замещение в ППК кальция и магния тяжелыми металлами, минерализация гумуса, изменение физического состояния почвы, химического и санитарного состояния почвенного раствора и почвенного воздуха.

К ТМ относятся свыше 40 элементов, плотность которых больше 6 г/см^3 , а атомная масса превышает 40 атомных единиц. По токсичности и способности накапливаться в пищевых цепях лишь немногим более 10 элементов признаны приоритетными загрязнителями биосферы. Среди них выделяют ртуть, кадмий, свинец, медь, ванадий, олово, цинк, молибден, никель. Три элемента (ртуть, кадмий, свинец) считаются наиболее опасными.

Однако не все тяжелые металлы токсичны, так как в эту группу входят медь, цинк, молибден, кобальт, марганец, получившие название микроэлементов и имеющие важное биологическое значение в жизни теплокровных, растений и микроорганизмов. Поэтому справедливо использовать понятие “тяжелые металлы”, когда речь идет об опасных для живых организмов концентрациях элемента.

Вопросы влияния сбалансированного питания растений макро- и микроэлементами на поглощение ими тяжелых металлов и других токсических элементов имеют важное теоретическое и практическое значение, прежде всего для земледелия в районах с интенсивно развивающейся промышленностью, где возрастает техногенное загрязнение почв различными токсическими элементами и соединениями.

Для получения продукции растениеводства, отвечающей гигиеническим требованиям к качеству и безопасности продовольственного сырья, пищевых продуктов и кормов по содержанию тяжелых металлов, необходимо на сельскохозяйственных землях, загрязненных тяжелыми металлами, осуществлять комплекс мероприятий организационного и технологического характера основными из которых являются: подбор культур, менее всего накапливающих

тяжелые металлы. Замена культур, аккумулирующих значительное количество тяжелых металлов на культуры с меньшей интенсивностью поглощения этих элементов способствующих снижению накопления их в растениеводческой продукции в 2 - 3 раза. Почвы с высоким содержанием тяжелых металлов рекомендуется отводить под посевы рапса на семена, озимую рожь, пшеницу, из многолетних трав – ежу сборную, тимофеевку луговую.

Известкование способствует снижению накопления тяжёлых металлов в 1,4 - 2,1 раза. Для известкования целесообразно использовать как традиционные мелиоранты (доломитовую муку), так и кальцийсодержащие отходы (дефекат сахарных заводов), карбонатный сапропель и т. д.

Увеличение гумусированности почв путем применения органических удобрений позволяет снизить поступление в растениеводческую продукцию цинка и меди в 1,7 и 1,4 раза соответственно. В качестве органических удобрений можно использовать навоз, компосты на его основе, измельченную солому. Максимальный результат дает внесение в произвесткованную почву навоза или компостов на его основе.

Такая система применения агрохимических средств значительно снижала поступление тяжелых металлов в выращиваемые культурные растения (табл. 11.2).

11.2. Влияние применения системы агрохимических средств на содержание подвижных форм тяжелых металлов в пахотном слое дерново-подзолистых почв

Содержание подвижных форм тяжёлых металлов, мг/кг почвы	Варианты			
	Контроль	Органические удобрения	Известкование	Органические удобрения + известкование
Cd	0,19	0,13	0,08	0,05
Pb	2,52	2,68	0,76	0,98
Ni	0,84	0,82	0,76	0,79

В исследованиях, выполненных в длительном стационарном опыте на учебно-опытном поле почвенно-экологического центра МГУ, система органических и минеральных удобрений в сочетании с периодическим известкованием снижала содержание подвижного кадмия в пахотном слое почвы в 2 раза, свинца – в 4 раза (табл. 11.3).

На загрязненных тяжелыми металлами почвах не рекомендуется возделывать листовые овощи и корнеплоды, поглощающие по сравнению с другими культурами больше тяжелых металлов. На таких почвах лучше выращивать рапс на семена, лен, сахарную свеклу, а также картофель.

11.3. Влияние применения системы агрохимических средств на поступление тяжелых металлов в растения, мг/кг сухого вещества

ТМ	Контроль			Органические удобрения + известкование		
	Без уд.	НК	НПК	Без уд.	НК	НПК
<i>Культура – вика посевная</i>						
Cd	0,07	0,09	0,08	0,02	0,03	0,02
Pb	1,62	2,03	2,08	0,81	1,10	0,85
Ni	1,42	4,86	2,85	0,32	0,72	0,43
<i>Культура – овёс</i>						
Cd	0,05	0,08	0,05	0,02	0,02	0,03
Pb	1,12	1,62	1,56	0,70	0,74	0,68
Ni	1,32	3,92	3,00	0,70	0,85	0,70

Эта экологическая функция агрохимии во времени будет приобретать все большую актуальность, так как нарастает глобальное и локальное загрязнение окружающей среды различными токсическими веществами, которые представляет серьезную угрозу. Их динамическая аккумуляция в почвенном покрове, а затем и в культурных растениях может привести к накоплению ТМ в продуктах питания выше допустимой предельной концентрации, что небезопасно для здоровья человека.

Агрохимия имеет большие потенциальные возможности по инактивации подвижных форм тяжелых металлов в почве и существенному снижению поступления их в растения.

5. Улучшение радиэкологической ситуации в агроэкосистеме. Радионуклиды, попадая в трофические цепи, оказывают серьезное негативное воздействие на биосферу, и в частности на организм человека.

В почве радионуклиды подвергаются различным процессам: аккумуляции, мобилизации и иммобилизации, миграции по профилю почвы, антагонизму и синергизму с биогенными элементами при транслокации в растения.

Природная радиоактивность почв определяется, прежде всего, содержанием радиоактивных изотопов в материнской породе. Наиболее радиоактивны почвы, сформированные на кислых магматических породах, а максимальные концентрации естественных радионуклидов соответствуют мелкодисперсной фракции почв.

Содержание калия в разных типах почв изменяется в пределах от 1 до 3,5%, при этом радиоактивность, обусловленная ⁴⁰K, содержание которого составляет около 0,012% атомных процентов (1 г при-

родного калия характеризуется активностью 27 Бк), может составлять 300 - 1000 Бк/кг (приблизительно 80 - 95% от всей радиоактивности почвы).

В радиологии радиоактивность количественно выражается в единицах активности (активность – число спонтанных ядерных превращений за единицу времени). В системе СИ единицей активности является Беккерель (Бк). 1 Бк = 1 распад за 1 секунду. внесистемная единица активности – Кюри (Ки). 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк. Активность, отнесённая к единице массы или объёма, представляет удельную активность, например, Бк/кг, Бк/л и т.д.

Естественную радиоактивность растения приобретают, поглощая природные радионуклиды из почв и удобрений. Размеры количественного перехода тяжёлых радиоизотопов – радия, урана и тория в культурные растения невелики; соответственно низки и удельные активности ^{238}U и ^{232}Th культурных растений – 0,1 - 10 Бк/кг, причём в зерне, клубнях и корнеплодах этих радиоизотопов в несколько раз меньше по сравнению с соломой и ботвой. Гораздо большую активность растениям придает природный радионуклид ^{40}K . Этот изотоп с необходимостью присутствует в живых организмах наряду с двумя другими (стабильными) природными изотопами калия. Однако повышенное содержание К как элемента, а следовательно и повышенная естественная радиоактивность от ^{40}K , отмечается в растениях-калиефилах. В золе многих растений содержится более 10% калия. Очень богаты радиокалием следующие растительные продукты питания: картофель – 174; орехи – 210; фасоль – 299; клюква (и другие ягоды семейства брусничных) – 355 Бк/кг сырой массы. Много К в зернобобовых и грибах. В плодах отмечается наибольшая вариабельность ^{40}K – 7 - 355 Бк/кг.

Некоторые виды *минеральных удобрений* могут содержать природные радиоактивные изотопы. Азотные удобрения производят преимущественно из азота воздуха, и они практически не содержат естественные радионуклиды; калийные, безусловно, обогащены ^{40}K , фосфорные – в разных количествах содержат уран и торий и дочерние продукты их распада; Эти радиоизотопы попадают в удобрения из сырья. В подавляющем числе случаев гораздо меньше тяжёлыми радиоактивными элементами загрязнены удобрения, выработанные из апатита – 0,1 - 3,7 мг/кг ^{238}U и 8 - 32 мг/кг ^{232}Th по сравнению с удобрениями, сырьём для которых является фосфорит – 4 - 35 и 10 - 25 мг/кг, соответственно. В настоящее время содержание природных радиоактивных изотопов в минеральных удобрениях и сырьё для их производства регламентируется нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Для этого разработан

специальный показатель – эффективная удельная активность ($A_{эфф}$), определяемый как:

$$A_{эфф} = A_{Ra(U)} + 1,5A_{Th},$$

где $A_{Ra(U)}$ и A_{Th} – удельные активности ^{226}Ra (или ^{238}U) и ^{232}Th , находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, соответственно. Этот показатель для минеральных удобрений и других агрохимических средств не должен превышать 1000 Бк/кг.

Несмотря на то, что история Чернобыльской аварии насчитывает уже 30 лет, радиологическая ситуация в России, странах СНГ, да и в целом Мире остается весьма напряженной. На территории РФ в разной степени оказались загрязненными техногенными радионуклидами 15 - 17 субъектов Федерации. По данным Роскомгидромета (1994) и ГлавЧернобыля МСХП РФ (1996) общая площадь загрязненных земель составляет около 6 млн. га, в том числе около 3 млн. га приходится на сельскохозяйственные угодья, включая сенокосы и пастбища. Приблизительно такие же по масштабам площади загрязненных земель приходятся на Украину и Беларусь (вместе взятые).

В настоящее время актуальными радиоактивными поллютантами природных объектов являются лишь два: ^{137}Cs и ^{90}Sr . Радиоцезий (изотоп ^{137}Cs) характеризуется β - и γ -излучениями, период полураспада этого радионуклида составляет 30 лет. Как химический аналог калия, цезий в организме человека не связывается со структурными компонентами и содержится в основном в составе биологических жидкостей – в крови и лимфе и сравнительно быстро выводится из организма. В почве ^{137}Cs малоподвижен, так как прочно связывается глинистыми минералами монтмориллонитовой группы, поэтому имеет низкие значения коэффициентов поглощения растениями. Радиостронций (изотоп ^{90}Sr) характеризуется только β -излучением, период полураспада составляет 29 лет. Как химический аналог кальция, стронций в организме человека встраивается в костную ткань, замещая Ca, прочно там закрепляется, поэтому очень медленно выводится. Воздействуя на красный костный мозг (кроветворный орган) и накапливаясь в молочных продуктах, ^{90}Sr представляет гораздо большую опасность и более жестко нормируется по сравнению с ^{137}Cs . В почве радиостронций намного подвижнее радиоцезия и характеризуется более высокими значениями коэффициентов перехода а растения.

Согласно зональному делению (Рекомендации..., 1991) земли считаются загрязненными при содержании ^{90}Sr более 5,6 кБк/м² (0,15 Ки/км²), а ^{137}Cs – более 37 кБк/м² (1Ки/км²) (табл. 11.4).

11.4. Зональное деление земель по уровню загрязнения радионуклидами

Плотность загрязнения, кБк/м ² (Ки/км ²)		Уровень загрязнения	Зона проживания
¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr		
37 - 185 (1 - 5)	5,6 - 37 (0,15 - 1)	Низкий	Проживание с льготным социально-экономическим статусом
185-555 (5 -15)	37 - 111 (1 - 3)	Средний	Проживание с правом отселения
555 - 1480 (15 - 40)	111 -185 (3 - 5)	Высокий	Отселение с правом получения компенсации и льгот
> 40 (> 1480)	> 185 (> 5)	Очень высокий	Зона отчуждения

Ниже этих величин допускается ведение сельскохозяйственного производства без каких-либо ограничений. Таким образом, ниже будут рассмотрены вопросы, связанные с особенностями ведения сельскохозяйственного производства на территориях с уровнями загрязнения по ⁹⁰Sr ≥ 5,6 и ¹³⁷Cs ≥ 37 кБк/м².

Помимо Чернобыльских загрязнений, на территории России следует отметить последствия нескольких аварий на Южном Урале, наибольшая из которых произошла в 1957 году на ПО «Маяк». Основной радионуклид-загрязнитель – ⁹⁰Sr. Общая площадь загрязнённых земель составляет около 1 млн. га, в основном – отдельные районы Челябинской, Екатеринбургской и Тюменской областей с населением около четверти миллиона человек.

Поступление радионуклидов-поллютантов из почвы в растения описывается, либо коэффициентами накопления – отношением удельных активностей радионуклида в растении и в почве, либо коэффициентами перехода – отношением удельной активности радионуклида в растении к плотности загрязнения (Бк/кг/Ки/км², или Бк/кг/кБк/м²). Эти показатели зависят от типа и свойств почв, от вида, сорта и части урожая сельскохозяйственных культур.

Важным фактором, определяющим интенсивность поступления радионуклидов в продукцию растениеводства, является плодородие почв. Высокая сорбционная способность плодородных почв и прочное удерживание радионуклидов-поллютантов препятствует корневому поглощению ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Так, например, при равном уровне загрязнения почв коэффициенты накопления радиоцезия и радиостронция зерном озимой пшеницы, выращенной на дерново-подзолистой почве, оказываются соответственно в 20 и 10 раз больше по сравнению с этим показателем для зерна, полученного на типич-

ном чернозёме. При увеличении урожая сельскохозяйственных культур происходит и биологическое разбавление загрязнителей – на единицу массы приходится меньшее их количество. В связи с этим любые агроприёмы, направленные на повышение почвенного плодородия и повышение урожая сельскохозяйственных культур способствуют снижению содержания радионуклидов в продукции растениеводства.

Гранулометрический состав почвы, как правило, положительно коррелирует с её плодородием. Тяжёлые с развитым почвенно-поглощающим комплексом почвы обычно характеризуются более высоким плодородием по сравнению с лёгкими песчаными и супесчаными почвами. Установлено значительное снижение размеров поступления ^{137}Cs в растения при переходе от почв с низким плодородием к почвам с высоким.

Таким образом, радионуклидное загрязнение продукции растениеводства определяется многими факторами, которые, однако, поддаются регулированию.

Среди мероприятий по снижению поступления радиоактивных поллютантов в растения и по трофическим цепям – в продукцию животноводства, агрохимические методы заслуживают особого внимания, так как применение органических и минеральных удобрений и химических мелиорантов обеспечивает не только повышение урожайности сельскохозяйственных культур, но и является действенным средством получения незагрязнённой ^{137}Cs и ^{90}Sr продукции растениеводства.

В качестве основных агрохимических методов снижения поступления радионуклидов их почвы в растения следует назвать известкование кислых почв; внесение повышенных доз фосфорно-калийных удобрений и внесение органических удобрений.

Эффективность удобрения и известкования радиоактивно загрязнённых почв для получения экологически безопасной продукции обусловлена рядом причин: 1) улучшение условий питания, что приводит к увеличению биомассы растений и происходит «разбавление» радионуклидов, т.е. уменьшение их содержания на единицу массы; 2) конкуренция ионов K^+ и Ca^{2+} , вносимых с известковыми материалами и удобрениями, с ионами $^{137}\text{Cs}^+$ и $^{90}\text{Sr}^{2+}$ при корневом питании растений; 3) снижение подвижности катионов в почве при сдвиге pH в щелочную сторону.

Известкование кислых почв является одним из наиболее эффективных способов снижения поступления ^{137}Cs и особенно ^{90}Sr в растения. Внесением известковых материалов достигается снижение концентрации ионов водорода в почвенном растворе с одновременным повышением содержания подвижного Ca, который

подавляет корневое поступление ^{90}Sr . Так, известкование дерново-подзолистых почв значительно уменьшало загрязнение продукции растениеводства радио-цезием (рис. 11.1).

Этот вид химической мелиорации снижает поступление ^{90}Sr в растения в 3-7, а в отдельных случаях – до 20 раз. Эффективность известкования для снижения коэффициентов накопления ^{137}Cs ниже, чем для ^{90}Sr , что связано с конкуренцией ^{90}Sr и Ca при их усвоении растениями. Последствие известкования на переход ^{90}Sr в растения продолжается в течение 5-7 лет, тогда как на поступление ^{137}Cs – только 1-2 года.

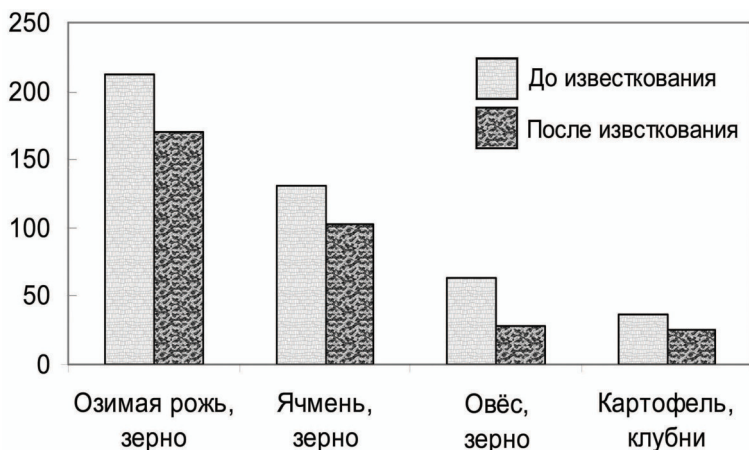


Рис. 11.1. Влияние известкования дерново-подзолистых почв на содержание ^{137}Cs в продукции, Бк/кг (Белоус и др., 2010)

Применение **органических удобрений** способствует закреплению радионуклидов в почве и уменьшает накопление радионуклидов растениями, в частности ^{137}Cs – в 2-3, а ^{90}Sr – в 2-8 раз. Наибольший эффект в снижении поступления радионуклидов под воздействием органических удобрений наблюдается на малоплодородных и лёгких почвах. На кислых почвах наилучшие результаты достигаются при совместном внесении в почву органических удобрений совместно с известью: на дерново-подзолистых почвах это приводит к снижению коэффициентов накопления радионуклидов приблизительно в 2-3 раза и более.

Следует отметить, что при использовании органических удобрений в хозяйствах, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения, сами эти местные удобрения могут содержать значительные количества ^{137}Cs и ^{90}Sr , и применение их может привести к вторичному загрязнению сельскохозяйственных земель.

Применение **калийных** удобрений на разных типах почв приводит к снижению поступления ^{137}Cs в культурные растения в несколько раз (табл. 11.5). Это связано, как с антагонизмом калия и цезия при почвенном поглощении радионуклида из почвенного раствора, так и с «эффектом разбавления» его надземной биомассой растений. Наибольшая эффективность калийных удобрений достигается на легких, мало буферных и малообеспеченных калием почвах. Улучшение калийного питания растений приводит также и к существенному снижению загрязнения растений радиостронцием, особенно на почвах с низкой концентрацией обменного калия. Однако в этом случае ^{90}Sr поступает в растения в больших количествах по сравнению с ^{137}Cs .

Внесение **фосфорных** удобрений также является важным фактором снижения размеров поглощения растений ^{137}Cs и ^{90}Sr . В этом случае основное влияние фосфорные туки оказывают на уменьшение массопереноса радиостронция. Повышая концентрации растворимых фосфатов в почвенном растворе, фосфорные удобрения инициируют сосаждение микроколичеств ^{90}Sr с фосфатами, при этом прочность фиксации радионуклида в почве в течение времени увеличивается (процесс «старения»).

11.5. Содержание ^{137}Cs в растениях, выращенных на дерново-подзолистой почве при применении повышенных доз калийных удобрений, Бк/кг. Плотность загрязнения почвы 1 Ки/км² (Юдинцева, 1989)

Вариант	Озимая рожь		Озимая пшеница		Картофель (клубни)
	зерно	солома	зерно	солома	
Без удобрений	8,5	10,0	10,0	11,1	3,7
$\text{N}_{100}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$	2,6	3,7	4,8	4,8	3,0
$\text{N}_{100}\text{P}_{100}\text{K}_{200}$	1,1	1,5	2,6	2,6	1,9
$\text{N}_{100}\text{P}_{100}\text{K}_{300}$	0,8	0,8	1,1	0,8	1,1

Азотные удобрения обычно приводят к усиленному развитию биомассы растений и, как следствие, к увеличению потребности их в других элементах питания, что также стимулирует корневое поглощение ^{137}Cs и ^{90}Sr . Особенно ярко это проявляется при использовании физиологически кислых форм азотных удобрений. В связи с этим внесение азотных удобрений инициирует два разнонаправленных процесса – биологическое разбавление содержания радионуклидов за счёт прироста биомассы и усиление их поглощения. Поэтому эффективность азотных удобрений на загрязнённых землях, как правило, ниже по сравнению с фосфорными и калийными.

Следует отметить, что правильное соотношение питательных элементов в удобрениях, применяемых на радиоактивно загрязнённых территориях, имеет большое значение. Обычно дозы удобрений рассчитывают таким образом, чтобы получить максимальный урожай, т.е. соотношение элементов питания должно отвечать физиологическим потребностям растений. На почвах, загрязнённых ^{137}Cs и ^{90}Sr , минеральные удобрения следует применять в другом соотношении, а именно – со значительным преобладанием калия и фосфора над азотом. Для эффективного снижения поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения фосфорные и калийные удобрения необходимо вносить в нормах, превышающих количества, рассчитанные по системе применения удобрений, а значит и физиологические потребности растений в этих элементах. Только в этом случае минеральные удобрения будут надёжным фактором, снижающим уровень загрязнения продукции растениеводства радионуклидами.

В таблицах 11.6 и 11.7. представлены обобщённые рекомендации для применения агрохимических методов с целью минимизации поступления радионуклидов в продукцию растениеводства. Эти эмпирические данные показывают, что для достижения желаемого результата при повышении уровня загрязнения почв радиоцезием дозы известковых материалов, органических и минеральных удобрений также должны быть увеличены.

11.6. Рекомендуемые дозы внесения известковых материалов для почв, подвергшихся радиоактивному загрязнению, в зависимости от степени их кислотности, Алексахин, Санжарова и др., 2005

Степень кислотности (pH_{KCl})	Дозы CaCO_3 , т/га		
	Уровни загрязнения*		
	I	II	III
Сильнокислые (менее 4,5)	8,0	9,0	10,0
Среднекислые (4,6-5)	6,0	8,0	9,0
Слабокислые (5,1-5,5)	5,0	7,0	9,0
Близкие к нейтральным (5,6-6,0)	3,0	6,0	8,0
Нейтральные (около 7)	–	5,0	6,0

* здесь и в табл. 11.7 – уровни загрязнения ^{137}Cs : I – 37-185 кБк/м^2 (1-5 Ки/км^2); II – 185-555 кБк/м^2 (5-15 Ки/км^2); III – 555-1480 кБк/м^2 (15-40 Ки/км^2)

11.7. Рекомендуемые дозы внесения удобрений под некоторые сельскохозяйственные культуры для почв, различной степени загрязнения ¹³⁷Cs, Алексахин, Санжарова и др., 2005

Культура	Органические удобрения, т/га	Дозы минеральных удобрений, кг/га д.в.		
		Азот	Фосфор	Калий
I уровень загрязнения				
Озимая пшеница	30	60	60	60
Ячмень	–	60	60	60
Картофель	50	60	60	60
II уровень загрязнения				
Озимая пшеница	40	60	90	90
Ячмень	–	60	90	90
Картофель	60	60	90	90
III уровень загрязнения				
Озимая пшеница	60	90	90	120
Ячмень	–	90	90	120
Картофель	80	90	90	120

Таким образом, при ведении сельскохозяйственного производства из агрохимических способов для снижения уровня загрязнения радионуклидами продукции растениеводства следует рекомендовать известкование кислых и слабокислых почв, применение органических и минеральных удобрений, особенно повышенных доз калийных и фосфорных удобрений.

На основе экспериментальных данных научно обоснована система агромероприятий, реализация которых существенно снижает поступления радионуклидов (стронция, цезия и др.) в продукцию растениеводства. Эти мероприятия включают:

- 1) разбавление поступающих в почву радионуклидов в виде практически невесомых примесей их химическими аналогами (кальцием, калием и др.);
- 2) уменьшение степени доступности радионуклидов в почве путем внесения веществ, переводящих их в менее доступные формы (органическое вещество, фосфаты, карбонаты и др.);
- 3) заделку загрязненного слоя почвы в подпахотный горизонт за пределы зоны распространения корневых систем (на глубину 50 - 70 см);
- 4) подбор культур и сортов, накапливающих минимальное количество радионуклидов;

5) размещение на загрязненных почвах технических культур, использование этих почв под семенные участки.

Аналогичные системы мероприятий могут быть использованы и для снижения загрязнения сельскохозяйственной продукции другими токсическими веществами нерадиоактивной природы.

Все это свидетельствует о важной функциональной роли агрохимии в решении проблем радиозащиты.

6. Создание оптимальных культурных агроландшафтов для различных природных регионов в соответствии с их специализацией.

А.Н. Перельман отмечал, что, применяя удобрения, минеральную подкормку домашних животных, осушая болота, мобилизуя внутренние ресурсы ландшафта, человек обеспечивает растения и домашних животных необходимыми элементами, т.е. создает культурный ландшафт с оптимальным геохимическим режимом. Такой ландшафт является наилучшим в гигиеническом отношении и отвечает оптимальным условиям жизни человечества.

Геохимический ландшафт по Б.Б. Полюнову – это взаимосвязь химического состава отдельных звеньев ландшафта: почвы, растительности, поверхностных и грунтовых вод и т.д., их миграционной способности, а также факторов, оказывающих существенное влияние на миграцию химических элементов. В.И. Вернадский считал, что источником подвижности химических элементов в биосфере являются живое вещество и природные воды, т.е. синтез и минерализация органических соединений – процессы, составляющие круговорот химических, особенно биогенных элементов в системе почва - растение.

Вновь созданный аграрный тип ландшафта является качественно отличным от естественных природных комплексов. Систематическое применение агрохимических средств по существу изменяет химический состав почвы, растений, грунтовых вод и т.д., а следовательно, и круговорот веществ в данном ландшафте. Это влияние может быть позитивным и негативным. Зная оптимальные параметры химического состава звеньев агроландшафта, научно обоснованным применением агрохимических средств можно существенно его улучшить. Если в развитие понятия о ландшафте Б.Б. Полюнова учитывать это комплексное агрохимическое воздействие на звенья агроландшафта, то оно, по существу, приобретает новое агрогеохимическое содержание. В этом суть одной из важных экологических функций агрохимии.

7. Удобрения и химические мелiorанты – важное звено в системе противоэрозионных мероприятий.

Большой ущерб в условиях интенсивного земледелия наносит эрозия почвы. Она приобретает глобальный характер и требует коллективных усилий всех стран, как и при решении других проблем охраны окружающей среды. Только овраги ежедневно «съедают» 100 - 200 га земли, а площадь, выводимая из сельскохозяйственного использования, в 3 - 4 раза превышает площадь оврага. В результате эрозии почвы теряется 20% продукции растениеводства. Степень развития эрозии почвы и размер ущерба от нее зависят от многих факторов: рельефа местности, вида культуры, гранулометрического состава почвы, интенсивности орошения или выпадающих атмосферных осадков, уровня удобренности полей, системы обработки почвы и др. Потери массы почвы и органического вещества за счет водной эрозии в зависимости от степени эродированности почв могут достигать больших величин (табл. 11.8).

11.8. Потери почвенной массы и органического вещества в результате развития водной эрозии

Степень эродированности почв	Потери почвенной массы, т/га в год	Потери гумуса, т/га в год	
		дерново-подзолистые почвы	чернозёмы
Слабая	< 6	< 0,1	< 0,6
Средняя	6 - 12	0,1 - 0,2	0,6 - 1,2
Сильная	> 12	> 0,2	> 1,2

За счёт водной эрозии пахотных почв потери органического вещества могут значительно превышать то количество, которое минерализуется при распашке и которое не может быть восстановлено запашкой растительных остатков и органических удобрений. Потери отдельных питательных элементов от эрозии почвы бывают разными в зависимости от характера использования сельскохозяйственных угодий, крутизны склона, интенсивности орошения и т.д. По обобщенным данным научных учреждений, недобор урожая на слабосмытых почвах составляет 10 - 12%, на среднесмытых – 30 - 50, а на сильносмытых – 60 - 80%.

Анализ причин появления эрозии почвы показывает, что это неизбежное явление, а вызывается оно в значительной мере нарушением научных принципов и законов земледелия, научно обоснованного комплекса приемов агрономической технологии.

На эрозионно-опасном почвенном покрове применение удобрений существенно снижает негативные последствия от водной эрозии. Это подтверждают исследования, выполненные в различных почвенно-климатических условиях. Так, на типичном чернозёме Центрально-Черноземной зоны на фоне систематического внесения удобрений размеры смыва веществ сокращались на 14 - 15%, что связано с большим накоплением биомассы на удобренных посевах и лучшим закреплением почвы корневой системой растений (Чуян, 1994) (табл. 11.9).

11.9. Влияние систематического применения минеральных удобрений на потери питательных веществ при эрозии почвы (среднее за 6 лет)

Варианты	Слой стока, мм	Вынос мелкозёма, т/га	Вынос с мелкоземом валовых форм, кг/га			Вынос с водой (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O)
			гумус	N	P ₂ O ₅	
Без удобрений	25	3,17	153	6,5	4,2	1,46
N ₈₂ P ₇₆ K ₇₆ ежегодно	24	2,71	132	5,6	3,6	1,84

Научно обоснованная система применения органических и минеральных удобрений является мощным агротехническим средством повышения противоэрозионной устойчивости почв. Растения, выросшие на удобренной почве, развивают более мощную корневую систему, улучшают физические свойства почвы, что в совокупности способствует лучшей защите ее от эрозии и снижает потери питательных веществ (табл. 11.10, Фокин, 1986).

Анализ отечественных и зарубежных исследований и практической деятельности передовых хозяйств позволяет рекомендовать следующий комплекс основных агрономических мероприятий по предотвращению эрозии почвы и потерь питательных веществ.

11.10. Изменение эрозионных потерь почвенной массы и питательных веществ под влиянием минеральных удобрений, кг/га в год (озимая пшеница на дерново-подзолистой почве)

Компоненты почвы	Неудобренный вариант	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀
Почвенная масса	4730	3500
Гумус	260	198
Азот	17,1	12,0
Фосфор	14,5	10,8
Калий	93	69

1. Разработка и освоение научно обоснованных специализированных с учетом степени эрозионной опасности почвозащитных севооборотов.
2. Система противозрозионной обработки почвы: безотвальная, плоскорезная, минимальная, полосная, контурная, гребнистая, ячеистая, чизелевание, щелевание почвы и т.д.
3. Внедрение контурного, террасного, полосного земледелия и комплекса противозрозионных мелиоративных мероприятий.
4. Использование пожнивных посевов, а также уплотненный посев почвозащитной культуры в междурядье основной (пропашной). Этот прием особенно эффективен на легких почвах.
5. Залужение посевами многолетних трав участков, сильно подверженных эрозии.
6. Правильный выбор форм, доз, сроков и способов внесения минеральных и органических удобрений – важное средство предотвращения потерь питательных веществ при смыве и выщелачивании почвы.
7. Применение полимеров-структурообразователей.

8. Повышение биологической активности и улучшение структуры микробоценоза почвы. Агрохимические средства оказывают существенное влияние на биологическую активность и улучшение структуры микробоценоза почвы. Воздействие удобрений на различные стороны биологических свойств агроэкосистемы может быть непосредственным и опосредованным, через изменение условий жизни растений и биоты почвы.

Непосредственно удобрения оказывают существенное влияние на регулирование процессов симбиотической и ассоциативной азотфиксации, регулирование фосфорного питания растений за счет использования везикулярно-арбускулярной микоризы (ВАМ) грибов и др., а также общей биологической и ферментативной активности почвы (рис. 11.2).

Хорошо известно положительное действие фосфорно-калийных и микроудобрений на симбиотическую азотфиксацию (табл. 11.11).

Что же касается симбиотического питания растений фосфором при использовании ВАМ-грибов, то исследования показали, что микориза не только способствует лучшему усвоению фосфора, но и повышает уровень использования этого элемента из применяемых удобрений. Дополнительное поглощение анионов фосфорной кислоты микотрофными растениями приводит и к увеличению поглощения азота.

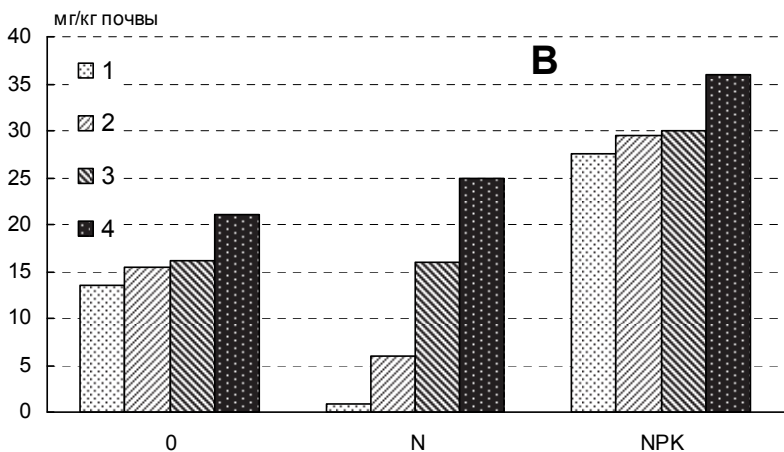
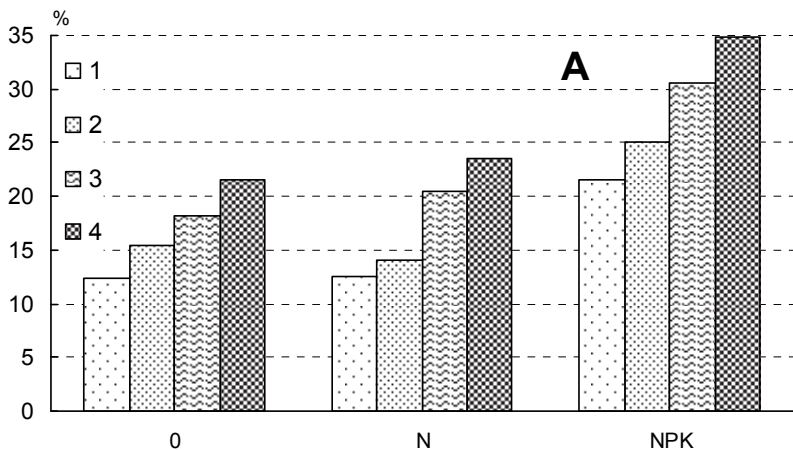


Рис. 11.2. Целлюлозолитическая активность почвы (А) и суммарное количество свободных аминокислот (В): 1 – кислая дерново-подзолистая почва, 2 – кислая почва + навоз, 3 – известкованная почва, 4 – известкованная почва + навоз

Растения клевера под влиянием микоризации лучше перезимовывали. Микоризованная пшеница практически не заболела корневой гнилью, а у растений пшеницы, зараженных патогенами, ВАМ-грибы снижали интенсивность болезни с 90 до 12 - 14%.

Если многоплановое воздействие ВАМ-грибов на выращиваемые сельскохозяйственные культуры пока еще изучено недостаточно, то симбиотическая азотфиксация – дар природы, который до сих пор в практике нашего земледелия недооценивается.

11.11. Влияние минеральных удобрений на азотфиксирующую способность многолетних бобовых трав 2-го года пользования (в среднем за 1980 - 1982) (Азаров, 1995)

Вариант	Урожай, ц/га	Масса растительных остатков в слое 0 - 50 см, ц/га	Количество фиксированного азота, кг/га	Коэффициент азотфиксации
<i>Клевер</i>				
без удобрений	58,5	66,3	106,5	0,67
P ₁₅₀	70,4	64,1	161,8	0,79
P ₁₅₀ K ₁₅₀	68,0	70,5	158,6	0,78
N ₆₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	68,4	60,9	91,5	0,44
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	73,6	61,9	38,7	0,18
<i>Люцерна</i>				
без удобрений	80,3	68,6	206,6	0,76
P ₁₅₀	102,3	67,6	286,8	0,86
P ₁₅₀ K ₁₅₀	102,4	75,7	268,4	0,86
N ₆₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	106,0	70,2	208,7	0,64
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	105,4	70,8	133,5	0,41
<i>Эспарцет</i>				
без удобрений	89,3	49,0	177,6	0,76
P ₁₅₀	89,1	50,9	205,0	0,80
P ₁₅₀ K ₁₅₀	90,0	55,8	195,5	0,80
N ₆₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	89,1	49,5	123,7	0,45
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	98,5	46,0	89,9	0,34
НСП _{0,5}	6,8 - 14,7	6,3	25,8	0,08

Невелик удельный вес, который бобовые культуры занимают в полевых и кормовых севооборотах, незначительны и площади пашни, занятой бобовыми, высеваемыми в качестве зелёного удобрения (сидератов). Еще Д.Н. Прянишников, хорошо представляя масштабы отечественного земледелия, обращал внимание на решение проблемы азота путем оптимального сочетания технической, органической и биологической его форм.

9. Повышение устойчивости культурных растений к грибным и другим болезням. Агрохимические средства оказывают существенное влияние на устойчивость растений к болезням и вредителям. Оно возможно в результате прямого или косвенного воздействия на культурное растение или патоген, стимулируя или ингибируя его развитие. Часто голодание растения от недостатка того или иного

питательного элемента одновременно вызывает развитие патогена, например бактериоз у льна при дефиците бора.

Основные макроэлементы по-разному действуют на развитие патогена. Избыточное одностороннее внесение азота или в составе с другими удобрениями часто увеличивает развитие многих грибных болезней. Оптимизация же доз азота с учетом вида, сорта и возраста растения, гидротермических условий, уровня содержания азота в почве, форм азотного удобрения, уровня окультуренности и других условий может существенно снизить или вовсе предотвратить ход патологического процесса.

Фосфор в одностороннем порядке или в сочетании с азотом и калием в большинстве случаев снижает вредоносность заболевания. Это объясняется тем, что фосфор способствует усиленному развитию корневой системы, что повышает устойчивость растений к неблагоприятным условиям их роста. Кроме этого оптимальное фосфорное питание усиливает синтез органических соединений в растениях, в том числе и склеренхимных тканей, что повышает сопротивляемость растений к внедрению паразита.

Калийные удобрения существенно сдерживают развитие грибных болезней на растениях, так как калий утолщает клеточные стенки, повышает прочность механических тканей, увеличивает рост и дифференциацию клеток камбия у высших растений. Все эти процессы способствуют повышению физиологической устойчивости растений против инфекционного поражения. Поэтому систему удобрения в севообороте необходимо строить и с учетом оптимального калийного питания растений.

Действие микроудобрений на развитие или торможение различных грибных заболеваний у растений изучено недостаточно. Однако известно, что микроэлементы оказывают существенное влияние на физиолого-биохимические процессы у микроорганизмов, в том числе и грибов, действуют на ферментативную активность дегидрогеназы, каталазы, протеолитических и амилитических ферментов. Для успешного развития многих грибов необходимо присутствие в питательной среде железа, цинка, марганца, меди, бора.

В связи с тем, что на разных типах почв имеется соответствующий набор подвижных микроэлементов, создаются и предпосылки для развития определенных групп и видов микроорганизмов, которые не будут обнаруживаться в других биогеоценозах или агрофитоценозах из-за избытка или недостатка того или иного микроэлемента.

Влияние удобрений на повреждение культурных растений вредителями менее изучено, однако установлена определенная связь между азотным удобрением и повреждением растений хлебным пилильщиком, вредной черепашкой, трипсом и другими вредителями. На фосфорно-калийном фоне повреждение растений вредителями бывает в меньшей степени. Все это требует комплексного много-стороннего подхода к исследованиям влияния различных химических средств на звенья природной среды при использовании их в земледелии.

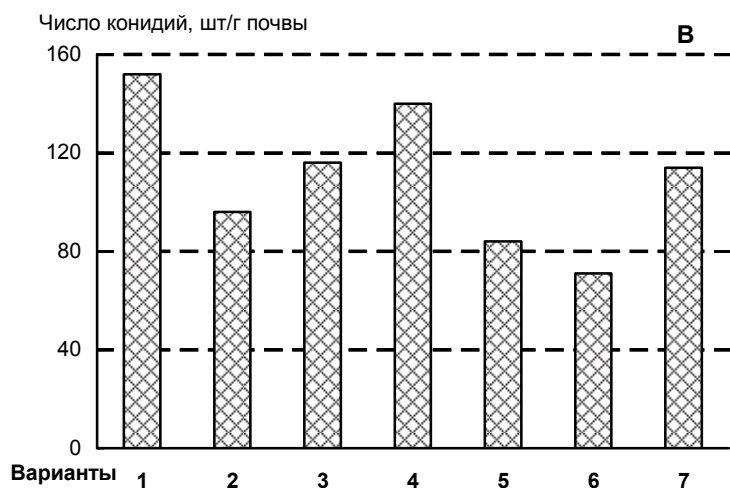
Оптимизация плодородия почвы и условий питания растений оказывает существенное влияние на повышение устойчивости растений к грибным патогенам, изменение инфекционного потенциала почвы (гельминтоспориоз зерновых, склеротиния подсолнечника и др.) (Е.П. Дурьнина). Фитозащитный эффект зависит от видов и форм удобрений (рис. 11.3).

Кроме того, существуют культуры с активным ингибирующим воздействием корневых эксудатов на репродуктивную способность фитопатогенов. Отмечена положительная роль минеральных удобрений в снижении развития фитопатогенов, в частности сапротрофных грибов в плодосмене.

Таким образом, и в биологическом аспекте четко проявляется экологическая функция агрохимии.

10. Улучшение химического состава и питательной ценности растениеводческой продукции. *Получение высококачественной продукции растениеводства – центральная проблема человечества в условиях нынешнего и будущего земледелия с возрастающими темпами химизации.*

Если применением удобрений и других агрохимических средств создаются оптимальные условия питания сельскохозяйственных культур, то имеются все предпосылки для получения высококачественной продукции. Например, оптимизация азотного питания озимой пшеницы позволяет практически во всех земледельческих зонах получать высокобелковое зерно, отвечающее требованиям по питательности и хлебопекарным свойствам. Правильное соотношение между макро- и микроэлементами в удобрениях, вносимых под сахарную свеклу, – реальный и эффективный путь увеличения сбора сахара за счет повышения сахаристости корнеплодов. То же можно сказать и о качестве клубней картофеля, повышении содержания жиров в семенах масличных культур, сахаров и витаминов в плодах и овощах и т.д.



Варианты опыта: 1 – контроль; 2 – KCl; 3 – KNO₃; 4 – K₂CO₃; 5 – K₂SO₄; 6 – калийная соль; 7 – KH₂PO₄

Рис. 11.3. Влияние форм калийных удобрений на сохранение *Helminthosporium sativum* в нестерилизованной дерново-подзолистой почве в течение 30 мес. при дефиците влаги в модельном опыте (А) и уровень инфицированности почвы *H. sativum* в оптимальных гидротермических условиях в модельном опыте (срок взаимодействия – 6 месяцев) (В)

Основными причинами отрицательного влияния удобрений на качество урожая являются нарушение оптимальных доз, соотношения питательных элементов в удобрениях без учета их содержания в почве, форм и сроков их внесения, что отрицательно влияет на метаболизм органических соединений, особенно на синтез аминокислот и белков в растениях. Одновременно в растениях накапливаются в избыточном количестве нитраты, нитриты, которые в кислой среде реагируют с вторичными аминами, образуя нитрозоамины, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами. В здоровых растениях при нормальном азотном питании нитраты и нитриты в свободном состоянии не накапливаются. Поступив в растения, они подвергаются процессам восстановления под действием нитратредуктазы и нитритредуктазы. Полученное промежуточное соединение – гидроксиламин или аммиак – связывается с органическими кислотами, которые превращаются в аминокислоты. Следовательно, нитраты могут накапливаться при избыточном их количестве в почве и при нарушенных биологических процессах в растении. Удобрение навозом или компостами как медленнодействующей формой азота приводит к меньшему содержанию нитратов в овощах по сравнению с эквивалентным количеством азота, внесенного с минеральными удобрениями.

Оптимизация азотного питания растений предусматривает и сроки внесения азотных удобрений в соответствии с биологическими требованиями растений. Это особенно важно учитывать при удобрении овощных культур и тех растений, у которых на питание используются вегетативные части. В процессе вегетации содержание нитратов в растениях снижается, поэтому убирать культуры, особенно овощные, необходимо в оптимальные сроки, а подкармливать азотом за 1,5 - 2 месяца до уборки урожая, чтобы растения смогли переработать поступившую нитратную форму азота.

Успешное использование растениями всех питательных элементов, поступивших через корневую систему, в том числе и утилизация нитратов, возможно при высокой фотосинтетической деятельности растений. Интенсивность света обуславливает активность фермента нитратредуктазы, обеспечивающего восстановление в растениях нитратов до аммония. При низкой освещенности процессы восстановления нитратов и образования аминокислот затормаживаются. Этим можно объяснить значительно большее содержание нитратов в овощах, выращенных в теплицах в зимнее время, чем в растениях открытого грунта.

Нарушение научно обоснованной технологии использования в земледелии различных видов органических удобрений также снижа-

ет качество продукции. Среднегодовая доза ежегодно вносимого навоза (без опасения ухудшения качества урожая и поедаемости корма) рекомендуется эквивалентной не более 200 кг азота на 1 га, а наиболее эффективный срок внесения навоза – осень, под зяблевую вспашку. Поскольку навоз влияет на ряд культур севооборота, то важно знать действие систематического использования высоких доз бесподстилочного навоза, а в сочетании его с соломой и минеральными удобрениями – действие на плодородие и свойства почвы, накопление в ней тяжелых металлов, образование гумуса и процессы его минерализации, на миграцию элементов питания растений по профилю почвы, загрязнение грунтовых вод нитратами и солями тяжелых металлов и другие вопросы, а также учитывать связь перечисленных показателей с комплексным воздействием на качество урожая всех культур севооборота.

Однако на качество растениеводческой продукции могут оказывать существенное влияние техногенное загрязнение природной среды токсическими веществами. Проявление токсического влияния тяжелых металлов на растение возможно разными путями. Это их денатурирующее действие на метаболически важные белки. Так как каталитическая и регуляторная роль белков для метаболической системы организмов является всеобъемлющей, нарушения могут захватывать самые различные звенья обмена. Возможен перевод фосфора в недоступную для метаболизма форму труднорастворимых фосфатов тяжелых металлов, а также конкуренция тяжелых металлов с необходимым элементом минерального питания, замена на специфических переносчиках и передатчиках этого элемента в метаболической цепи, что может привести к его дефициту. На почвах, загрязненных тяжелыми металлами, наблюдалось снижение урожайности зерновых культур на 20 - 30%, сахарной свеклы – на 35, бобовых – на 40, картофеля – на 47%.

Внесение агрохимических средств может вызвать в почве мобилизацию или иммобилизацию биогенных и токсических элементов и изменение качества урожая. В этом случае большая роль отводится гумусу почвы, который связывает тяжелые металлы в комплексные соединения хелатного типа, т.е. малодоступные для растений формы, снижая их токсичность. Этим можно объяснить частое отсутствие зависимости между содержанием тяжелых металлов и выносом их растениями на высоко гумусированных почвах.

Проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами вследствие интенсивного развития промышленности обостряется еще и в связи с тем, что почва не единственное звено биосферы, откуда растения черпают питательные и токсические элементы.

Они могут поступать в растения непосредственно из атмосферы некорневым путем, т.е. через листья.

Оптимизация свойств почвы и минерального питания растений способствует снижению уровня содержания тяжелых металлов в культурах.

Исследования и реализация научно обоснованных технологий возделывания основных сельскохозяйственных культур на основе диагностики минерального питания и оптимизации применения удобрений в нашей стране и за рубежом показали большие потенциальные возможности агрохимии не только в реализации генотипа конкретной культуры по продуктивности, но и в улучшении основных показателей качества продукции. И в этом трудно переоценить фундаментальное и прикладное экологическое значение агрохимии как науки, занимающей активные позиции в обеспечении постоянно растущего населения планеты высококачественными продуктами питания.

Удобрения выполняют многосторонние функции в земледелии, а многочисленные научные публикации, особенно за последние годы, подтверждают, что агрохимия является не только приоритетной прикладной, но и важной фундаментальной биолого-экологической наукой.

АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Основными направлениями агрохимического обеспечения современного земледелия являются следующие:

- научные исследования;
- агрохимический анализ почв, растений, удобрений, сельскохозяйственной продукции;
- производство, хранение и поставки удобрений;
- информационно-методическое обслуживание;
- нормативно-правовое регулирование;
- подготовка специалистов агрохимиков.

Интенсивное применение удобрений поставило ряд сложных проблем перед современным земледелием: определение правильных норм, сроков и способов внесения удобрений; повышение эффективности удобрений; увеличение коэффициента использования растениями питательных веществ из почвы и удобрений; экологическая оценка использования агрохимических средств.

При высоких нормах внесения минеральных удобрений увеличивается экологический и экономический ущерб от недостаточно обоснованного их использования.

В Российской Федерации существует следующая структура агрохимической службы (рис. 12.1).

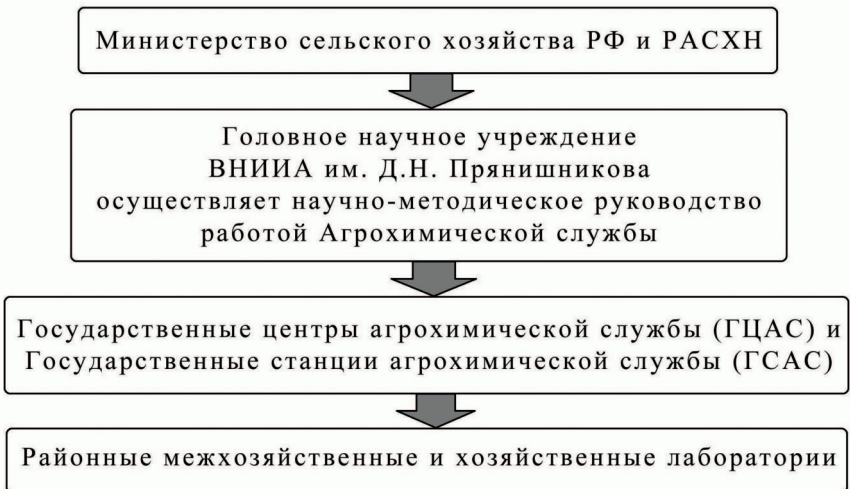


Рис. 12.1. Структура агрохимслужбы РФ

Агрохимические лаборатории обеспечивают сельскохозяйственные предприятия научно обоснованными рекомендациями по применению удобрений, проведению известкования почв и организации мероприятий по защите растений. По мере роста применения удобрений и средств химической мелиорации почв увеличивается объем транспортных работ, затраты на внесение удобрений в поле, их хранение и погрузочно-разгрузочные работы. Появляется необходимость создания специализированных организаций, которые принимают на себя работы, связанные с химизацией сельского хозяйства. Такие организации применяют высокопроизводительные машины и оборудование, имеют типовые склады для хранения минеральных удобрений, транспортные и погрузо-разгрузочные средства. Это позволяет обеспечивать совершенствование и оперативность освоения новейших агрохимических технологий.

АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Применение удобрений является одним из важнейших факторов интенсификации сельскохозяйственного производства.

Наиболее успешное развитие химизации земледелия в России осуществлялось в XX веке. Еще в 1926 - 1931 гг. по единой методике было заложено более 3800 опытов, в результате которых удалось собрать обширные сведения об эффективности использования удобрений в различных почвенно-климатических условиях.

В 1941 г. для научного обоснования применения удобрений была создана Географическая сеть опытов, которая способствовала развитию отечественной агрохимической промышленности.

В 1960-х гг. в стране был взят курс на интенсификацию сельского хозяйства, одним из основных направлений которой была химизация отечественного земледелия. Были разведаны крупные месторождения апатитов, фосфоритов, калийных руд, что способствовало развитию производства минеральных удобрений. Проводились масштабные исследования эффективности агрохимических средств, что позволило разработать стратегию интенсивной химизации земледелия.

В соответствии Постановлением Совета Министров СССР от 9 апреля 1964 г. № 319 «Об организации государственной агрохимической службы в сельском хозяйстве» была создана с агрохимическая служба в составе которой было 195 зональных лабораторий. Учреждения агрохимслужбы были сформированы на базе сельскохозяйственных опытных станций, зональных научно-исследовательских институтов, аграрных вузов. В тот же период

в ряде сельскохозяйственных высших учебных заведений были созданы факультеты агрохимии и почвоведения, которые начали подготовку кадров для системы агрохимслужбы.

На новую структуру агрохимслужбы были возложены функции которые включали в себя:

- агрохимическое обследование почв,
- проведение массовых анализов почвы, удобрений и растительности,
- составление агрохимических картограмм земель,
- разработку рекомендаций по рациональному применению удобрений,
- проведение полевых опытов с удобрениями,
- определение качества и питательной ценности кормов с выдачей рекомендаций по их использованию;
- контроль качества и условий хранения поставляемых сельскохозяйственным предприятиям удобрений и других средств химизации.

Методическое руководство и координацию работы агрохимслужбы на первых порах осуществляла ЦКАЛ – центральная контрольная агрохимическая лаборатория при ВИУА Позднее для развития и совершенствования методической основы работы системы Постановлением Совета Министров СССР от 21 мая 1969 г. №357 был создан Центральный институт агрохимического обслуживания (ЦИНАО).

В 1976 г. зональные агрохимические лаборатории преобразовали в проектно-изыскательские станции химизации сельского хозяйства. Перечень возложенных на них ранее задач был дополнен разработкой проектно-сметной документации на применение органических и минеральных удобрений, химическую мелиорацию почв, мелиоративную обработку солонцов и засоленных земель, а также на комплексное агрохимическое окультуривание почв.

Позднее в учреждениях агрохимслужбы были созданы радиологические и химико-токсикологические отделы, укомплектованные необходимым оборудованием и спецавтотранспортом.

С 1979 г. оказание производственных агрохимических услуг сельскохозяйственным предприятиям было возложено на Всесоюзное производственно-научное объединение по агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства («Союзсельхозхимия») и его республиканские, краевые, областные и районные подразделения. При этом научно-консультативные агрохимические услуги выполняли научно-исследовательские и проектно-технологические организации, в том числе 206 проектно-изыскательских станций химизации сельского хозяйства, которые влились в состав «Союзсельхозхимии».

На них было дополнительно возложено снабжение сельскохозяйственных предприятий средствами химизации и их прикрепление к заводам-поставщикам. В связи с этим учреждения агрохимслужбы провели большую работу по составлению областных схем размещения и строительства прирельсовых и хозяйственных складских помещений для хранения минеральных удобрений.

Совершенствование структуры агрохимического обслуживания сельскохозяйственных предприятий позволило обеспечить значительный прогресс в области химизации сельского хозяйства страны.

При этом рост производства минеральных удобрений с 3,9 млн т действующего вещества в 1965 г. до 17,3 млн т в 1985 г., а объёмы их поставок к 1985 г. достигли 12,7 млн т. Значительными темпами осуществлялась химическая мелиорация почв. Если в 1965 г. внесли всего 4,5 млн т известковых материалов в физической массе на площади 1,4 млн га, то к 1988 г. величины этих показателей достигли соответственно 43,8 млн т и 6,0 млн га. Площади гипсования солонцовых почв за этот же период увеличились в 7,5 раз (с 0,2 до 1,5 млн т).

На основании агрохимического обследования хозяйствам выдавали детальные проекты применения средств химизации, разрабатывали системы использования удобрений сельскохозяйственных культур и повышения плодородия почвы, зональные системы земледелия.

В 1991 г. проектно-изыскательские станции были реорганизованы в Государственные центры и станции агрохимической службы. Специалисты службы приступили к сплошному токсикологическому обследованию почв сельскохозяйственных угодий на содержание тяжелых металлов, радионуклидов, остаточных количеств пестицидов. Были развернуты работы по сертификации почв, сельскохозяйственной продукции и кормов

К сожалению, с началом «реформ» резко снизились объёмы внесения минеральных и органических удобрений. Если в 1987 г. они составляли 14,2 млн т действующего вещества, то в 1999 г. только лишь 1,1 млн т. В 2009 - 2013 гг. объём применения минеральных удобрений находился на уровне 2,3...2,4 млн т.

Наделение Министерства сельского хозяйства новыми полномочиями по государственному мониторингу земель сельскохозяйственного назначения повлекло за собой значительное расширение круга задач агрохимической службы. На нее возложены задачи комплексной оценки качественного состояния и целевого использования земель.

Агрохимическая служба с первых дней своего существования проводит мониторинг состояния плодородия почв, динамики агрохимических параметров и экологической безопасности земель сельскохозяйственного назначения. В последние годы учитывается более 30 показателей. Такой мониторинг по единым методикам, достоверно характеризует состояние почв, позволяет разработать и осуществить мероприятия по их эффективному использованию. В государственном масштабе данные агрохимического обследования земель сельскохозяйственного назначения служат основой для расчёта объёмов производства и применения необходимого ассортимента минеральных удобрений.

На долю сельскохозяйственных угодий приходится около 13% огромной площади земельного фонда Российской Федерации. Состояние почвенного покрова агроэкосистем характеризуется большим количеством неблагоприятных параметров, ограничивающих потенциал продуктивности. Главными лимитирующими факторами в большинстве случаев являются недостаток гумуса, доступных форм макро- и микроэлементов, повышенная кислотность, а в ряде регионов и засоление почв. Это требует оптимизации сочетания агрохимических и мелиоративных работ.

Агрохимическое обеспечение современного земледелия предусматривает прежде всего сохранение и восстановление плодородия почв в агроэкосистемах. Оно должно осуществляться на основе оптимального сочетания комплекса агрономических и мелиоративных приемов и инновационных технологий.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ АГРОХИМИЧЕСКАЯ СЛУЖБА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Заслуживает внимания опыт агрохимического обеспечения современного земледелия в Республике Беларусь.

Основной задачей *Государственной Агрохимической службы Республики Беларусь* является периодический контроль за состоянием агрохимических показателей плодородия почв и проведение комплекса мероприятий по их улучшению.

Деятельность Агрохимической службы осуществляется по двум направлениям:

1. Контроль за состоянием плодородия почв, разработка рекомендаций по известкованию кислых почв и эффективному использованию минеральных и органических удобрений.

2. Проведение работ по централизованному обеспечению хозяйств республики минеральными удобрениями, внесение известковых удобрений (за счет госбюджета страны), органических

и минеральных удобрений, средств химической защиты растений (по договорам с хозяйствами).

Общее руководство осуществляет Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

Работу по первому направлению проводят 6 областных проектно-изыскательских станций по химизации сельского хозяйства (по числу областей) и 118 районных агрохимических отделов (по числу районов).

Работы по второму направлению возложены на ОАО «Бел-агрохимсервис», которое имеет 6 областных и 118 районных структур.

ОАО «Белагрохимсервис» имеет на своем балансе склады для хранения твердых и жидких минеральных удобрений, пылевидных материалов (доломитовая мука) и технику для внесения перечисленных средств химизации.

Основными в структуре Агрохимической службы республики являются областные проектно-изыскательские станции по химизации сельского хозяйства и механизированные отряды ОАО «Белагрохимсервис».

Комплексное агрохимическое обслуживание сельского хозяйства включает следующие вопросы:

- ♦ определение потребности сельскохозяйственных предприятий республики в минеральных удобрениях, пестицидах и других химпрепаратах, технике по их применению и организацию снабжения ими хозяйств;
- ♦ добыча торфа (сапропелей и т.д.) на удобрение и проведение культуртехнических работ;
- ♦ повышение плодородия и химическая мелиорация;
- ♦ выполнение работ по внесению органических и минеральных удобрений;
- ♦ обработка посевов сельскохозяйственных культур химическими и биологическими средствами защиты растений;
- ♦ проведение почвенно-агрохимических исследований, а также анализа кормов и другой сельскохозяйственной продукции;
- ♦ разработка проектно-сметной документации по эффективному использованию средств химизации в земледелии, животноводстве и кормопроизводстве;
- ♦ внедрение достижений науки в сельскохозяйственное производство;
- ♦ разработка и внедрение экономико-математических методов и автоматизированных систем управления химическим обслуживанием;
- ♦ наблюдение за фитосанитарным состоянием сельскохозяйственных угодий;

- ♦ разработка и внедрение прогрессивных технологий и методов борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных растений;
- ♦ государственный контроль за качеством выполнения всех агрохимических работ, соблюдением землепользователями требований по охране окружающей среды от загрязнения пестицидами и удобрениями.

Для агрохимического обслуживания сельского хозяйства в 1964 г. была создана *единая специализированная агрохимическая служба*. До 70-х годов агрохимическая служба выполняла в основном консультативные функции и не несла ответственности за использование колхозами и совхозами удобрений и других средств химизации.

В 1978 г. областные зональные агрохимические лаборатории были преобразованы в *областные проектно-изыскательские станции химизации*.

В целях совершенствования агрохимического обслуживания хозяйств было создано *производственно-научное объединение "Белсельхозхимия"*, а в областях и районах – *производственные объединения*. В областные производственные объединения вошли областные проектно-изыскательские станции химизации и станции защиты растений, в районные – агрохимические отделы и районные станции защиты растений. Научное руководство агрохимическим обслуживанием осуществляли Белорусский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии и Белорусский научно-исследовательский институт защиты растений.

Постепенно станции химизации в производственных структурах объединений "Сельхозхимия" ослабили государственный контроль за применением средств химизации и плодородием почв и все больше выполняли функции подрядчика, работающего по заявкам колхозов и совхозов на химико-аналитические работы.

После реформирования Госагропрома в Республики Беларусь в составе последнего в 1991 г. в составе Министерства сельского хозяйства и продовольствия было организовано *Управление агрохимии и защиты растений*. В областях и районах руководство агрохимическими службами осуществляют *комитеты по сельскому хозяйству и продовольствию облисполкомов и райисполкомов*. Непосредственно Министерству сельского хозяйства и продовольствия подчинены Республиканская контрольно-токсикологическая лаборатория и Республиканская лаборатория биологического метода защиты растений.

Областным комитетам по сельскому хозяйству и продовольствию подчиняются *областные проектно-изыскательские станции химизации сельского хозяйства, станции защиты растений с контрольно-токсикологическими лабораториями и специализированными лабораториями* для выявления очагов картофельной нематоды и рака картофеля, а также лаборатории биологического метода защиты растений. Районные станции защиты растений и агрохимические отделы, входившие в районные объединения "Сельхозхимия", с 1991 г. вошли в состав областных станций защиты растений и проектно-изыскательских станций химизации сельского хозяйства на правах их филиалов, Структура агрохимической службы Республики Беларусь представлена на рис. 12.2.



12.2. Структура агрохимической службы Республики Беларусь

Отраслевые научно-исследовательские институты не находятся в подчинении Управления агрохимии и защиты растений, но тесно сотрудничают с агрохимическими службами.

Республиканскому и областным производственным объединениям "Белагροхимсервис" приданы функции подрядчика по поставкам средств химизации при Министерстве сельского хозяйства и продовольствия, районные производственные объединения "Сельхозхимия" реформированы в «Райагропромсервис». Кроме этих подразделений в систему агрохимического обслуживания сельского хозяйства входят районные механизированные отряды, пункты химизации хозяйств, постоянные и сезонные отряды плодородия, а также предприятия и подразделения сельскохозяйственной авиации. В районах и крупных хозяйствах работают межхозяйственные и хозяйственные агрохим-лаборатории.

Проектно-испытательские станции химизации сельского хозяйства являются связующим звеном между наукой и производством. Главная их задача – организация эффективного применения удобрений и других средств химизации в сельскохозяйственных предприятиях.

Они проводят с периодичностью четыре года крупномасштабное агрохимическое, а при необходимости и радиологическое обследование почв, защищенных грунтов в овощеводстве, составляют агрохимические картограммы и паспорта полей, организуют и контролируют изменение плодородия почв;

- разрабатывают проектно-сметную и другую документацию по применению средств химизации, комплексному агрохимическому окультуриванию полей;

- проводят полевые и производственные опыты с удобрениями, химическими мелиорантами и другими средствами химизации, разрабатывают по результатам опытов нормативы распределения и внесения химических средств;

- организуют и выполняют работы по комплексной диагностике питания растений, внедрению в производство интенсивных технологий, эффективных способов использования средств химизации, технологий их внесения, новых форм и видов удобрений и химических мелиорантов;

- осуществляют надзор за использованием средств химизации в строгом соответствии с проектно-сметной и другой нормативной и технологической документацией, а также контроль за качеством агрохимических работ, правильным хранением средств химизации и их учётом;

- выполняют арбитражные и контрольные анализы удобрений, извести, почв, торфа и других местных удобрений, кормовых добавок, кормов;

- организуют работы межхозяйственных районных комплексных агрохимических лабораторий по диагностике питания растений и кормов в хозяйствах;

- оценивают агрономическую и экономическую эффективность применения удобрений и других средств химизации в производственных условиях;

- изучают баланс питательных элементов в земледелии для обоснования распределения и поставок минеральных удобрений;

- обобщают, пропагандируют и внедряют в производство достижения науки и передовой практики в области химизации сельского хозяйства.

Финансирование работ по крупномасштабному агрохимическому обследованию почв осуществляется за счет госбюджета и частично за счет хозяйств.

Одна из важнейших функций проектно-изыскательских станций химизации сельского хозяйства – государственный контроль за соблюдением землепользователями требований по охране окружающей среды. Для этого проводятся анализы на содержание пестицидов в почве и растениях, нитратов, тяжелых металлов и радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и питьевых источниках. Контролируется соблюдение мер безопасности при проведении работ со средствами химизации.

В состав проектно-изыскательских станций входят: отдел агрохимических исследований, аналитический отдел, отдел планирования и использования удобрений и проектно-технологической документации, отдел изыскательских работ по сельскохозяйственной радиологии и токсикологических исследований.

Областные объединения ОАО «Белагροхимсервис» осуществляют на тендерной основе закупку минеральных удобрений, средств химической защиты растений для хозяйств республики.

Районные производственные объединения "Райагропромсервис", пункты и механизированные отряды химизации в сельскохозяйственных предприятиях, подразделения сельскохозяйственной авиации образуют производственную базу химизации.

Материально-техническая база этих подразделений включает: прирельсовые и хозяйственные склады для хранения средств химизации; аэродромы сельскохозяйственной авиации; мастерские технического обслуживания и ремонта и т.д.

Районные производственные объединения "Агропромсервис" – это самостоятельные в хозяйственном и юридическом отношении специализированные организации, выполняющие работы по агрохимическому обслуживанию колхозов, совхозов и других сельскохозяйственных предприятий района, включая их материально-техническое обеспечение. Взаимоотношения районных объединений "Агропромсервис" с хозяйствами строятся на принципах рационального разделения труда. Обязательными функциями РО "Агропромсервис" являются: прием удобрений и других химических средств от поставщиков, хранение их на прирельсовых складах, доставка в хозяйства, реализация рекомендаций агрохимической службы и службы защиты растений, оформление заказов на средства химизации и др. В большинстве случаев они также проводят заготовку торфа, известкование кислых почв и выполняют другие масштабные и трудоемкие работы, имеющие большое народнохозяйственное значение и требующие мощной специальной техники, которую нецелесообразно иметь в каждом хозяйстве. Другие виды работ по агрохимическому обслуживанию выполняются по заявкам хозяйств. В структуру районных объединений "Агропромсервис", как правило, входят отдел применения органических, минеральных, известковых удобрений, защиты растений и улучшения земель (два механизированных отряда); автопредприятие; база снабжения химической продукцией (приемка, хранение на прирельсовых складах и реализация сельскохозяйственным предприятиям).

Сельскохозяйственные предприятия ежегодно заключают с РО "Агропромсервис" договоры на выполнение работ, в которых оговариваются обязательства и ответственность сторон; порядок сдачи и приемки выполненных работ; цены, порядок расчета, дополнительные условия. За нарушение договора стороны несут материальную ответственность.

Сельскохозяйственные предприятия, располагающие достаточными трудовыми, материальными и финансовыми ресурсами, работы по внесению удобрений, средств защиты растений и т.д. выполняют сами. В них создаются свои пункты и отряды химизации или на кооперативной основе организуются межхозяйственные пункты химизации.

Пункты химизации сельскохозяйственных предприятий как хозрасчетные подразделения строят свою работу на основе годового производственного хозрасчетного задания и оперативных плановых заданий по основным периодам года: весенне-полевые работы и сев, уход за посевами; осенне-полевые работы и сев озимых. На каждый период планируются объемы работ и лимиты прямых затрат,

рассчитывается себестоимость предстоящих работ. Потребность в технике и рабочей силе устанавливается по технологическим картам. Пункт химизации, как правило, имеет три специализированных звена: по заготовке, вывозке и внесению органических удобрений; применению минеральных удобрений; по защите растений от вредителей и болезней. Возглавляет его агроном-агрохимик, который подчиняется главному агроному хозяйства. В штат пункта входят агроном по защите растений, заведующий складом химических средств, рабочие склада. За пунктом химизации закрепляются склады для хранения минеральных удобрений и пестицидов, взлётно-посадочная площадка для сельскохозяйственной авиации, навесы для хранения техники, склад топлива и смазочных материалов, а также временно, на период работ, соответствующая техника.

Работники пункта химизации ответственны за рациональное использование удобрений и средств защиты растений и их сохранность. Они организуют работу по приготовлению компостов и их внесению, вместе со специалистами проектно-изыскательской станции химизации проводят отбор проб почв, удобрений и растений; ведут учет эффективности применения удобрений и средств защиты растений; контролируют качество и сроки работ, выполняемых в хозяйстве РО "Агропромсервис", соблюдение требований охраны окружающей среды при использовании удобрений и средств защиты растений, техники безопасности.

Основная форма организации использования самолетов и вертолётов в сельском хозяйстве – авиационные отряды в областях. Это экономически и юридически самостоятельные предприятия, входящие в состав территориальных управлений Министерства транспорта.

Внедрение интенсивных технологий в растениеводстве повысило зависимость урожайности сельскохозяйственных культур и качества продукции от условий применения средств химизации. В соответствии с комплексной программой химико-аналитического обеспечения технологий сельскохозяйственного производства в системе Министерства сельского хозяйства и продовольствия создана *единая аналитическая система*, включающая проектно-изыскательские станции химизации, станции защиты растений, районные межхозяйственные агрохимические лаборатории и хозяйственные экспресс-лаборатории. Это позволяет специалистам хозяйств оперативно получать информацию для регулирования питания растений, воздействовать на качество сельскохозяйственной продукции, эффективно использовать химические средства. Главным звеном в этой системе являются районные межхозяйственные агрохимические лаборатории и экспресс-лаборатории хозяйств.

Районные межхозяйственные агрохимические лаборатории являются юридически самостоятельными организациями. Они проводят анализы произведенной, хранящейся и реализуемой сельскохозяйственной продукции. Районные лаборатории контролируют качество удобрений, химических мелиорантов; проводят почвенную, тканевую и листовую диагностику питания растений; определяют содержание в них нитратов, нитритов и других вредных веществ в сельскохозяйственной продукции и кормах, радионуклидов в почве, кормах, растениях и органических удобрениях; выдают хозяйствам сертификаты качества продукции растениеводства; осуществляют оперативный контроль для устранения нарушений технологий выращивания, заготовки, уборки, хранения, реализации сельскохозяйственной продукции и кормов; оказывают помощь хозяйствам при определении потребности в измерительном оборудовании, внедрении стандартов, управлении качеством продукции, в обучении кадров, вместе с госинспекцией по качеству продукции и стандартизации участвуют в арбитраже и суде при разрешении споров о качестве продукции, возникающих между сельскохозяйственными предприятиями и заготовительными организациями. В обязанности лабораторий входит обобщение результатов аналитического контроля и предоставление информации вышестоящим органам; участие в разработке и выполнении территориальных программ «Качество».

Районную межхозяйственную агрохимическую лабораторию возглавляет заведующий лабораторией, который назначается (и освобождается) начальником районного управления сельского хозяйства и продовольствия. Общее руководство лабораториями осуществляют районные управления сельского хозяйства райисполкомов, методическое – областные проектно-изыскательские станции химизации сельского хозяйства.

Комплексные агрохимические лаборатории хозяйств контролируют качество сельскохозяйственной продукции в процессе её выращивания, заготовки и хранения для предупреждения и устранения нарушений технологии. Лаборатория является структурным подразделением хозяйства и подчиняется его руководителю. Методическое руководство, контроль за точностью проведения анализов, обучение специалистов и лаборантов осуществляет районная агрохимическая лаборатория, в отдельных случаях – областная проектно-изыскательская станция химизации сельского хозяйства. Лаборатория руководствуется государственными стандартами, техническими условиями, инструкциями по определению качества продукции, другими нормативными документами, а также положением о лаборатории, утвержденным администрацией хозяйства. Приборы, оборудование,

химические реактивы лабораториям поставляет объединение «Зооветснабпром», другие организации – по заявкам хозяйств.

Агрохимлаборатории хозяйства должны не дублировать, а дополнять работу районных лабораторий и проектно-изыскательских станций. Как правило, в лабораториях хозяйств работают заведующий и два-три лаборанта. Результаты анализов, проведенных лабораторией, являются основанием для начисления дополнительной оплаты за качество работникам других подразделений хозяйства. Кроме оперативного контроля за качеством растениеводческой продукции, кормов хозяйственная лаборатория проводит почвенную и растительную диагностику минерального питания растений, при необходимости определяет кислотность и содержание подвижных форм элементов питания в почве; проверяет качество органических, минеральных и известковых удобрений; отбирает и отправляет пробы в районную лабораторию или проектно-изыскательскую станцию химизации для сложных анализов.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ АГРОХИМИЧЕСКАЯ СЛУЖБА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Агрохимическая служба в Республике Казахстан начала развиваться с 2003 года. Первым был создан, как Государственное учреждение «Республиканский научно-методический центр агрохимической службы» (ГУ «РМНЦАС») при МСХ РК с целью реализации государственной политики в области сохранения и повышения плодородия земель сельскохозяйственного назначения и агрохимического обслуживания сельского хозяйства.

На ГУ «РМНЦАС» возложены следующие функции:

1. Проведение комплексного агрохимического обследования и мониторинг агроэкологического состояния почв. Разработка нормативно-технической документации, технических условий и рекомендаций по агрохимическому обеспечению сельского хозяйства;

2. Реализация государственной политики в области химизации земледелия, обеспечения агрохимического обслуживания сельского хозяйства путем государственного регулирования деятельности землепользователей в части рационального использования, сохранения и воспроизводства плодородия земель и получения качественной продукции;

3. Мониторинг состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения, контроль за соблюдением правил, стандартов, норм, регламентов при проведении агрохимических мероприятий;

4. Усовершенствование методов анализа почвенных и растительных образцов;

5. Разработка рекомендаций по применению экологически целесообразных и экологически безопасных доз агрохимикатов в различных почвенно-климатических зонах Республики ;

6. Прогнозирование динамики и разработка мероприятий по сохранению и воспроизводству почвенного плодородия;

7. Экологическая и санитарно-медицинская оценка сельскохозяйственной продукции;

8. Государственное регистрационное испытание и оценка новых агрохимикатов;

9. Разработка концепций агрохимического обеспечения агропромышленного комплекса;

10. Пропаганда знаний в области агрохимии;

11. Разработка и внедрение информационных технологий для своевременного обеспечения пользователей необходимой агрохимической информацией;

12. Разработка и выдача землепользователям технологической информации по эффективному и экологически безопасному применению средств химизации и управлению плодородием почв.

В структуре Центра имеются отделы:

- научно-методического обеспечения агрохимических исследований ;
- агрохимических анализов;
- динамики и прогноза плодородия почв и картографии;
- информационного обеспечения;
- лаборатория полевого обследования и мониторинга плодородия почв;
- организационно-правовой работы финансирования и учёта;
- производственно-хозяйственный;
- Западный региональный филиал (г. Уральск);
- Северо-Восточный региональный филиал (г. Павлодар);
- Юго-Восточный региональный филиал (г. Талдыкорган);
- Южный региональный филиал (г. Шымкент);

ГУ «РМНЦАС» проводит агрохимическое обследование за счёт бюджетных средств, а так же по заявке землепользователей на платной основе.

ГУ «РМНЦАС» по согласованию с управлениями сельского хозяйства областей составляются ежегодные планы проведения обследования, в которых предусматриваются:

- 1) объем площадей пашни, подлежащих обследованию;
- 2) очередность проведения работ по районам области;
- 3) периодичность агрохимического обследования почв.

Перед проведением агрохимического обследования почв за счет бюджетных средств ГУ выдает собственникам земельных участков уведомление об агрохимическом обследовании почв.

По всем показателям, определяемым при проведении агрохимического обследования составляются агрохимические картограммы.

При нанесении сетки элементарных участков на картографическую основу необходимо, чтобы их границы совпадали с границами элементарных участков предыдущего обследования, координатами спутниковой системы навигаций.

С каждого элементарного участка отбирают объединенную пробу из 20 - 25 точечных проб.

Результаты агрохимического обследования почв обобщаются на уровне хозяйства, района, области, республики.

В 2003 году была разработана Программа развития АПК предусматривающая увеличение объемов поставок и внесение удобрений. Определена полная потребность Республики в удобрениях – более 1 млн тонн.

В последние годы Государством предпринимаются ряд мер направленных на улучшение ситуации. Так, в Программе по развитию АПК РК на 2013 - 2020 гг. намечены меры по повышению объёмов субсидируемых удобрений для землепользователей. Принят ряд постановлений ужесточающих ответственность землепользователей за снижение показателей плодородия почв по результатам агрохимического мониторинга. Это возлагает высокую ответственность и на агрохимическую службу за качество обслуживания.

ОСОБЕННОСТИ АГРОХИМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

В последние годы во многих странах мира активно ведутся научные исследования и внедряются в практику сельскохозяйственного производства системы точного земледелия (precision agriculture). Основная задача таких систем – адаптировать современные технологии возделывания сельхозкультур к пространственной и временной вариабельности параметров плодородия почв в границах одного поля.

Если агрохимические и агрофизические показатели качества и плодородия почв значительно отличаются в пределах одного поля, то затраты на новую технологию с большой вероятностью окупятся. Следовательно, первым необходимым шагом при переходе на новую технологию является объективная оценка пространственной вариабельности.

Агрохимическое обследование в точном земледелии

Известно, что при внесении минеральных удобрений определяющее значение для расчета доз удобрений под конкретную культуру имеют такие характеристики почв полей как гранулометрический состав, кислотность, подвижные формы фосфора и калия, органическое вещество, плотность, влагообеспеченность, гидролитическая кислотность, сумма поглощенных оснований (N, P, K, гумус, рН и др.). Для определения значений этих показателей проводится регулярное обследование почв.

При традиционном агрохимическом обследовании почв результаты указываются в среднем по полю, без учета пространственной variability.

Последние достижения науки и техники, особенно в области информационных технологий, позволяют выйти на качественно новый уровень обследования почв. Для применения технологии точного земледелия необходимо проводить обследование почв, используя датчики, приборы и мобильные информационные системы, позволяющие исследовать variability пространственно-ориентированных характеристик почвенного и растительного покровов, в том числе конечного урожая в пределах конкретного поля.

Для агрохимического обследования «точным» способом используется мобильный автоматизированный комплекс, оснащенный навигационным прибором, бортовым компьютером, автоматическим пробоотборником и специальным программным обеспечением. Применение современных технологий позволяет получать более точные карты пространственного распределения агрохимических показателей внутри каждого поля.

Первым этапом агрохимического обследования является определение размеров и границ элементарных участков, с которых будут браться объединенные пробы почв.

Количество элементарных участков внутри поля определяется на основе почвенных карт, рельефа местности, пестроты состояния посевов, агрохимических материалов предыдущего обследования.

Электронная карта поля с пронумерованными элементарными участками заносится в бортовой компьютер мобильного автоматизированного пробоотборника.

При отборе проб оператор, двигаясь внутри элементарного участка, делает 10 - 15 уколов автоматическим пробоотборником, останавливаясь при каждом уколе. На панели бортового компьютера записывается пройденный путь и сохраняется в памяти компьютера.

Программное обеспечение позволяет также осуществлять навигацию к отмеченной в бортовом компьютере оператором точке на поле. При этом на дисплее будет указываться направление и расстояние до точки. Это удобно при движении к месту последней взятой пробы для продолжения работ или к проблемному участку, где необходимо провести дополнительные исследования.

Отобранные и маркированные пробы почв передаются в агрохимическую лабораторию для анализа. После выполнения анализов из лаборатории выдается ведомость, где указаны агрохимические показатели соответствующие номерам проб.

Результаты анализа вводятся в компьютер, в специальную программу и обрабатываются.

Полученные пространственно-ориентированные карты распределения каждого агрохимического показателя позволяют видеть и учитывать при расчетах доз и видов удобрений каждый элементарный участок.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений

Для дифференцированного внесения минеральных удобрений используется специальное программное обеспечение, навигационные приборы, бортовые компьютеры и специальное бортовое программное обеспечение. На основании полученных карт по агрохимическим показателям автоматически проводится расчет доз для каждого элементарного участка по заранее составленной формуле. Программы в которых делаются подобные карты и проводятся расчеты доз удобрений, обладают встроенным редактором формул, который позволяет осуществлять достаточно сложные расчеты, где учитываются вид удобрений, вынос элементов питания предшествующей культурой, планируемая урожайность, наличие влаги в метровом слое почвы, ограничения, которые накладываются на внесение удобрений (например максимально возможная доза) и т.д.

После расчета доз удобрений составляется электронная карта-задание для соответствующего механизированного агрегата по внесению удобрений, которая размещается в бортовом компьютере.

Электронные системы управления устройством сельхозмашин по регулированию доз удобрений обеспечивают точное дифференцированное внесение удобрений по каждому элементарному участку поля в соответствии с картой-заданием.

АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В СТРАНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА

Общая схема организации агрохимического обслуживания сельского хозяйства охватывает научно-исследовательские учреждения, государственную консультативную службу, государственные и частные агрохимические лаборатории, систему оптовых и мелких кооперативов, проводящих затаривание, транспортировку, хранение и поставку удобрений фермерам, крупные фирмы и компании, производящие удобрения.

Разработкой методик способов применения, расчёта доз макро- и микроудобрений удобрений занимаются институты и университеты. Исследуются изменения химических, физических и биологических свойств почвы в результате применения минеральных и органических удобрений, влияние климатических условий на эффективность удобрений.

Многие научные темы в исследовательских учреждениях выполняются по заказу различных государственных служб сельскохозяйственных ведомств, которые являются посредниками между научными учреждениями и фермерскими хозяйствами, осуществляют консультативную помощь фермерам.

Консультанты посещают фермерские хозяйства для оказания соответствующей помощи, обучают фермеров методам отбора проб почвы и растений для их отправки на анализ, консультируют по вопросам использования удобрений.

В Нидерландах, например, фермеры считают необходимым проводить регулярные анализы почв и осуществляют их в среднем через каждые 4 - 5 лет. Отобранные пробы почв и растений отправляют в центральную агрохимическую лабораторию, которая проводит их анализ и составляет рекомендации по применению удобрений с помощью ЭВМ, которые отсылаются фермеру-заказчику и в местную консультативную службу, где полученные данные из года в год накапливают и обобщают для выявления общих закономерностей применения удобрений и их эффективности.

В Германии, данные анализа почв отсылают в три адреса: заказчику, сельскохозяйственной школе, консультанту-советнику. Конкретные рекомендации по применению удобрений для фермеров составляют советники. Рекомендации готовят на основе результатов агрохимического анализа почвы, основных рекомендаций научных учреждений и результатов местных опытов по применению удобрений, а также с учётом интенсивности ведения производства и соотношения цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию.

В последние годы перед агрохимическим анализом почв в Германии возникают новые задачи. Большую актуальность приобретает определение возможного накопления в почвах химических веществ, особенно в плодоводстве, овощеводстве и виноградарстве при применении высоких доз удобрений.

Основной особенностью агрохимического обслуживания земледелия Великобритании является то, что все работы, включая взятие проб и проведение агрохимического анализа почв, осуществляет служба консультирования и развития сельского хозяйства. Агенты этой службы берут пробы почв, передают их на анализ и по данным анализов разрабатывают конкретные планы применения удобрений. Все работы, в том числе и анализы почвы, проводят за счёт консультативной службы. Такая организация проведения агрохимического обслуживания имеет ряд преимуществ:

- ♦ обеспечивает квалифицированный отбор почвенных проб, без чего невозможно получить достоверные данные о содержании питательных веществ в почве;
- ♦ точно и правильно формулирует задачи проведения анализа;
- ♦ позволяет при разработке конкретных рекомендаций учитывать цели и финансовое положение хозяйств.

Бесплатное проведение агрохимического анализа почв облегчает проведение работы сельскохозяйственным агентам, так как даёт возможность получить данные о плодородии земель на всей территории независимо от финансового положения владельца того или иного земельного участка. Последнее позволяет агентам консультативной службы разрабатывать программы применения удобрений для всех хозяйств на основе объективных данных.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Мероприятия по применению удобрений в сельском хозяйстве должны быть экономически выгодны и энергетически целесообразны. В нашей стране удельный вес удобрений в приросте урожая в Чернозёмной зоне составляет 40 - 50%, в Нечерноземной зоне, где преобладают менее плодородные дерново-подзолистые и серые лесные почвы, – до 60 - 75, в Средней Азии на орошении – до 50 - 60%. Для разработок более прогрессивных, менее энергозатратных приёмов и технологий применения удобрений важна комплексная их оценка с учетом агрономической, экономической и энергетической эффективности.

В настоящее время широко распространено определение лишь агрономической эффективности применения удобрений, например окупаемость 1 ц удобрений NPK дополнительной продукцией. Но в связи с переходом многих сельскохозяйственных предприятий на полный хозяйственный расчет и самофинансирование все большее распространение получает экономическая эффективность применения удобрений. Сущность хозрасчета – осуществление простого или расширенного воспроизводства в предприятиях за счет собственных ресурсов, получаемых от реализации продукции. Самофинансирование – развитие хозяйства за счет собственных средств. Переход на хозрасчет требует выявления и мобилизации всех имеющихся резервов рачительного ведения производства. Это важнейшее условие подготовки любого хозяйства к переходу на самофинансирование.

Оценка энергетической эффективности применения удобрений имеет пока ограниченное применение.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Анализ фактической окупаемости, оплаты и экономической эффективности применения удобрений позволяет выявить резервы их повышения в условиях сельскохозяйственного производства на разных уровнях управления: хозяйство, район, область. Экономическая эффективность минеральных удобрений определяется для отдельных культур, а если необходимо – то в целом по растениеводству, органических – по растениеводству. Усредненные показатели экономической эффективности минеральных и органических удобрений определяются в целом по отрасли растениеводства.

При определении фактической экономической эффективности отдельных культур оценивают прибавку урожая по текущим ценам. Это позволяет выявить целесообразность вложений в полученную прибавку урожая от удобрений.

Если эффективность удобрений определяется в динамике по годам или пятилетиям при сопоставлении фактической и нормативной оплаты удобрений урожаем, оценка производится в сопоставимых ценах определенного конкретного года.

Хозяйственная эффективность определяется путем сравнения производства продукции с применением удобрений и без их применения на основе следующих показателей: выход продукции на единицу примененных удобрений, производительность труда, себестоимость продукции, чистый доход и рентабельность производства. Если стоит задача, например, установить экономически обоснованные дозы применения удобрений, число показателей можно ограничить. В этом случае достаточно определить выход дополнительной продукции на единицу питательного вещества или на 1 рубль затрат, связанных с применением удобрений, а также величину чистого дохода с 1 га удобряемой площади.

При определении фактической эффективности применения удобрений в хозяйстве в основу расчетов принимают внесенное их количество под соответствующую культуру и данные статистического и бухгалтерского учета об урожайности культур, себестоимости продукции, ценах реализации, затрат труда и т.д. Наиболее устойчивые и объективные показатели эффективности применения удобрений получают при анализе данных урожаев и прибавок, доходов и издержек за четыре-пять лет и более.

Экономическую эффективность минеральных удобрений на перспективу рассчитывают на основе технологических карт возделывания и уборки сельскохозяйственных культур, планируемых показателей урожайности, годовых доз внесения минеральных удобрений и прибавок урожая от их использования. Наиболее достоверный метод оценки эффективности применяемых удобрений – производственный опыт. Он проводится по общепринятой методике. При этом все факторы (плодородие почвы, ее обработка, рельеф, сорт возделываемой культуры, предшественник, агротехника), кроме изучаемого, обязательно должны быть сопоставлены, т.е. должны строго соблюдаться принципы единственного различия.

**Порядок определения показателей экономической
эффективности применения удобрений:**

1. Определение размера прибавки урожая. Размер прибавки урожая с 1 га ($У_{уд}$) может быть подсчитан по формуле

$$У_{уд} = (У_{ф} - Д_{уд}) : 100,$$

где $У_{ф}$ – фактический урожай в хозяйстве, районе, области, ц/га; $Д_{уд}$ – доля участия удобрений во всем урожае, определенная по средне-многолетним данным полевых опытов с удобрениями, %. Прибавку урожая от применения удобрений можно определить по: данным производственных опытов; нормативам затрат удобрений на единицу прибавки урожая (табл. 12.1); материалам экономико-статистического анализа, включая использование электронно-вычислительной машины.

**12.1. Примерные нормативы затрат удобрений на единицу
прибавки урожая и окупаемости удобрений**

Культуры	Затраты питательных веществ удобрений, кг на 1 т урожая				Окупаемость 1 т удобрений прибавкой урожая, т
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Всего	
Зерновые	72	102	60	234	4,3
Хлопчатник	136	92	39	267	3,7
Сахарная свёкла	11	12	11	34	29,2
Лён-долгунец	176	314	320	810	1,2
Подсолнечник	148	226	48	422	2,4
Картофель	13	13	12	38	26,6
Овощные	8	8	8	24	42,6
Силосные	10	9	8	27	37,2
Кормовые корнеплоды	8	8	8	24	42,9
Травы многолетние и однолетние (сено)	21	32	33	86	11,6
Луга и пастбища (сено)	31	23	23	77	13,0
Многолетние насаждения и ягодники	27	23	21	71	14,1

Для расчетов можно воспользоваться примерными нормативами затрат удобрений на единицу прибавки урожая и окупаемости удобрений, которые были разработаны на основе данных НИУИ агрохимслужбы в годы интенсивного применения удобрений.

Определение размера прибавки урожая от удобрений по нормативам можно рассчитывать при наличии в хозяйстве данных об урожае, выращенном без удобрений, однако с учетом достигнутого уровня культуры земледелия. Урожай без удобрений может быть определен по опытным данным.

2. Затраты на получение прибавки урожая от минеральных удобрений (А) рассчитываются по формуле

$$A = A_{\text{уд}} + A_{\text{вн}} + A_{\text{уб}} + A_{\text{р}} + A_{\text{н}},$$

где $A_{\text{уд}}$ – расходы хозяйства на приобретение минеральных удобрений в ассортименте по ценам для сельского хозяйства; $A_{\text{вн}}$ – расходы на разгрузку, хранение, подготовку, перевозку в поле и внесение минеральных удобрений; $A_{\text{уб}}$ – расходы на уборку, перевозку прибавки урожая от удобрений с поля, ее доработку; $A_{\text{р}}$ – расходы на реализацию прибавки урожая или закладку ее на хранение; $A_{\text{н}}$ – общепроизводственные, общехозяйственные и другие расходы, относимые по действующей системе бухгалтерского учета на себестоимость прибавки урожая.

3. Определение чистого дохода от применения минеральных удобрений. Чистый доход хозяйства от применения удобрений под сельскохозяйственную культуру определяется по формуле

$$\text{Чд} = (C + c) - A,$$

где C – стоимость основной продукции, полученной в результате применения удобрений, руб.; c – стоимость побочной продукции, руб.; A – сумма затрат, связанных с применением удобрений, для получения прибавки урожая.

4. Рентабельность применения удобрений может быть определена в расчете за 1 год или за весь период их действия с учетом последствий:

$$P = \left(\frac{C + c}{A} - 1 \right) \cdot 100; \quad P = \left(\frac{\sum (C + c)}{\sum A} - 1 \right) \cdot 100,$$

где P – рентабельность, %; $(C + c)$ – стоимость дополнительно полученной основной и побочной продукции от применения удобрений; $\sum (C + c)$ – стоимость прибавки урожая за весь срок действия удобрений; $\sum A$ – суммарные затраты, связанные с применением удобрений, руб.

5. Изменения себестоимости единицы продукции в результате применения удобрений могут быть определены по следующим формулам:

$$C_0 = \frac{A_0}{Y_0}; \quad C_y = \frac{A_0 + A}{Y_0 + Y_{уд}},$$

где C_0 – себестоимость единицы продукции без применения удобрений, руб.; A_0 – затраты на 1 га без удобрений, руб.; A – дополнительные затраты на применение удобрений и уборку прибавки урожая на 1 га, руб.; Y_0 – урожай с 1 га без удобрений или при относительно более низком исходном уровне их применения; $Y_{уд}$ – прибавка урожая на 1 га за счет применения удобрений.

6. Производительность труда определяется по формулам

$$\Pi_n = \frac{Y_0}{T_0}; \quad \Pi_y = \frac{Y_0 + Y_{уд}}{T_0 + T_{уд}},$$

где Π_n – производительность труда на неудобренных полях в расчёте на 1 чел.-ч, ц; Π_y – производительность труда на удобренных полях в расчете на 1 чел.-ч, ц; T_0 – трудовые затраты на производство продукции в расчете на 1 га без внесения удобрений, чел.-ч; $T_{уд}$ – дополнительные трудовые затраты в расчете на 1 га в связи с применением удобрений, чел.-ч.

7. Рентабельность (Р) применения удобрений в севообороте за весь срок их действия может быть выражена формулой

$$P = \frac{\sum C - \sum A}{\sum A} \cdot 100,$$

где $\sum C$ – суммарная стоимость продукции, полученная от применения удобрений в севообороте, руб.; $\sum A$ – суммарные затраты на удобрение и уборку прибавки урожая в севообороте, руб.

Кроме того, необходимо учитывать, что уровень экономической эффективности отрасли во многом определяется погодным фактором. В связи с этим при определении экономической эффективности сельскохозяйственного производства одним из обязательных условий является анализ фактических показателей, отражающих динамику не менее чем за 3 года. В известной степени это позволяет объективно выявить тенденции и закономерности развития и по мере возможности сгладить влияние погодных условий на результат производства.

Оценку эффективности мероприятий по улучшению природных кормовых угодий, созданию культурных сенокосов и пастбищ, их использованию осуществляют посредством общего эффекта, который определяется через дополнительный объем производства кормов и добавочных вложений на основе сопоставления производственных совокупных затрат и окупаемости прибавкой урожая. При этом

обобщающим экономическим показателем является дополнительный чистый доход отнесенный к издержкам производства на ту же площадь.

Учитывая эту экономическую оценку определения эффективности мероприятий по улучшению и использованию природных кормовых угодий, определяют по комплексу показателей:

- ♦ прибавка урожая (в натуральном и стоимостном выражении);
- ♦ себестоимость и стоимость дополнительной валовой продукции;
- ♦ дополнительные затраты (прямые затраты);
- ♦ окупаемость дополнительных затрат прибавкой урожая;
- ♦ дополнительный чистый доход;
- ♦ срок окупаемости капитальных или дополнительных затрат;
- ♦ рентабельность.

Повышение урожайности лугов в значительной степени зависит от применения минеральных удобрений. Затраты на улучшение и создание культурных лугов без внесения минеральных удобрений окупаются медленно. К основным показателям экономической эффективности применения минеральных удобрений на лугах относятся:

- прибавка урожая луговых кормов на 1 кг действующего вещества;
- себестоимость кормовой единицы прибавки урожая (прямые затраты);
- окупаемость затрат на минеральные удобрения дополнительным урожаем.

Калькуляция затрат должна учитывать заработную плату, амортизационные отчисления на технику и оборудование, стоимость горючих и смазочных материалов, расходы на подготовку, хранение, транспортировку, внесение минеральных удобрений. Прибавка урожая на 1 кг д.в. удобрений в зависимости от типа луга, его места положения, вида травостоя, погодных условий и т.д., может быть на уровне 6 - 20 корм. ед. и выше.

Известкование кислых почв на сенокосах и пастбищах является эффективным мероприятием. Оно повышает отдачу органических и минеральных удобрений, дает большую прибавку урожая, способствует долголетию ценных видов многолетних трав. При этом продуктивность лугов продолжается до 5 - 10 лет.

Показателями экономической оценки при известковании лугов являются:

- суммарная прибавка урожая трав с 1 га на каждую внесенную тонну извести (за весь срок её действия);
- окупаемость затрат по известкованию дополнительным урожаем;
- себестоимость кормовой единицы прибавки урожая.

Каждая тонна внесенной извести за весь срок своего действия даёт с 1 га пастбищ дополнительно 1 - 1,2 т, сенокосов – 0,4 - 0,8 т корм. ед.

Для того чтобы знать общий экономический эффект от применения на лугах минеральных удобрений и известкования рассчитываются дополнительный чистый доход, рентабельность их использования и срок окупаемости дополнительных затрат (табл. 12.2).

12.2. Экономическая оценка мероприятий по коренному улучшению природных кормовых угодий (в расчете на 1 га)

Показатели	Природные кормовые угодья	
	до улучшения	после улучшения
Капитальные затраты (Кз), руб.	–	Кз
Продуктивность (П), корм.ед.	P_1	P_2
Стоимость урожая (СВП), руб.	$СВП_1 = P_1 \cdot Ц_x$	$СВП_2 = P_2 \cdot Ц_x$
Стоимость дополнительной валовой продукции (СДВП), руб.	–	$СДВП = СВП_2 - СВП_1$
Дополнительные затраты (ДЗ), всего, руб.	–	$ДЗ = АО + ТПЗ$
<i>В том числе:</i>		
амортизационные отчисления (АО)	–	АО
текущие производственные затраты (ТПЗ)	–	ТПЗ
Дополнительный чистый доход (ДЧД), руб.	–	$ДЧД = СДВП - ДЗ$
Окупаемость 1 руб. дополнительных затрат прибавкой урожая (О), руб.	–	$O = СДВП / ДЗ$
Срок окупаемости капитальных затрат (СО), лет	–	$СО = КЗ / ДЧД$

Примечание: Ц – цена 1 ц сена или зеленого пастбищного корма, руб.

Стоимость валовой продукции сенокосов определяется по уровню сложившихся рыночных цен на сено. При заготовке других видов кормов (в пересчете на кормовые единицы), цены на которые отсутствуют, их стоимость исчисляется исходя из цены 1 кг овса или по расчетным рыночным ценам.

Среднюю цену 1 ц или 100 кормовых ед. травы культурных пастбищ целесообразно определять на основе действующих рыночных цен на животноводческую продукцию, доли кормов в себестоимости молока, мяса, шерсти, фактического расхода кормов на 1 ц животноводческой продукции, удельного веса пастбищных кормов в летнем рационе (расчетные данные по следующей формуле):

$$Ц = РЦ \cdot В/100 \cdot Р \cdot К,$$

где Ц – цена 1 ц пастбищного корма, руб.; РЦ – реализационная цена 1 ц продукции животноводства за год, руб.; В – доля кормов в себестоимости животноводческой продукции за год, %; Р – фактический расход кормов на производство 1 ц на животноводческой продукции за год, корм.ед.; К – коэффициент расхода пастбищных кормов за выпасаемый период в летнем рационе.

Исследованиями установлено, что доля пастбищных кормов в общем летнем рационе крупного рогатого скота в передовых хозяйствах Нечерноземной зоны РФ составляет в среднем 25 - 30%. Принимая общий летний рацион за 1, тогда коэффициент расхода пастбищных кормов по данному региону будет равен 0,25 - 0,35. Полученная стоимость 1 ц корм.ед. годового рациона, умноженная на расчетный коэффициент, позволяет рассчитать цену 1 ц пастбищного корма.

При поверхностном улучшении природных кормовых угодий целесообразно определять экономическую эффективность каждого конкретного агротехнического приема в отдельности или в их определенной совокупности.

При этом учитываются такие показатели, как: прибавка урожая; себестоимость; дополнительные производственные затраты; окупаемость затрат прибавкой урожая; дополнительный чистый доход; рентабельность; срок окупаемости дополнительных затрат (табл. 12.3).

При сравнительной экономической оценке различных способов поверхностного улучшения и применяемых агротехнических приемов эффективность в одном случае определяется через полученную прибавку урожая и произведенные дополнительные текущие производственные затраты (1-й вариант), в другом случае, при уборке урожая на ранее улучшенных лугах – через экономию затрат от снижения себестоимости (2-й вариант).

Расчёт энергетической эффективности применения удобрений

Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур при минимальных затратах труда и средств является основной задачей агропромышленного комплекса РФ.

Посевы сельскохозяйственных культур используют три основных потока энергии: излучение Солнца, свободную – органического вещества почв – и дополнительную техническую (антропогенную), которая и обеспечивает выполнение функций природно-технических систем, таких, как агроэкосистема.

12.3. Экономическая оценка эффективности мероприятий
поверхностного улучшения природных кормовых угодий
(в расчете на 1 га)

Показатели	Природные кормовые угодья	
	до улучшения	после улучшения
<i>1-й вариант</i>		
Продуктивность (П), корм.ед.	P_1	P_2
Прибавка урожая (ПУ), корм.ед.	–	$ПУ = P_2 - P_1$
Стоимость дополнительной валовой продукции (СДВП), руб.	–	$СДВП = ПУ \cdot Ц$
Дополнительные затраты (ДЗ), руб.	–	ДЗ
Дополнительный чистый доход (ДЧД), руб.	–	$ДЧД = СДВП - ДЗ$
Окупаемость 1 руб. дополнительных затрат прибавкой урожая (О), руб.	–	$О = СДВП / ДЗ$
Срок окупаемости дополнительных затрат (СО) лет	–	$СО = ДЗ / ДЧД$
<i>2-й вариант</i>		
Продуктивность (П), корм.ед.	P_1	P_2
Прибавка урожая (ПУ), корм.ед.	–	$ПУ = ПУ_2 - ПУ_1$
Себестоимость 1 ц кормов (С), руб.	C_1	C_2
Стоимость валовой продукции (СВП), руб.	$СВП_1 - P_1 \cdot Ц$	$СВП_2 = P_2 \cdot Ц$
Чистый доход (ЧД), руб.	$ЧД_1 = СВП_1 - C_1 \cdot P_1$	$ЧД_2 = СВП_2 - C_2 \cdot P_2$
Дополнительный чистый доход (ДЧД), руб.	–	$ДЧД = ЧД_2 - ЧД_1$
Окупаемость 1 руб. дополнительных затрат прибавкой урожая (О), руб.	–	$О = СВП_2 - СВП_1 / C_2 P_2 - C_1 P_1$

Примечание: Ц – цена 1 ц корма, руб.

Схематически потоки энергии в земледелии представлены на рисунке 12.1. Солнечная энергия обеспечивает биологические процессы в растениях и в почве. Растения и почва имеют свой энергетический потенциал: растения в семенах, почва в органическом веществе – гумусе. Растения и почва – единое целое. Из почвы растения получают питательные вещества, которые накапливаются в почве благодаря органическому веществу, производимому растениями под воздействием солнечной энергии. Растения обеспечивают плодородие почвы, так как органические остатки под действием солнечной энергии в результате химических и биологических процессов превращаются в органическое вещество почвы – гумус.

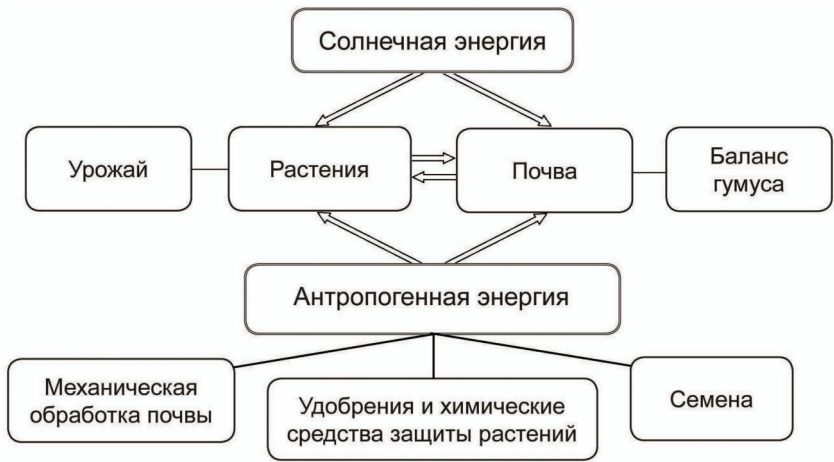


Рис. 12.1. Схема потоков энергии в агроэкосистеме

В естественных биогеоценозах производимое органическое вещество частично используется в пищу животными, основная часть поступает в почву в виде органических остатков, тем самым обеспечивается поддержание плодородия почвы. В агроэкоценозах основная часть органического вещества отчуждается с урожаем, а в почву поступают лишь корневые и пожнивные остатки, но при этом в агроценозах потоки энергии дополняются антропогенной энергией.

Антропогенная энергия обеспечивает благоприятные условия для роста и развития растений, производящих органическое вещество. Минеральные удобрения и механическая обработка почвы способствуют образованию легкоусвояемых питательных веществ, превращению гумуса в доступные питательные вещества, то есть способствуют использованию (разрушению) гумуса. Органические удобрения (навоз, сидераты, солома) частично возмещают потери органического вещества, изъятого с урожаем, и служат для воспроизводства плодородия, и в частности гумуса. Пестициды используются для создания благоприятных условий произрастания и усвоения солнечной энергии культурными растениями.

Посев семян осуществляется с затратами антропогенной энергии и производится с учетом наилучшего использования растениями солнечной энергии и питательных веществ почвы.

Антропогенная энергия расходуется на обработку почвы, внесение удобрений, посев, уход за посевами, а также при уборке, транспортировке доработке урожая.

Разработка энергосберегающих технологий требует проведения анализа структуры потоков антропогенной энергии с возможно более полным учётом прямых и косвенных энергозатрат на каждой операции при возделывании, уборке и доработке урожая. Совокупные антропогенные энергозатраты включают эксплуатационные энергозатраты, к которым относят: машины, топливо, электроэнергию и живой труд, и овеществленную энергию семян, удобрений, гербицидов.

Порядок расчета показателей энергетической эффективности применения удобрений

Энергия, накопленная в сельскохозяйственной продукции, оценивается в мегаджоулях (МДж) и учитывается в основной продукции и в общем урожае с учетом побочной продукции. Количество энергии, накопленной в основной сельскохозяйственной продукции, полученной от применения минеральных удобрений, определяется по формуле:

$$V_{f_0} = U_{п} \cdot Ri \cdot l \cdot 100, \text{ МДж/га},$$

где V_{f_0} – содержание энергии в основной (хозяйственно ценной части) продукции; $U_{п}$ – прибавка урожая основной продукции сельскохозяйственной культуры от удобрений, ц/га; Ri – коэффициент перевода единицы сельскохозяйственной продукции в сухое вещество; l – содержание общей энергии в 1 кг сухого вещества основной продукции, МДж; 100 – коэффициент перевода ц в кг. Значения показателей l и Ri приведены в табл. 12.4.

В совокупных энергозатратах на осуществление технологического процесса минеральные удобрения в расчете на 1 кг д.в. оцениваются следующим количеством энергии (МДж) (табл. 12.5).

Наименьшая энергетическая эффективность наблюдается у азотных удобрений, что связано с более высокими энергозатратами на их производство по сравнению с фосфорными и калийными удобрениями.

Энергетические затраты (A_0) на применение минеральных удобрений определяются по формуле

$$A_0 = (H_N \cdot a_N) + (H_P \cdot a_P) + (H_K \cdot a_K) \text{ МДж},$$

где H_N , H_P , H_K – соответственно фактическая доза внесения азотных, фосфорных и калийных удобрений, кг/га д.в.; a_N , a_P , a_K – энергетические затраты в расчете на 1 кг д. в. азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Энергетическая эффективность (энергоотдача или биоэнергетический КПД) применения минеральных удобрений (η) определяется по формуле

$$\eta = \frac{V_{f_0}}{A_0},$$

12.4. Содержание энергии (I) и коэффициент перевода
продукции в сухое вещество (R_i), ед.

Культура	Коэффициент перевода продукции в сухое вещество (R_i)	Содержание* общей энергии в 1 кг сухого вещества (Γ), МДж	Содержание общей энергии в 1 кг урожая в натуре ($R_i - \Gamma$), МДж
Пшеница озимая (зерно)	0,86	19,13	16,45
Пшеница яровая мягкая (зерно)	0,86	19,31	16,61
Пшеница яровая твердая (зерно)	0,86	19,49	16,76
Рожь (зерно)	0,86	19,49	16,76
Ячмень (зерно)	0,86	19,13	16,45
Овёс (зерно)	0,86	18,80	16,17
Просо (зерно)	0,86	19,70	16,94
Гречиха (зерно)	0,86	19,38	16,67
Рис (зерно)	0,86	18,59	15,99
Фасоль (зерно)	0,86	20,68	17,78
Горох (зерно)	0,86	20,57	17,69
Сорго (зерно)	0,86	18,34	15,77
Кукуруза (зерно)	0,86	17,60	15,14
Кукуруза (зелёная масса)	0,25	16,39	4,10
Хлопчатник (волокно)	0,76	19,81	15,06
Хлопчатник (семена)	0,86	21,00	18,06
Лён-долгунец (волокно)	0,89	20,24	18,01
Лён-долгунец (семена)	0,88	23,50	20,68
Сахарная свекла	0,14	18,26	2,56
Подсолнечник (семена)	0,92	19,38	17,83
Подсолнечник (зелёная масса)	0,25	16,80	4,20
Соя (зерно)	0,88	20,57	18,10
Картофель	0,20	18,29	3,66
Бахчевые	0,11	14,90	1,64
Овощные	0,10	14,36	1,44
Кормовые корнеплоды	0,25	16,39	4,10
Многолетние травы (сено)	0,20	18,91	3,78
Люцерна на сено	0,25	21,83	5,46
Однолетние травы на сено	0,20	16,39	3,28
Лугопастбищные травы (в пересчёте на сено)	0,20	16,19	3,24
Зернофуражные культуры на зелёный корм (в пересч. на сено)	0,30	15,40	4,62
Табак (махорка)	0,45	20,20	9,09
Конопля (волокно)	0,90	19,60	17,64
Конопля (семена)	0,88	21,00	18,48

*Приводится по условной стандартной влажности на основании государственных стандартов на качество продукции (технические требования)

12.5. Энергозатраты на производство удобрений
(минеральные – на 1 кг д. в., органические и известковые –
на 1 кг физической массы)

Вид и формы удобрений	Содержание д.в., %	Энергетический эквивалент, МДж	
		действующего вещества	физической массы
Азотные		86,8	
Фосфорные		13,8	
Калийные		8,8	
Органические (в среднем)		0,42	
Торфо-навозные компосты		1,70	
Известковые удобрения (в среднем)		3,8	
Доломитовая мука		3,6	
Местные минеральные удобрения		2,9	
<i>Азотные</i>			
Азот в сложных удобрениях	–	152,7	–
Сульфат аммония	20,5	80	16,4
Аммиачная селитра	34,5	80	27,6
Натриевая селитра	16,0	80	12,8
Кальциевая селитра	17,0	80	13,6
Мочевина	46,0	80	26,8
КАС	28,0	80	22,4
Аммиачная вода	20,5	80	16,4
Аммиак жидкий	82,0	80	65,0
<i>Фосфорные</i>			
Фосфор в сложных удобрениях	–	27,3	–
Сульфат простой гранулированный	20,0	13,8	2,8
Суперфосфат двойной	46,0	13,8	6,3
Суперфосфат аммонизированный	N_8P_{33}	51,5	21,1
<i>Калийные</i>			
Калий в сложных удобрениях	–	29,4	–
Хлористый калий	60	8,8	5,3
Калийная соль	40	8,8	3,5
Сульфат калия	48	8,8	4,2
<i>Комплексные</i>			
Нитрофоска	НПК по 12%	51,5	18,5
Нитроаммофоска	НПК по 17%	51,5	26,2
Азофоска	НПК по 16%	51,5	24,7
Аммофосфат	N_7P_{47}	51,5	27,8
Аммофос	$N_{12}P_{50}$	51,5	31,9
АФК	$N_{10}P_{20}K_{20}$	51,5	25,8
АФК	$N_5P_{16}K_{35}$	51,5	28,8
ЖКУ	$N_{10}P_{34}$	51,5	22,7
Кристаллин	$N_{20}P_{16}K_{20}$	51,5	28,8
<i>Микроудобрения</i>			
Борные		12,5	18,8
Цинковые		2,5	6,9

где η – энергетическая эффективность (энергоотдача) или био-энергетический КПД, ед.; $V_{\text{н}}$ – количество энергии, полученной в прибавке основной продукции от минеральных удобрений, МДж; A_0 – энергозатраты на применение удобрений, МДж.

Приведем примеры на основе фактических данных.

Первый. Расчет энергетической эффективности (энергоотдачи) минеральных удобрений при возделывании озимых зерновых культур по интенсивным технологиям в хозяйствах.

1. Урожайность зерновых культур 27,0 ц/га.
2. Доза минеральных удобрений N80 P64 K37.
3. Прибавка урожая зерна за счет удобрений 7 ц/га.

$$\eta = \frac{V_{\text{н}}}{A_0} = \frac{700 \cdot 16,45}{(80 \cdot 86,6) + (64 \cdot 12,6) + (37 \cdot 8,3)} = \frac{11515 \text{ МДж}}{8041 \text{ МДж}} = 1,43 \text{ ед.},$$

т.е. с энергетической точки зрения интенсивные технологии возделывания озимых зерновых культур были эффективными, так как энергоотдача превышала единицу.

Второй. Расчет энергетической эффективности (энергоотдачи) минеральных удобрений и навоза при возделывании картофеля в хозяйствах (на примере Белоруссии).

1. Урожай картофеля 210 ц/га.
2. Доза минеральных удобрений N105 P85 K142, навоза – 76 т/га.
3. Прибавка урожая картофеля за счет удобрений: всего 126 ц/га, в том числе от минеральных удобрений 70 ц/га, навоза – 56 ц/га.

а) Энергетическая эффективность (энергоотдача) минеральных удобрений при выращивании картофеля:

$$\eta_{\text{МУ}} = \frac{V_{\text{н}}^0}{A_1^0} = \frac{700 \cdot 3,66}{(105 \cdot 86,6) + (85 \cdot 12,6) + (142 \cdot 8,3)} = \frac{25620 \text{ МДж}}{11343 \text{ МДж}} = 2,26 \text{ ед.}$$

Таким образом, на единицу энергетических затрат получено единицы энергии, содержащейся в прибавке урожая от минеральных удобрений.

б) Энергетическая эффективность (энергоотдача) навоза при выращивании картофеля:

$$\eta_{\text{Н}} = \frac{V_{\text{н}}^0}{A_2^0} = \frac{5600 \cdot 3,66}{76000 \cdot 0,42} = \frac{20496 \text{ МДж}}{31920 \text{ МДж}} = 0,64 \text{ ед.}$$

в) Совокупная энергетическая эффективность (энергоотдача) минеральных удобрений и навоза на выращивании картофеля:

$$\eta_c = \frac{V_{f_1^0} + V_{f_2^0}}{A_1^0 + A_2^0} = \frac{25620 + 20496}{11343 + 31920} = \frac{46116 \text{ МДж}}{42263 \text{ МДж}} = 1,07 \text{ ед.}$$

Хотя в целом технологии при производстве картофеля в Беларуси эффективны, отмечаются значительные различия в энергоотдаче от минеральных удобрений и навоза (соответственно 2,26 и 0,64).

По многолетним данным полевых опытов агрохимической службы, в среднем энергетический КПД (энергоотдача) применения удобрений колеблется по основной продукции отдельных сельскохозяйственных культур от 0,86 (хлопчатник) до 2,2 ед. (картофель). По всем зерновым культурам энергоотдача по основной продукции превышает единицу, а наибольшая – на кукурузе (1,87 ед.). По биологической массе высокая энергоотдача сложилась по всем культурам. Энергозатраты минеральных удобрений на 1 ц прибавки урожая основной продукции в зависимости от культуры составляли от 805 (кукуруза на зерно) до 2478 МДж (льноволокно) (табл. 12.6)

12.6. Энергетический КПД (энергоотдача) применения удобрений и энергозатраты на 1 ц прибавки урожая основной продукции (по данным полевых опытов агрохимической службы)

Культура, доза минеральных удобрений, кг/га д. в.	Энергетический КПД применения удобрений, ед.			Энергозатраты на 1 ц прибавки урожая основной продукции, МДж
	Н	Р	К	
Озимая пшеница, N ₇₈ P ₇₂ K ₅₆	1,54	3,34	4,47	1063
Озимая рожь, N ₈₅ P ₇₅ K ₆₇	1,49	4,47	5,12	1128
Яровая пшеница, N ₆₀ P ₆₅ K ₃₈	1,29	2,97	3,44	1292
Яровой ячмень, N ₇₈ P ₇₂ K ₆₁	1,76	3,70	4,31	939
Овес, N ₈₁ P ₇₉ K ₆₃	1,62	3,80	4,38	1002
Кукуруза на зерно, N ₈₁ P ₈₁ K ₅₆	1,87	4,49	5,06	805
Картофель, N ₁₀₉ P ₉₈ K ₁₀₉	2,20	3,96	4,40	166
Сахарная свекла, N ₁₁₀ P ₁₂₃ K ₁₁₉	1,95	2,46	2,74	131
Лён-долгунец (волокно), N ₄₅ P ₈₀ K ₈₆	1,27	1,53	2,09	2478
Хлопчатник (хлопок-сырец), N ₂₂₉ P ₁₅₇ K ₇₉	0,86	3,71	4,08	1804
Подсолнечник на семена, N ₄₂ P ₅₈ K ₃₂	1,32	8,33	9,14	1318

Для расчёта энергетической эффективности применения удобрений в Республике Беларусь используется методика, разработанная в Институте почвоведения и агрохимии НАН Республики Беларусь (И.М. Богдевич, Г.В. Василюк, Д.В. Круглов и др.).

Накапливаемая в основной и побочной продукции растениеводства энергия оценивается в джоулях. Содержание энергии в основной (хозяйственно ценной) продукции растениеводства с учетом побочной рассчитывается по формуле:

$$\text{Эп} = \text{П} \cdot \text{К} \cdot 100,$$

где Эп – содержание энергии в основной продукции растениеводства, МДж/га; П – прибавка урожая от удобрений, ц/га; К – количество энергии в 1 кг основной продукции в натуре (табл. 12.4), МДж; 100 – коэффициент пересчета ц в кг.

Энергозатраты на минеральные удобрения под культуры, связанные с их производством, рассчитываются по формуле:

$$\text{Эу} = (\text{ДН} \cdot \text{ЭН}) + (\text{ДР} \cdot \text{ЭР}) + (\text{ДК} \cdot \text{ЭК}) \text{ Мдж/га},$$

где ДН , ДР , ДК – фактическая доза внесения соответственно азотных, фосфорных и калийных удобрений по д. в.кг/га, ЭН , ЭР , ЭК – энергетические затраты на производство 1 кг д. в. азотных, фосфорных и калийных удобрений (табл. 12.5), МДж/га.

Затраты, связанные с подготовкой, погрузкой, транспортировкой и внесением минеральных удобрений:

$$\text{Эв} = 171,4 + (8,0974\text{Д}) + (1,2954\text{Р}) + (2,804\text{ДР}) - (0,1553 \cdot \text{Р}^2),$$

где Эв – общие энергозатраты на подготовку, погрузку, транспортировку и внесение удобрений, МДж/га; Д – доза удобрений в физической массе, ц; Р – расстояние перевозки удобрений от склада хозяйства до поля, км.

Затраты на доставку удобрений от прирельсовой базы в хозяйство в среднем в Республике Беларусь составляют 22 МДж на 1 т/км, на хранение в складах хозяйства 38,8 МДж/т. Средние энергозатраты на хранение, транспортировку и внесение 1 ц минеральных удобрений в зависимости от дальности перевозки приведены в табл. 12.7.

Энергозатраты на погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений приводятся в табл. 12.8, а на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая за счет удобрений – в табл. 12.9. Общие затраты энергии при применении удобрений складываются из энергозатрат на производство удобрений, их транспортировку, погрузку и внесение, а также на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая.

Например, требуется рассчитать энергетическую эффективность применения удобрений под озимую рожь. От хозяйства до базы 15 км. Под озимую рожь внесены минеральные удобрения в дозе $\text{N}_{80}\text{P}_{50}\text{K}_{60}$ (аммиачная селитры – 2, аммофоса – 1, хлористого калия – 1 ц/га) в физической массе.

12.7. Средние энергозатраты на хранение, транспортировку и внесение 1 ц минеральных удобрений в зависимости от дальности перевозки, МДж

Транспортировка от рельсового склада до хозяйственного, Км	Транспортировка от хозяйственного склада до поля, Км							
	Прямоточная технология					Перегрузочная технология		
	1	3	5	7	9	5	10	15
0	53,4	59,9	69,3	83,9	129,9	60,9	70,0	82,7
10	65,1	71,6	81,5	96,0	139,0	73,1	82,1	94,8
20	82,4	89,9	98,7	113,2	156,2	90,3	99,8	112,0
40	118,1	124,6	134,1	147,9	191,6	125,7	134,7	147,4

12.8. Энергетические затраты на погрузку, транспортировку и внесение твёрдых органических удобрений (МДж/т)

Расстояние, км	Доза в несения, т/га					
	Прямоточная технология			Перевалочная технология		
	20	40	60	20	40	60
0,5	93	86	80	–	–	–
1,0	109	102	96	–	–	–
1,5	125	118	112	–	–	–
2,0	140	134	128	220	209	198
2,5	157	151	144	233	222	210
3,0	172	165	159	246	234	223
3,5	188	180	174	259	245	236
4,0	204	195	190	272	258	249
4,5	220	211	204	285	272	261
5,0	235	227	221	298	285	274
5,5	250	243	237	310	298	287
6,0	266	260	253	323	312	300
6,5	283	270	269	337	326	314
7,0	298	292	284	350	338	326
7,5	313	307	300	361	351	339
8,0	328	324	315	374	364	351
8,5	343	340	329	387	378	364
9,0	359	355	346	400	390	377
9,5	374	370	362	412	403	390
10,0	394	385	379	425	417	402
11,0	425	416	411	449	440	425

12.9. Примерные энергозатраты на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая за счет удобрений

Культура, угодья	Вид продукции	Урожайность, ц/га	Энергозатраты, МДж/ц
Озимая рожь	Зерно	30 - 40	328
Яровой ячмень	-//-	30 - 40	293
Лён-долгунец	Льносоломка	30 - 40	193
Картофель	Клубни	150 - 250	79
Сахарная свёкла	Корнеплоды	250 - 350	67
Кормовые корнеплоды	-//-	600 - 800	40
Кукуруза	Силос	300 - 400	35
Улучшенные сенокосы	Зел. масса	170 - 250	42
Многолетние травы	Сенаж		84
-//-	Зел. масса		35
-//-	Сенаж	80 - 120	65
Многолетние травы	-//-		84
Многолетние травы	Сено	40 - 60	93
	прессованное	30 - 50	105
Однолетние травы	Рассыпное	160 - 200	39
Вико-овсяная и другие травосмеси	Зел. масса	200 - 250	44

У нас под озимую рожь внесено 190 кг NPK. В табл. 12.10 находим, что окупаемость 1 кг NPK у озимой ржи составляет 6,1 кг зерна. Следовательно, прибавка урожая зерна этой культуры от применения удобрений составит 9,7 ц ($190 \cdot 5,1 = 969$ кг).

Зная сколько содержится энергии в кг продукции в натуре (табл. 12.4) находим количество энергии накопленный в прибавке урожай:

$$Э_{п} = П \cdot К \cdot 100 = 9,7 \cdot 16,76 \cdot 100 = 16257 \text{ МДж.}$$

Рассчитываем по выше приведенной формуле энергозатраты связанные с производством минеральных удобрений.

$$Э_{у} = 80 \cdot 80,6 + 50 \cdot 12,6 + 60 \cdot 8,3 = 8055 \text{ МДж/га}$$

Энергозатраты на доставку удобрений в хозяйство с базы

$$Э_{д} = 0,4 \cdot 15 \cdot 22 = 132 \text{ МДж/га.}$$

Энергозатраты, связанные с хранением удобрений в хозяйстве

$$Э_{х} = 38,8 \cdot 0,4 = 15,52 \text{ МДж/га}$$

Энергозатраты на подготовку, погрузку, транспортировку (на 5 км) и внесение минеральных удобрений

$$Э_{в} = 171,4 + (8,0974 \cdot 4) + (1,2954 \cdot 5) + 2,804 \cdot 445) - (0,1553 \cdot 25) = 262,467 \text{ МДж/га}$$

**12.10. Средние нормативы цены балла плодородия почвы
и окупаемости удобрений прибавкой урожая
сельскохозяйственных культур**

Культуры	Вид продукции	Цена балла почвы, кг	Дозы удобрений		Оплата, кг продукции	
			органических, т/га	NPK, кг/га	1 т органических удобрений	1 кг NPK
Зерновые в целом	зерно	50	–	200 - 300	–	6,2
Озимая рожь	зерно	52	30	200 - 250	25	6,1
Озимая пшеница	зерно	63	30	250 - 300	25	7,8
Озимое тритикале	зерно	65	30	250 - 300	25	8,0
Яровая пшеница	зерно	52	–	200 - 250	–	6,0
Яровое тритикале	зерно	55	–	200 - 250	–	6,5
Ячмень	зерно	54	–	200 - 250	–	6,5
Овёс	зерно	55	–	200 - 250	–	6,0
Люпин	зерно	37	–	160 - 200	–	4,4
Горох	зерно	37	–	160 - 200	–	3,9
Вика	зерно	30	–	160 - 200	–	2,6
Гречиха	зерно	19	–	180 - 220	–	2,3
Рапс	семена	25	–	250 - 300	–	3,2
Лён-долгунец	волокно	20	–	160 - 200	–	2,7
Картофель	клубни	332	50 - 60	200 - 300	105	27
Сахарная свёкла	корни	438	60 - 70	300 - 350	125	39
Кормовые корнеплоды	корни	883	60 - 80	300 - 350	200	73
Кукуруза	зелёная масса	469	60 - 80	250 - 300	190	86
Однолетние травы	зелёная масса	265	–	150 - 200	–	48
Многолетние травы	сено	106	–	150 - 200	–	16,6
	зелёная масса	365	–		–	70
Все культуры на пашне	корм. ед.	65	–	200 - 250	30	8,8
Сенокосы и пастбища	сено	70	–	150 - 200	–	14,3
	зелёная масса	350	–		–	72

Общие энергозатраты Θ_0 , связанные с применением удобрений

$$\Theta_0 = \Theta_y + \Theta_d + \Theta_x + \Theta_b = 8055 + 132 + 15,52 + 262,467 = 8465,0 \text{ МДж/га.}$$

Рассчитываем также энергозатраты связанные с уборкой, доработкой и реализацией прибавки урожая. Нормативы энергозатрат на уборку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученного за счет применения удобрений приведены в табл. 12.9.

Энергозатраты на уборку, доработку и реализацию 1 ц прибавки урожая зерна составляют 328 МДж, а на всю прибавку:

$$\Theta_{\text{п}} = 328 \times 9,7 = 3183 \text{ МДж.}$$

Общие энергозатраты (Θ_0) на применение удобрений, уборку, доработку и реализацию прибавки урожая составят:

$$\Theta_0 = \Theta_y + \Theta_{\text{п}} = 8465 + 3183 = 11648 \text{ МДж.}$$

Находим энергетический коэффициент (q), который представляет собой частное от деления выхода энергии с прибавкой урожая на общие энергозатраты, связанные с применением удобрений, уборкой, доработкой и реализацией прибавки урожая полученной от применения удобрений.

$$q = \frac{\Theta_{\text{п}}}{\Theta_0} = \frac{16257}{11648} = 1,4.$$

Поскольку энергетический коэффициент получился больше единицы, применение удобрений под озимую рожь является оправданным с энергетической точки зрения.

Важным показателем являются также удельные энергозатраты на производство 1 ц сельскохозяйственной продукции.

Они определяются делением общих энергозатрат на прибавку урожая. В нашем примере удельные энергозатраты на производство 1 ц зерна озимой ржи составляют: $11648 : 9,7 = 1201 \text{ МДж.}$

При расчете затрат на производство, хранение, погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений под культуру с учетом их действия и последствия на последующие культуры севооборота 60% из них необходимо относить на первый год, 25% – на второй и 15% – на третий. С учетом этого затраты на производство, хранение, погрузку, транспортировку и внесение навоза составят:

$$B = A_1 + Y_1,$$

где A_1 – затраты на производство и хранение органических удобрений, МДж/т физической массы (табл. 12.11); Y_1 – затраты на погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений, МДж/т (расстояние 5 км) (табл. 12.8, 12.12).

12.11. Энергетические затраты на производство и хранение органических удобрений

Виды органических удобрений	Энергетические затраты, МДж/т
Подстилочный навоз на соломенной подстилке (соотношение соломы к полужидкому навозу 1:10)	112
Подстилочный навоз на торфяной подстилке (соотношение торфа к экскрементам 1:3)	222
Торфо-навозные компосты (соотношение торфа к навозу 1:3)	283
Торфо-соломенно-навозные компосты (на 1 т полужидкого навоза 50 кг соломы, 250 кг торфокрошки)	286
Усредненные затраты на хранение	6,2

12.12. Примерные средние энергозатраты на погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений при разных технологиях внесения

Прямоточная		Перевалочная	
Доза внесения, т/га	Энергозатраты, МДж/га	Доза внесения, т/га	Энергозатраты, МДж/га
20	4363	20	5387
40	8475	40	10366
60	12379	60	14937

Расчёты агрономической, экономической и энергетической эффективности применения удобрений позволяют наиболее объективно комплексно оценить систему удобрений в прогрессивных технологиях, применяемых при возделывании сельскохозяйственных культур.

ЛИТЕРАТУРА

- Авдонин Н.С.* Научные основы применения удобрений. М., 1972.
- Вильдфлуш И.Р., Кукреш С.П., Ионас В.А. и др.* Агрохимия: учебник для студентов учреждений высшего образования по агрономическим специальностям. Минск : ИВЦ Минфина, 2013.
- Гамзиков Г.П., Кострик Г.И., Емельянова В.Н.* Баланс и превращение азота удобрений. Новосибирск, 1985.
- Гедройц К.К.* Избранные соч. Том 1. Почвенные коллоиды и поглотительная способность почв. М., 1955.
- Городній М.М.* Агрохімія. Підручник. - К.: Арістей, 2008.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Экологические функции почвы. М., 1986.
- Егоров В.С.* Расчет и оценка состояния баланса питательных веществ м гумуса в агроценозах. Методич. пособие. – М. МАКСПресс, 2014.
- Елешев Р, Сапаров А. Балгабаев А, Туктугулов Е.* Агрохимия и применение удобрений. Алматы: «Агроуниверситет», 2010.
- Ермохин Ю.И.* Экспресс-методы химической диагностики потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях. Омск: Вариант-Омск, 2010.
- Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П.* Система удобрения. М.; КолосС, 2002.
- Известкование почв.* Л., 1983.
- Карпова Е.А., Минеев В.Г.* Тяжелые металлы в агроэкосистеме. М. Изд-во «КДУ». 2015.
- Кидин В.В.* Органические удобрения: учебное пособие. Москва: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012.
- Кидин В.В.* Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур. Учебн. пособие. М. Изд-во РГАУ-МСХА. 2009.
- Кидин В.В.* Система удобрения. Учебник. М. Изд-во РГАУ-МСХА. 2012
- Кидин В.В., Торшин С.П.* Агрохимия: учебник. – М.: Проспект, 2016.
- Ковда В.А.* Биогеохимия почвенного покрова. М., 1985.
- Ковда В.А.* Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. М., 1981.
- Кореньков Д.А.* Агрохимия азотных удобрений. М., 1976.
- Кореньков Д.А.* Продуктивность использования минеральных удобрений. М., 1985.
- Кошкин Е.И.* Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. Учебник. М. Дрофа, 2010.
- Кулаковская Т.Н.* Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. Минск, 1978.
- Лебедева Л.А.* Минеральные удобрения на дерново-подзолистых почвах. М., 1984.
- Либих Ю.* Химия в приложении к земледелию и физиологии растений. М.; Л., 1936.
- Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Попов И.Д.* Теория и практика использования органических удобрений. М., 1987.
- Минеев В.Г.* Агрохимия. Классический университетский учебник. М. МГУ, 2004.

- Минеев В.Г. Агрохимия и биосфера. М., 1984.
- Минеев В.Г. Комплексные удобрения (справочное пособие). М., 1986.
- Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии. М., 1988.
- Минеев В.Г. История и состояние агрохимии на рубеже XXI века. Книга первая, 2002; Книга вторая, 2006; Книга третья, 2010. М.: Изд-во МГУ.
- Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. М., 1985.
- Михайлова Л.А. Агрохимия: курс лекций. – Пермь: Прокрость, 2015.
- Муравин Э.А., Ромодина Л.В., Литвинский В.А. Агрохимия. Учебник (сер. бакалавриат). М. Изд. центр "Академия", 2014.
- Мязин Н.Г. Система удобрения: учебное пособие. Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2009.
- Никитишен В.Н. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии. М., 1984.
- Новиков Н.Н. Биохимические основы формирования качества продукции растениеводства: Учебн. пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА. 2014.
- Павлов А.Н. Повышение содержания белка в зерне. М., 1984.
- Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. М., 1987.
- Панников В.Д., Павлов А.Н. Минеральное питание растений и урожайность. М., 1982.
- Петербургский А.В. Агрохимия и физиология питания растений. М., 1971.
- Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000.
- Прокошев В.В., Неугодова О.В., Смирнов Ю.А., Государева З.И. Магниевые удобрения в интенсивном земледелии (обзорная информация). М., 1987.
- Прянишников Д.Н. Избранные соч. Том I. Агрохимия. М., 1963.
- Прянишников Д.Н. Азот в жизни растений и в земледелии М.: Изд-во ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, 2015.
- Семёнов. В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. – М. ЕОС, 2015.
- Соколов А.В. Очерки из истории агрономической химии в СССР. М., 1958.
- Справочник агрохимика / В. В. Лапа и др.; ред. В. В. Лапа. Минск: Белорус. наука, 2007.
- Сычёв В.Г., Шафран С.А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. М.: Изд-во ВНИИА, 2013.
- Умаров М.М. Ассоциативная азотфиксация. М., 1986.
- Фокин А.Д. Почва, биосфера и жизнь на Земле. М., 1986.
- Шеуджен А.Х. Агрохимия Ч 1. История и методология агрохимии. Краснодар, КубГАУ, 2011.
- Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н. Агрохимия. Ч 2. Методика агрохимических исследований. Учебное пособие. Краснодар, КубГАУ, 2015.
- Шеуджен А.Х., Сычёв В.Г. Агрохимия в России. Майкоп, Изд-во «Афиша», 2006.
- Шильников И.А., Лебедева Л.А. Известкование почв. М., 1987.
- Щербаков А.Н., Рудаи И.Д. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ. М., 1983.
- Экологическое почвоведение: этапы развития, вызовы современности / ред. С.А. Шоба, Н.О. Ковалева – М. ГЕОС, 2015.
- Энгельгардт А.Н. Избранные соч. М., 1959.
- Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия. М.; Мир, 2003.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА	4
Часть 1. ПРЕДМЕТ, МЕТОДЫ И ЗАДАЧИ АГРОХИМИИ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АГРОХИМИИ. ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ	10
Глава 1. ПРЕДМЕТ, МЕТОДЫ И МЕСТО АГРОХИМИИ СРЕДИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ НАУК	10
МЕСТО АГРОХИМИИ СРЕДИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ НАУК	21
Глава 2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ УЧЕНИЯ О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ И ФОРМИРОВАНИЕ АГРОХИМИИ КАК НАУКИ	35
ИСТОКИ АГРОХИМИИ	35
ЗАРОЖДЕНИЕ УЧЕНИЯ О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ, ПЛОДОРОДИИ ПОЧВ И УДОБРЕНИИ ЗЕМЕЛЬ	39
РОЛЬ РУССКИХ УЧЕНЫХ В РАЗВИТИИ УЧЕНИЯ О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ И НАУКИ АГРОХИМИИ	44
Глава 3. АГРОХИМИЯ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ	82
СОСТАВ И СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ И ОРГАНИЧЕСКОЙ ЧАСТЕЙ ПОЧВЫ	86
Минеральная часть почвы	89
Органическое вещество почвы	96
ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ И СВОЙСТВА ПОЧВЫ	102
ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ И СВОЙСТВ ПОЧВЫ ПРИ СИСТЕМАТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ	121
КРУГОВОРОТ И БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ И ГУМУСА ПОЧВЫ	145
Глава 4. ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ	163
ТИПЫ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ	164
Воздушное питание растений (фотосинтез)	168
Минеральное (корневое) питание растений	176
Связь между углеродным (воздушным) и минеральным (корневым) питанием растений	194
ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА УСЛОВИЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ	197
ЗНАЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ	204
МАКРОЭЛЕМЕНТЫ	204
Азот	204
Фосфор	224
Калий	236
Кальций	246
Магний	249
Сера	251
Железо	254
МИКРОЭЛЕМЕНТЫ	255

Бор	258
Марганец	261
Молибден	265
Медь	268
Цинк	271
Кобальт	273
Йод	275
Селен	276
Часть 2. ВИДЫ УДОБРЕНИЙ, ИХ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА, УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДОЗ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ	278
Глава 5. МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ	282
АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ	282
Пути повышения эффективности азотных удобрений	298
Оптимизация доз азотных удобрений	301
Подбор форм азотных удобрений, сроки и способы их внесения	308
ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ	313
Применение фосфорных удобрений	322
Оптимизация доз фосфорных удобрений	328
КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ	333
Эффективность калийных удобрений	339
Оптимизация применения калийных удобрений	346
КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ, СОСТАВ, СВОЙСТВА	351
Особенности применения и эффективность комплексных удобрений	371
МАГНИЕВЫЕ УДОБРЕНИЯ	377
Условия эффективного применения магниевых удобрений	383
СЕРОСОДЕРЖАЩИЕ УДОБРЕНИЯ	390
Эффективность серосодержащих удобрений	392
МИКРОУДОБРЕНИЯ И УСЛОВИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ	394
Борные удобрения	395
Молибденовые удобрения	398
Медные удобрения	400
Марганцевые удобрения	402
Цинковые удобрения	404
Кобальтовые удобрения	406
Селенсодержащие удобрения	407
ОПТИМИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ	408
Глава 6. ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ, ИХ ВИДЫ И ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ	419
6.1. НАВОЗ	419
Навоз и плодородие почв	419
Навоз в земледелии – важнейший источник гумуса почвы	424
Накопление и хранение навоза	428
Эффективность навоза по земельным зонам и продолжи-	435

тельность его действия	
6.2. БЕСПОДСТИЛОЧНЫЙ НАВОЗ	439
Примерные дозы и сроки внесения бесподстилочного навоза	443
6.3. ТОРФЯНЫЕ КОМПОСТЫ	445
6.4. НАВОЗНАЯ ЖИЖА	452
6.5. ВЕРМИКОПОСТ (БИОГУМУС)	454
6.6. ПТИЧИЙ ПОМЁТ	457
6.7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛОМЫ НА УДОБРЕНИЕ	461
6.8. ЗЕЛЁНОЕ УДОБРЕНИЕ (СИДЕРАТЫ)	466
6.9. САПРОПЕЛЬ	474
6.10. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И БАКТЕРИАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ ..	476
6.11. РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ	481
6.12. УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ	488
6.13. ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ	490
6.14. ОСАДКИ СТОЧНЫХ ВОД	495
Глава 7. ИЗВЕСТКОВАНИЕ КИСЛЫХ И ГИПСОВАНИЕ СОЛОНЦОВЫХ ПОЧВ	500
ИЗВЕСТКОВАНИЕ ПОЧВ	500
Изменения, вызываемые в почве известью	503
Определение необходимости известкования	506
Определение доз известкования	509
Эффективность известкования	515
Известковые удобрения	523
ГИПСОВАНИЕ ПОЧВ	528
Эффективность гипсования	530
Дозы, сроки и способы внесения гипса	530
 Часть 3. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ	 533
Глава 8. ПОНЯТИЯ О СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЙ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В СЕВООБОРОТЕ	533
НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЗОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТАХ	538
Зона дерново-подзолистых и серых лесных почв	538
Зона черноземных и каштановых почв	542
ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТАХ ПРИ ОРОШЕНИИ	549
Глава 9. СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР В СЕВОО- БОРОТЕ	551
9.1. ЭФФЕКТИВНЫЕ ПРИЕМЫ И ТЕХНИКА ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ, ИХ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ	551
Основное удобрение	552
Припосевное удобрение	557
Подкормка	560
9.2. МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ	565
9.3. УДОБРЕНИЕ ЗЕРНОВЫХ, КРУПЯНЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР	591
Удобрение озимой пшеницы	591

Удобрение яровой пшеницы	611
Особенности удобрения озимой ржи	621
Удобрение ярового ячменя	629
Удобрение озимого ячменя	636
Особенности удобрения овса	641
Удобрение проса	643
Удобрение гречихи	645
Удобрение риса	647
Удобрение зернобобовых культур	652
Удобрение кукурузы	660
9.4. УДОБРЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ КУЛЬТУР	669
Удобрение сахарной свеклы	669
Удобрение хлопчатника	683
Удобрение подсолнечника	688
Удобрение льна-долгунца	992
Удобрение картофеля	698
9.5. УДОБРЕНИЕ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР	708
Применение удобрений в овощном севообороте	713
Способы и сроки внесения удобрений под овощные культуры	719
9.6. УДОБРЕНИЕ ЛУГОВ, ПАСТБИЩ И СЕЯНЫХ ТРАВ В ПОЛЕВОМ СЕВООБОРОТЕ	725
Удобрение лугов	725
Удобрение пастбищ	727
Удобрение многолетних трав	732
9.7. УДОБРЕНИЕ ПЛОДОВЫХ И ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР	736
Общие вопросы питания плодовых и ягодных культур	736
Диагностика минерального питания плодовых и ягодных культур	742
 Часть 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ФУНКЦИИ АГРО- ХИМИИ. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФ- ФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ	 762
Глава 10. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АГРОХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ. ПУТИ ВОЗМОЖНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ УДОБРЕНИЯМИ	762
ПРИЧИНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ УДОБРЕНИЯМИ И ВОЗМОЖНЫЕ НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ	763
Глава 11. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ АГРОХИМИИ.....	780
Глава 12. АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ	806
Глава 13. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВ- НОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ	826
 ЛИТЕРАТУРА	 847

Учебное издание

АГРОХИМИЯ

Зав. редакцией *В.С. Егоров*
Художественный редактор *Н.Л. Едемская*
Художники: *А.В. Сычёва, Н.Л. Едемская*
Технический редактор *М.В. Беличенко*
Компьютерная верстка *Н.Л. Едемская*
Корректоры *В.С. Егоров, Н.Л. Едемская*

Подписано в печать 24.07. 2017. Формат 60 × 90 1/16. Бумага офс. № 1.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 53,9 Уч.-изд. л. ___
Тираж 1000 экз. Заказ №___ Изд. № _____

Издание подготовлено в редакционно-издательском отделе ВНИИА
Лицензия на издательскую деятельность ЛР 040919 от 07.10.98
Адрес: 127 550 Москва, ул. Прянишникова, д. 31-А
Тел./факс : 8-(499) 976-25-01,
e-mail: pl@vnia-pr.ru; info@vnia-pr.ru

Проблемы агрохимии и экологии

Научно-теоретический журнал, принимает к публикации экспериментальные, методические и обзорные статьи, посвящённые вопросам агрохимии, питания растений, биохимии и физиологии растений, микробиологии, функционирования агроэкосистем, а также результатам исследований в сопряжённых областях знания. В журнале публикуются также рецензии научных трудов и материалы, освещающие текущую деятельность научного сообщества учёных-агрохимиков.



Журнал основан в 2008 г. некоммерческим партнёрством «Содружество учёных агрохимиков и агроэкологов» при поддержке Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

Основателем и первым главным редактором журнала был академик В.Г. Минеев.

В настоящее время главным редактором журнала является В.Г. Сычёв – академик РАН, директор Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии имени Д.Н. Прянишникова.

В состав редакционной коллегии журнала входят видные российские и зарубежные ученые из ряда стран СНГ.

Журнал входит в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Материалы журнала размещаются на портале РИНЦ. К публикации принимаются оригинальные, ранее не публиковавшиеся статьи. Присланные в редакцию статьи проходят анонимное рецензирование и при необходимости редактируются.

Материалы для публикации направляют в редакцию по электронной почте на адрес: verh48@list.ru в прикрепленных файлах.

Телефон редакции: 8-495-939-36-23, 8-495-939-36-40

Веб-адрес: <http://agroproblem.soil.msu.ru/>

С материалами журнала можно ознакомиться на портале elibrary.ru

Подписной индекс:

Каталог Издания органов научно-технической информации

Агентства «Роспечать», **58295**

Журнал выходит 4 раза в год

ПЛОДОРОДИЕ

Журнал для ученых, специалистов и практиков

Учредитель и издатель:

**Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
им. Д.Н. Прянишникова (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)**

Главный редактор - академик РАН Сычев В.Г., директор
института ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова

**Президиумом ВАК от 10.01.03 г. журнал
«ПЛОДОРОДИЕ» включен в перечень изданий,
в которых рекомендуется публиковать материалы
докторских диссертаций.**

Журнал «Плодородие» является одним из ведущих теоретических и научно-практических рецензируемых изданий, отражающих исследования в области сельскохозяйственных наук. На его страницах приводятся итоги агроэкологического мониторинга земель, результаты экспериментальных и теоретических исследований ученых, специализирующихся в агрохимии, почвоведении, земледелии, агроэкологии, практического внедрения новых технологий, материалы о передовом опыте в земледелии, а также аспирантские работы.

Журнал «ПЛОДОРОДИЕ» помещает достоверные, обоснованные материалы, которые имеют научное и практическое значение, отличаются актуальностью и новизной, способствуют решению проблемы воспроизводства плодородия почв.

Авторские материалы для публикации в журнале «Плодородие» направляются в редакцию по адресу: 127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а.

Тел.: 8 (499) 976-25-01 ; 8 (499) 976-23-90

Email: pl@vniia-pr.ru

Сайт журнала - www.plodorodie-j.ru



Оформить подписку на журнал «ПЛОДОРОДИЕ»

можно в почтовых отделениях.

Индекс в каталоге агентства «Роспечать» - 82223

Журнал выходит 6 раз в год.

Ранее изданные номера журналов можно приобрести

в редакции журнала