

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.Ф. ШАПОВАЛОВ

Агрохимия

Курс лекций для аспирантов по направлению подготовки
35.06.01 Сельское хозяйство, профиль Агрохимия

Брянск, 2017

УДК 631.8
ББК 40.4
Ш 24

Шаповалов, В.Ф. Агрохимия: курс лекций для аспирантов / В.Ф. Шаповалов. – Брянск: ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2017. – 133 с.

Рассмотрены химический состав растений, органических, минеральных удобрений и мелиорантов, процессы трансформации их в почве, действие удобрений на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур, качество продукции. Излагаются современные сведения о поступлении элементов питания в растения, пути снижения опасности загрязнения окружающей среды. Дается представление об эффективности минеральных и органических удобрений в зависимости от вида удобрений дозы и срока их внесения.

Подготовлено в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 35.06.01 Сельское хозяйство, профилю подготовки Агрохимия - очной и заочной форм обучения.

Может быть использовано также аспирантами других направленностей (профилей) подготовки.

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией института экономики и агробизнеса Брянского ГАУ от 31.01.2017 года, протокол №3

Рецензент: д.с.-х.н., профессор Малявко Г.П.

УДК 631.8
ББК 40.4
Ш24

© Шаповалов В.Ф., 2017
© ФГБОУ ВО «Брянский ГАУ», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ	6
1.1. Краткая история изучения питания растений	6
1.2. Современные представления о корневом питании	9
1.3. Химический состав растений.	10
1.4. Особенности питания растений в различные периоды	13
1.5. Сроки, способы внесения удобрений	15
2. СВОЙСТВА ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ И ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ	28
2.1. Характеристика отдельных фаз почв	28
2.2. Классификация агрономических свойств почвы	32
2.3. Поглотительная способность и кислотность	35
3. ХИМИЧЕСКИЕ МЕЛИОРАНТЫ	46
3.1. Отношение с/х культур к реакциям почвенной среды	46
3.2. Известкование кислых почв	50
4. АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ	54
4.1. Азот в жизни растений	54
4.2. Азот в почве. Баланс азота в земледелии	57
4.3. Получение и классификация азотных удобрений	63
5. ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ	69
5.1. Роль фосфора в жизни растений	69
5.2. Фосфор в почвах. Баланс Фосфора в земледелии	72
5.3. Получение и классификация фосфорных удобрений	73
5.4. Возможные негативные последствия применения фосфорных удобрений	76
6. КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ	79
6.1. Значение калия в жизни растений	79
6.2. Калий в почве. Баланс калия в земледелии	81
6.3. Получение, классификация и агрохимическая характеристика	85
6.4. Особенности применения калийных удобрений	89
7. МИКРОУДОБРЕНИЯ	91
7.1. Понятия о микроэлементах и микроудобрениях	91
7.2. Микроэлементы в растениях и почвах	93
7.3. Классификация и особенности применения микроудобрений	94
8. КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ	98

8.1.Понятие о комплексных удобрениях и их классификация	98
8.2.Получение, свойства и применение комплексных удобрений .	100
9. ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ	105
9.1.Общая характеристика и значение органических удобрений ..	105
9.2.Навоз-основное органическое удобрение. Виды навоза, способы его хранения. Определение потребности хозяйства в ОУ. Способы расчета выхода навоза.....	109
9.3.Сроки, способы внесения подстилочного навоза	111
9.4. Навозная жижа	114
9.5.Особенности приготовления и использование бесподстилочного навоза	117
9.6.Торф и компосты. Зеленые удобрения, сапропель	121
9.7. Нетрадиционные способы использования органических отходов.....	126
ЛИТЕРАТУРА	132

ВВЕДЕНИЕ

Агрономическая химия, или агрохимия - наука о взаимодействии растений, почвы и удобрений в процессе выращивания сельскохозяйственных культур, о круговороте веществ в земледелии и использовании удобрений для увеличения урожая, улучшения его качества и повышения плодородия почвы.

Главная задача агрохимии - управление круговоротом и балансом химических элементов в системе почва-растение.

Задача агрохимика - в определении точных параметров круговорота всех биогенных элементов с учетом зон выращивания и специфики различных сельскохозяйственных растений и их сортов при разных заданных уровнях продуктивности.

Цель агрономической химии - создание наилучших условий питания растений с учетом знания свойств различных видов и форм удобрений, особенностей их взаимодействия с почвой, определение наиболее эффективных форм, способов, сроков применения удобрений.

В практике сельскохозяйственного производства более сбалансированное питание растений достигается путем применения удобрений, известкования и гипсования почвы. Сложность решения этой проблемы заключается в необходимости точного учета изменяющихся потребностей растений в элементах питания в период роста, учета наследственных возможностей культивируемых сортов и постоянно изменяющегося комплекса почвенно-климатических факторов жизнеобеспечения растений.

1. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

1.1. Краткая история изучения питания растений

Знания и повышении плодородия почв с помощью разнообразных удобрительных средств накапливались в результате практической деятельности многих поколений земледельцев. Уже во времена Римской империи применялось зеленое удобрение (запашка массы растений), было известно об удобрительном действии золы, извести (мергеля), гипса. Однако суть этих приемов оставалась неизвестной, и предстоял долгий и сложный путь к раскрытию тайн питания растений.

Определенные воззрения на роль минеральных веществ и значение удобрений были высказаны еще в 1563 г. французским естествоиспытателем Палисси. Он писал, что соль есть основа жизни и роста всех посевов и что навоз, который вывозят на поля, не имел бы никакого значения, если бы не содержал соли, которая остается от разложения сена и соломы.

Через 100 лет опытами английского химика Глаубера (1656) было показано, что добавление селитры к почве оказывает сильное действие на повышение урожая растений. Оригинальные слова о воздушном питании растений были высказаны М.В. Ломоносовым в 1753 г.: "Преизобильное ращение тучных деревьев, которые на бесплодном песку корень свой утвердили, ясно изъявляет, что жирными листьями жирный тук из воздуха впитывают".

Связь воздушного и корневого питания растений была отмечена Лавуазье, открывшим в 1775 г. наличие азота в атмосфере.

Далее зарождались первые знания в области корневого минерального питания растений. Русский ученый профессор И.М. Комов (1750-1792) в книге "О земледелии" подробно излагает значение отдельных сельскохозяйственных культур. Он говорит о необходимости удобрения "худой" земли, подчеркивает значение навоза не только как удобрения, но и его роль в сохранении влаги в почве, в улучшении структуры почвы, а также отмечает важную роль извести для повышения урожая. Эти высказывания близки к мыслям А.Т. Болотова (1738-1833), который в статье "О навозных солях" отмечает, что

доступные растениям питательные вещества образуются из органических удобрений.

В области минерального питания различные взгляды излагали А.П. Пошман (1792-1852), М.Г. Павлов (1793-1840) и многие другие.

Коренной поворот во взглядах на питание растений вызвало появление в 1840 г. книги немецкого ученого Либиха "Химия в приложении к земледелию и физиологии". В ней давалась уничтожающая критика гумусовой теории, выдвинутой шведским химиком Валериусом, согласно которой утверждалось, что гумус является единственным веществом почвы, из которого растение получает питание. Либихом была сформулирована теория минерального питания растений, теория удобрения почв для поддержания плодородия, основанная на полном возврате в почву всех взятых из нее минеральных веществ. Это одно из величайших приобретений науки. Им же создан "закон минимума", по которому высота урожая зависит от количества минимального фактора. Например, если при выращивании кукурузы недостает азота или цинка, то сколько бы ни вносили фосфора, калия и других элементов, они не могут поднять урожая.

Параллельно с развитием теории питания растений в сельском хозяйстве начинается применение минеральных удобрений. В середине XIX века в практику сельскохозяйственного производства вошли два минеральных удобрения: чилийская селитра и суперфосфат, позже - калийные соли.

В России систематические научные исследования в области питания растений и применения удобрений начинаются с 60-70-х годов XIX столетия. Большое значение имели работы Д.И. Менделеева, П.А. Костычева, А.Н. Энгельгардта, К.А. Тимирязева.

Развитие агрохимии тесно связано с деятельностью Д.Н. Прянишникова (1865-1948). Под его руководством изучались вопросы фосфорного питания растений, усвоения растениями фосфора из фосфоритов использования растениями калийных солей, роли биологического азота в земледелии, действия микроэлементов на растения. Под редакцией Д.Н. Прянишникова вышло в свет 17 томов сборников "Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ". Благодаря его плодотворной научной деятельности вышли фундаментальные труды "Агрохимия", "Азот в жизни растений и земледелии СССР". Им создана советская школа агрохимиков, утвердившая приоритет отечественной науки в решении многих проблем агрохимии.

В развитие отечественной агрохимии большой вклад внесли такие русские и советские ученые как: П.С. Коссович (1862-1915), К.К. Гедройц (1872-1932), А.Н. Лебедев (1878-1941), Д.А. Сабинин (1889-1951), О.К. Кедров-Зихман (1885-1964), Ф.В. Турчин (1902-1965), П.Г. Найдин (1969), М.В. Каталымов (1907-1969), В.М. Клечковский (1900-1972), И.Г. Дикусар (1897-1973), Я.В. Пейве (1906-1976), Н.С. Авдонин (1903-1980), А.В. Соколов (1898-1980), С.И. Вольфович (1896-1980), З.И. Журбицкий (1986), Т.Н. Кулаковская (1919-1986).

Первые исследования агрохимических свойств почв юга дальнего Востока относятся к началу XX в., когда стало активно развиваться освоение земель. В разных частях региона эти исследования начинались в разное время и проходили с разной интенсивностью. Первые сведения о почвах нынешней Амурской области приведены в работах русских исследователей 1910-1912 гг.: К.Д. Глинка, И.И. Томашевский, Н.И. Прохоров. В это же время начали изучаться агрохимические свойства почв Приморья в связи с применением органических и минеральных удобрений. Затем были описаны почвы Хабаровского края и сахалинской области. Эти сведения об агрохимических свойствах почв Дальнего Востока носили отрывочный характер. Из них следовало, что большинство почв региона являются кислыми и мало гумусными. Систематические исследования агрохимических свойств почв начались в конце 20-х годов, на юге Сахалина (японскими агрохимиками) и в Хабаровском крае - в 30-х годах. Широкие исследования были развернуты в 50-60-е годы во всех областях и краях юга Дальнего Востока, особенно массовые агрохимические обследования почв на территориях местных колхозов и совхозов были проведены после создания в стране Агрохимслужб.

Общие агрохимические свойства почв изучались на территории Хабаровского края А.И. Качияни, В.П. Басистым, А.П. Басистым; в Приморье - А.Т. Грицуном, А.Д. Васичевой, А.А. Федоровым; на Сахалине А.М. Ивлевым, С.С. Денисовым, Е.Н. Щепкиной; на Камчатке - И.А. Соколовым, З.А. Прохоровой; в Амурской области - Г.В. Головым.

В качестве обобщающего итога в 1971 г. была издана книга "Агрохимическая характеристика почв СССР. Дальний Восток" под редакцией А.В. Соколова.

В течение последних 30 лет исследования агрохимических свойств проводят регулярно областные и краевые агрохимические лаборатории, а конкретные вопросы, связанные с выяснением влияния различных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур на разных почвах, решают сельскохозяйственные научно-исследовательские институты и зональные опытные сельскохозяйственные станции.

1.2.Современные представления о корневом питании

Мощность корневой системы, ее строение и характер распределения в почве у разных видов растений резко различаются. Но активная часть корней, благодаря которой происходит поглощение элементов минерального питания из почвы, у всех видов растений представлена молодым растущими корешками.

По мере нарастания каждого отдельного корешка верхняя его часть утолщается, покрывается снаружи опробковевшей тканью и теряет способность к поглощению питательных веществ. Рост корня происходит у самого его кончика, защищенного корневым чехликом. В непосредственной близости к окончанию корешков располагается зона делящихся меристематических клеток. Выше ее находится зона растяжения, в которой наряду с увеличением объема клеток и образованием в них центральной вакуоли начинается дифференциация тканей с формированием флоэмы – нисходящей части сосудистой – проводящей системы растений, по которой происходит передвижение органических веществ из надземных органов в корень.

На расстоянии 1-3 мм от кончика растущего корешка находится зона образования корневых волосков. В этой зоне завершается формирование и восходящей части проводящей системы – ксилемы, по которой осуществляется передвижение воды, части поглощенных ионов и синтезированных в корнях органических соединений от корня в надземную часть растений.

Корневые волоски представляют собой тонкие выросты наружных клеток с диаметром 5-72 мкм ($1 \text{ мкм} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$) длиной 80-1500 мкм, а число нескольких сотен поэтому деятельная, способная к поглощению питательных элементов поверхность корневой системы, увеличивается в десятки раз.

По мере нарастания корня происходит непрерывное пространственное перемещение зоны активного поглощения питательных

элементов из почвы. При этом наблюдается явление хемотропизма, которое заключается в том, что корень растет в направлении расположения доступных форм питательных элементов (положительный хемотропизм) или рост тормозится в зоне повышенной, неблагоприятной для растений концентрации солей (отрицательный хемотропизм).

1.3.Химический состав растений.

Растения строят свой организм из определенных химических элементов, находящихся в окружающей среде. Ткани растений состоят из воды и сухого вещества, соотношение которых у различных растений колеблется в широких пределах. Химический состав растений – содержание в них органических и минеральных веществ, а также отдельных химических элементов выражают в процентах от массы сухих веществ (реже – в % от «сырой» массы). Используется измерение и в мг на 1 кг сухого или «сырого» вещества. Большинство сельскохозяйственных культур содержит в вегетативных органах 85 – 95 % воды и 5 – 15 % сухих веществ. В созревших семенах на сухое вещество уже приходится 85 – 88 %, воду – 12 – 15 %.

В зерне зерновых и зернобобовых культур воды содержится 12 – 15 %, семенах масличных культур – 7 – 10, клубнях картофеля, корнеплодах сахарной свеклы – 75 – 80, корнеплодах столовой свеклы и моркови – 85 – 90%, в зеленой массе злаковых, бобовых трав – 75 – 85, в плодах томатов и огурцов – 92 – 96 %.

В составе сухого вещества растений 90 – 95% приходится на органические соединения и 5 – 10 % на минеральные соли. Органические вещества представлены в растениях белками, жирами, крахмалом, сахарами, клетчаткой, пектиновыми веществами и другими соединениями. Качество растениеводческой продукции определяется содержанием органических и минеральных соединений.

Вид и характер использования продукции определяют ценность отдельных органических соединений в ее составе. В зерновых культурах основные вещества, определяющие их качество, – белки и крахмал. Более высоким содержанием белка у зерновых культур отличается пшеница, а крахмала – пивоваренный ячмень. Накопление белка в зерне ячменя, используемого для пивоваренного производства, должно быть регламентировано (11 – 11,5 %), поскольку его повышенное содержание ухудшает качество сырья. Качество клубней

картофеля оценивается по содержанию крахмала, сахарной свеклы – сахара. Лен возделывают для получения волокна, состоящего из клетчатки, масличные культуры (рапс, подсолнечник и др.) – масла. Качество продукции зависит также от содержания витаминов, алкалоидов, органических кислот и пектиновых веществ, эфирных и горчичных масел.

В плодовых, ягодных и овощных культурах важными показателями качества является содержание сахаров, органических кислот, витаминов и других веществ.

Накопление отдельных групп органических соединений может изменяться в зависимости от условий выращивания сельскохозяйственных культур, видовых и сортовых особенностей растений, применения удобрений. Создавая соответствующие условия питания с помощью удобрений, можно повысить урожайность и улучшить качество наиболее ценной части урожая. Усиление азотного питания позволяет увеличить содержание белка в растениях, а повышение фосфорно-калийного питания обеспечивает большее накопление углеводов – крахмала в клубнях картофеля, сахара – в корнеплодах сахарной свеклы.

В растениях обнаружено более 70 элементов. В среднем сухое вещество растений содержит 45 % углерода, 42 % кислорода, 6,5 % водорода, на азот и зольные элементы приходится 6,5 %.

При сжигании растительного материала органогенные элементы улетучиваются в виде газообразных соединений и паров воды, а в золе остаются преимущественно многочисленные зольные элементы, на которые приходится в среднем около 5 % массы сухого вещества.

Азот и такие зольные элементы, как фосфор, калий, сера, кальций, магний, натрий, хлор и железо содержатся в растениях в относительно больших количествах (от нескольких процентов до сотых долей процента сухого вещества) и называются **макроэлементами**.

Содержание других необходимых для растений элементов – бора, меди, цинка, марганца, молибдена, ванадия и кобальта в растениях составляет от тысячных до сотых долей процента, и они относятся к **микроэлементам**.

В настоящее время 20 элементов (N, P, K, C, H, Ca, Mg, O, S, Mo, Zn, Cu, B, Mn, Co, Cl, J, Na, V, Fe) относятся к **необходимым**, так как растения без них не могут полностью закончить цикл развития. Они не могут быть заменены другими элементами.

К **условно необходимым** относятся 12 элементов (Li, Ag, Sr, Cd, Al, Si, Ti, Pb, Cz, Se, F, Ni). В ряде опытов получены данные, что эти элементы оказывали положительное влияние на рост и развитие растений.

Потребление растениями элементов минерального питания является сложным физиологическим процессом, зависящим от биологических особенностей самого растения и условий окружающей среды. Различные направления в синтезе органических соединений в известной мере обуславливают избирательную способность растений. Из одной и той же почвы разные культуры потребляют не только неодинаковые количества химических элементов, но и в различном их соотношении между собой.

Семена растений богаты азотом, а корнеплоды и клубни содержат больше калия. В зерне зерновых культур по сравнению с соломой больше содержится фосфора и магния. В соломе же больше накапливается калия и кальция.

На накопление элементов минерального питания в растениях влияют концентрация питательных элементов в почве, обеспеченность влагой, степень кислотности, от которой зависит как растворимость отдельных элементов, так и процесс поглощения растительной клеткой катионов и анионов, наличие в почве воздуха.

Растениеводческая продукция используется на продовольственные цели и является кормом для сельскохозяйственных животных.

Продукты питания должны быть сбалансированы по количеству белков, жиров, углеводов, витаминов, минеральных и других веществ.

Суточная потребность человека в белках составляет 80 – 100, жирах – 80 – 100, крахмале – 400 – 450, сахаре – 50 – 100 г. Необходима человеку также клетчатка, витамины и целый ряд других органических и минеральных веществ.

Особое значение имеет содержание в белках растений незаменимых аминокислот, которые не могут синтезироваться в организме человека и животных. Это валин, лейцин, изолейцин, треонин, метионин, гистидин, лизин, триптофан, фенилаланин. Суточная потребность человека в лизине 2 – 4 г, а в 100 г пшеничного хлеба содержится 0,12 г лизина. Человеку необходимы и животные белки (яйцо, мясо, молоко и др.), которые больше содержат незаменимых аминокислот.

1.4. Особенности питания растений в различные периоды

Растения в разные периоды роста предъявляют неодинаковые требования к условиям внешней среды, в том числе к условиям питания. Поглощение растениями азота, фосфора, калия и других питательных элементов в течение вегетации происходит неравномерно. В связи с этим различают *критический и максимальный периоды питания*.

Рассмотрим общие закономерности в потреблении питательных элементов растениями в течение вегетации. В начальный период развития растения потребляют относительно небольшое количество питательных элементов, но весьма чувствительны как к недостатку, так и к избытку их в растворе.

Начальный период роста – критический в отношении фосфорного питания. Недостаток фосфора в раннем возрасте настолько сильно угнетает растения, что урожай резко снижается даже при обильном питании фосфором в последующие периоды.

Вследствие высокой напряженности синтетических процессов при слаборазвитой еще корневой системе молодые растения особенно требовательны к условиям питания. Следовательно, в прикорневой зоне в этот период питательные элементы должны находиться в легкодоступной форме, но концентрация их не должна быть высокой, а фосфор должен преобладать по сравнению с азотом и калием. Обеспечение достаточного уровня снабжения всеми элементами с начала вегетации имеет важное значение для формирования урожая. Так, у зерновых уже в период разворачивания первых трех-четырех листьев начинаются закладка и дифференция репродуктивных органов – колоса или метелки. Недостаток азота в этот период даже при усиленном питании в дальнейшем приводит к уменьшению колосков в метелке или колосе и снижению урожая.

Максимальный период потребления растениями питательных элементов обычно совпадает с периодом интенсивного роста стеблей, листьев. В это время растения особенно много потребляют **азота**. Недостаток азота в этот период приводит к угнетению роста, а в дальнейшем – к снижению урожая и его качества. Ко времени цветения и плодообразования потребность в азоте у большинства растений уменьшается, но возрастает роль *фосфора и калия* – они участвуют в синтезе и передвижении органических веществ в растении, например, аминокислот – в зерно, сахара – в корни корнеплодов и т.д.

В период плодообразования, когда нарастание вегетативной массы заканчивается, потребление всех питательных элементов постепенно снижается, а затем их поступление прекращается. Дальнейшее образование органического вещества и другие процессы жизнедеятельности обеспечиваются, в основном, за счет повторного использования питательных элементов, уже накопленных в растении.

Различные сельскохозяйственные культуры отличаются количеством и интенсивностью поглощения питательных элементов в течение вегетационного периода. *Все зерновые, лен, ранний картофель, некоторые овощные культуры* отличаются коротким периодом интенсивного питания, основное количество питательных элементов потребляют в сжатые сроки. Например, яровая пшеница за сравнительно короткий промежуток – от выхода в трубку до конца колошения – потребляет 65 – 75 % всех элементов питания. У льна ярко выраженный период максимального потребления элементов питания – от фазы бутонизации до цветения.

Для *кукурузы, сахарной свеклы* и некоторых других растений характерно более плавное, растянутое потребление питательных элементов, поглощение их они продолжают почти до конца вегетации.

Элементы поглощаются растениями с различной интенсивностью. Так, зерновые в большем количестве потребляют азот и менее интенсивно – калий и фосфор. Свекла в период нарастания листьев больше поглощает азота, а когда в корнях происходит образование сахара – калия. Кукуруза наиболее интенсивно потребляет калий, затем – азот и значительно медленнее – фосфор. Поглощение калия полностью заканчивается к периоду образования метелок, а азота – к периоду формирования зерна. Поступление фосфора более растянуто и продолжается почти до конца вегетации.

Неодинаковая потребность в элементах питания и интенсивность их поглощения в течение вегетационного периода должны учитываться при разработке системы удобрения. Для этого используются различные способы внесения удобрений: основное (до посева), припосевное (во время сева) и проведение подкормок.

Цель *основного внесения удобрений* – обеспечить растения элементами питания на всю вегетацию, поэтому до посева в большинстве случаев вносят полную дозу органических удобрений и подавляющую часть минеральных. *Припосевное удобрение* (в рядки, при посадке – в лунки, гнезда) вносят, чтобы обеспечить растения в

начальный период развития легкодоступными формами питательных элементов, прежде всего фосфором. Для снабжения растений элементами питания в наиболее ответственные периоды вегетации в дополнение к основному и припосевному удобрению проводят *подкормки*. Выбор срока, способа внесения удобрений и заделки их в почву зависит от особенностей биологии растений, климатических условий, вида и формы удобрения.

Регулируя условия питания растений по периодам роста внесением удобрений, можно направленно воздействовать на величину урожая и его качество.

1.5.Сроки, способы внесения удобрений

В настоящее время в мире применяется широкий ассортимент различных видов и форм удобрений. Это минеральные удобрения, выпускаемые химической промышленностью, местные минеральные удобрения, отходы животноводства, промышленности, коммунального хозяйства, природные удобрительные материалы.

Одним из основных элементов системы удобрения является определение оптимальных сроков и способов внесения удобрений, которые устанавливают исходя из биологических особенностей сельскохозяйственных культур, их сортовой специфики, рекомендаций региональных научных учреждений и агрохимической службы применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям.

По времени внесения и назначению приемы внесения удобрений делят на основное или допосевное (осенью или весной), при посеве (в рядки) и подкормки (послепосевное внесение).

Одно и то же растение в разные фазы развития в соответствии с меняющимися потребностями усваивает разное количество питательных элементов.

На этапе прорастания молодое растение использует в основном запасные вещества семени, и его потребность в поглощении веществ из почвы невелика. По мере роста и исчерпания запасов семени эта потребность становится значительной и достигает максимума в период интенсивного роста вегетативной массы, цветения и завязывания плодов. В период созревания семян, когда происходит старение растений и прекращение накопления органических веществ, необходимость в питательных элементах из почвы резко уменьшается.

Требовательность сельскохозяйственных культур к содержанию элементов питания в почве определяется продолжительностью периода наибольшего их потребления. Чем короче время интенсивного поглощения растением питательных элементов, тем оно более требовательно к наличию в почве этих элементов в доступной форме. Например, лен-долгунец поглощает максимальное количество питательных элементов за очень короткий период – во время цветения, пшеница – от выхода в трубку до колошения-начала цветения. У гороха к началу формирования семян накапливается 70-80% азота и фосфора от максимального потребления их за вегетацию.

В период, предшествующий окончанию вегетации, потребление питательных веществ из почвы однолетними растениями снижается и затем прекращается. На налив зерна, формирование другой хозяйственно важной части урожая используются элементы питания, которые были накоплены в стеблях, листьях, корнях. Вещества в стареющих вегетативных органах (белки, нуклеиновые кислоты, хлорофилл и другие) подвергаются гидролитическому распаду, и его продукты оттекают в созревающие репродуктивные части растений и запасующие органы (т.е. подвергаются реутилизации, повторному использованию). В это время целесообразны мероприятия, способствующие интенсификации этого процесса.

На растения отрицательно влияет не только недостаток элементов питания, но и их избыток. Повышенная концентрация солей в почве в период прорастания семян снижает их энергию прорастания и всхожесть, угнетает развитие корневой системы. Чувствительными к концентрации солей в почве являются лук, люпин, горох, кукуруза, морковь, эспарцет, лен, цикорий. Меньше страдают свекла и хлебные злаки – рожь, ячмень, овес, пшеница, кукуруза.

Таким образом, при планировании удобрения сельскохозяйственных культур необходимо учитывать их неодинаковую общую потребность в элементах питания, неравномерность поглощения их в онтогенезе, различную отзывчивость на внесение удобрений. Наиболее полно обеспечить растения всеми необходимыми элементами питания можно путем сочетания внесения удобрений в разные приемы (сроки): до посева (основное); при посеве в рядки или гнезда; в подкормки уже вегетирующих растений.

Для снижения материальных и энергетических затрат на применение удобрений и сохранения оптимально-возможного агрофизиче-

ского состояния почв следует внесение удобрений сочетать с другими агротехническими приемами – вспашкой, предпосевной обработкой почвы, посевом, междурядной обработкой почвы и т.п. Самостоятельные операции по внесению удобрений допускаются лишь при невозможности отмеченных совмещений, например, азотные подкормки посевов озимых в фазы выхода в трубку, колошения-цветения и др.

Основное (допосевное) внесение удобрений

Назначение основного удобрения состоит в обеспечении растений питанием на весь период развития, повышении плодородия почвы за счет обогащения ее питательными элементами и органическим веществом, улучшении физико-химических и физических свойств, усилении биологической активности. До посева вносят навоз, а также 2/3–3/4 и более суммарного годового количества минеральных удобрений, предназначенных для данной культуры.

На рисунке 1 приведена классификация способов внесения удобрений.



Рисунок 1. Классификация способов внесения удобрений

Основное удобрение можно внести вразброс (на один год или в запас на два–три года), а также локально.

Внесение вразброс предусматривает разбрасывание удобрений по поверхности почвы с последующей их заделкой. Это наиболее распространенный, но не самый экономичный способ.

Удобрения до посева могут быть внесены осенью и весной в зависимости от режима увлажнения почв:

- в районах умеренного увлажнения с непромывным типом водного режима на суглинистых почвах все удобрения, включая азотные нитратные, можно вносить осенью;

- в районах избыточного увлажнения с промывным типом водного режима азотные удобрения не рекомендуется вносить осенью, особенно содержащие нитратную форму;

- на легких почвах, особенно в районах избыточного увлажнения, все удобрения следует вносить весной под предпосевную обработку почвы.

Для внесения минеральных удобрений используют разбрасыватели с устройством центробежного типа: 1РМГ-4, НРУ-0,5, РУМ-5, РУМ-8, РУМ-16, МХА-7, РМС-6, КСА-3. Новыми машинами по внесению минеральных удобрений являются: МТТ-4У, РУ-1600, РУ-3000, Л-116, машина компании SIPMA. К новым отечественным машинам по внесению жидких минеральных удобрений относится АПЖ-12.

Внесение органических удобрений осуществляют навозоразбрасывателями ПРТ-7, МТТ-9. Органические и фосфорно-калийные удобрения, как правило, вносят осенью под зяблевую вспашку, что обеспечивает попадание их во обеспеченный влагой слой почвы, где развивается основная масса деятельных корней.

Азотные удобрения до посева в зонах достаточного, избыточного увлажнения и при орошении, особенно на почвах легкого гранулометрического состава, следует вносить весной под предпосевную обработку почвы. Это заметно снижает размеры вымывания и миграции из корнеобитаемого слоя нитратного азота удобрений и нитратов, образующихся при нитрификации других форм азота.

На почвах легкого гранулометрического состава, часто бедных подвижными формами калия, вместе с азотными удобрениями целесообразно вносить калийные, а при выращивании пропашных куль-

тур часть калийных удобрений можно использовать в подкормку при междурядной обработке почвы.

Недостатком разбросного применения удобрений является их сильное перемешивание с почвой после заделки, способствующее переходу части элементов питания в недоступное для растений состояние, что, в первую очередь, относится к фосфору. При разбросном внесении удобрений из-за несовершенства техники наблюдается неравномерность распределения их по площади, которая по агротехническим требованиям при использовании разбрасывателей не должна превышать $\pm 25\%$ (табл. 1).

Таблица 1 – Агротехнические требования к внесению удобрений

Показатель		Значение
Диаметр комочков удобрений, мм		не более 5
Разрушение гранул, %		не более 5
Отклонение фактической дозы от заданной, %		± 10
Равномерность распределения по площади, %	при внесении туковыми сеялками	± 15
	при внесении разбрасывателями	± 25
Перекрытие смежных проходов агрегата, % от ширины захвата агрегата		6
Время между внесением и заделкой удобрений, ч		не более 12

В производственных условиях неравномерность внесения нередко достигает 60–80%, то есть, превышает допустимую в 2–3 раза, что приводит, по данным ВИУА, к снижению эффективности азотных удобрений на 45–50%, фосфорных – на 15–20, калийных и сложных – на 36–40%.

Заделка удобрений может осуществляться под плуг (особенно при удобрении корнеплодов, картофеля и других культур), а также под культивацию (преимущественно растворимых в воде удобрений, чаще – азотных) или с использованием других приспособлений, например, борон. От выбора способа заделки удобрений зависит размещение удобрений в почве (табл. 2).

Таблица 2 – Расположение удобрений в почве при разных способах заделки (% от внесенного количества, по обобщенным данным)

Слой почвы, см	Заделка удобрений				
	легкой бороной	тяжелой бороной	тяжелым культиватором	плугом	плугом с предплужником
0 – 3	92	76	55	11	3
3 – 6	8	22	21	12	4
6 – 9	-	2	23	16	12
9 – 12	-	-	1	16	14
12 – 15	-	-	-	23	20
15 – 18	-	-	-	22	47

При заделке удобрений бороной основная масса удобрений размещается в пересыхающем слое. Этот способ можно использовать при достаточном увлажнении (Нечерноземная зона), орошении, внесении легкорастворимых удобрений. При заделке плугом с предплужником основная масса удобрений попадает в глубокие слои и поздно становится доступной растениями.

Разновидностью разбросного внесения основной дозы является внесение их в запас. Сущность его заключается в том, что удобрения вносят не ежегодно (например, по 60 кг/га P_2O_5), а в один прием сразу на несколько лет вперед (например, 240 кг/га P_2O_5 на четыре года). Для этих целей можно использовать фосфорные, иногда калийные удобрения.

Теоретической основой возможности запасного внесения фосфорных удобрений является их малая подвижность в почве, низкий коэффициент использования фосфора из удобрений и высокое последствие в последующие годы.

Калийные удобрения можно вносить в запас на тяжелых почвах, где практически отсутствует его вымывание. Разовое внесение их высоких доз может способствовать повышению содержания калия в урожае (свыше 3,5% на сухое вещество) и тем самым действовать отрицательно на организм животных.

Кроме того, высокие дозы хлорсодержащих калийных удобрений в первые годы после внесения могут ухудшить качество урожая сельскохозяйственных культур, чувствительных к хлору.

Азотные удобрения – в запас не вносят, так как высокая доза азота может вызвать полегание посевов, усиление поражения растений вредителями и болезнями, ухудшение качества продукции вслед-

ствие накопления в ней нитратов, огромные потери азота в результате их вертикальной миграции и поверхностного стока.

Внесение удобрений в запас не получило широкого распространения по ряду причин, основной из которых является ограниченность ресурсов удобрений. Тем не менее, оно используется при выращивании многолетних трав в полевых севооборотах, при коренном улучшении лугов и пастбищ, при проведении фосфоритования кислых почв, при комплексном агрохимическом окультуривании полей с целью увеличения содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах.

Если под посев озимых проводят только поверхностную обработку почвы, то фосфорно-калийных удобрения, характеризующиеся слабой миграционной способностью по профилю почвы по сравнению с азотными, целесообразно внести под предшествующую культуру с учетом потребности в них озимых культур. Это тоже внесение в запас. Как внесение в запас можно рассматривать проведение известкования кислых почв.

Таблица 3 – Эффективность разбросного и локального внесения удобрений (по данным разных авторов)

Культура	Почва	Число опытов	Урожай без удобрений, т/га	Прибавка от удобрений (т/га) при внесении их	
				вразброс	локально
Зерновые	Дерново-подзолистые суглинистые	18	1,7	1,1	1,7
Картофель	Дерново-подзолистые суглинистые	100	12,9	3,2	6,2
Кукуруза на зерно	Чернозем	3	2,8	0,4	0,5
Сахарная свекла	Чернозем	10	29,2	6,6	9,5
Сахарная свекла	Лугово-сероземная	4	34,5	10,0	16,0
Соя на зерно	Лугово-каштановая	3	2,5	0,4	0,6

Локальное внесение основной дозы удобрений является одним из наиболее рациональных способов их использования, о чем свидетельствуют результаты научных исследований, зарубежная практика, отечественный производственный опыт. Так, сравнение разбросного и ленточного внесения азотно-фосфорных удобрений при выращива-

нии пшеницы показало преимущество последнего (прибавка урожая зерна 0,77 т/га) (Допосевное локальное...)

Припосевное (рядковое) внесение удобрений

Несмотря на то, что в начале роста растения питаются в основном за счет запасных веществ семян, уже в этот период может возникнуть необходимость в дополнительном, стартовом питании. Это особенно важно для культур, имеющих мелкие семена с небольшим запасом питательных веществ.

Локальное внесение небольших доз удобрений при посеве создает благоприятные условия питания молодых растений. Растения быстрее растут, формируют достаточно мощную корневую систему за короткий период времени и лучше переносят недостаток влаги в период ранних весенних засух. Хорошее развитие корневой системы позволяет им в дальнейшем лучше использовать питательные элементы основного удобрения и почвы. Быстрый рост надземных органов повышает конкурентную способность культурных растений и позволяет им лучше бороться с сорняками.

Для припосевного внесения наиболее эффективны гранулированные фосфорные удобрения. При их использовании создаются местные очаги с повышенной концентрацией питательных веществ. Гранулированные удобрения, по сравнению с порошковидными, имеют ограниченную площадь соприкосновения с почвой и поэтому значительно меньше закрепляются в ней в формах, недоступных для растений. Удобрение, внесенное в рядки, гнезда, полнее используется растениями. Так, 50 кг/га гранулированного суперфосфата, внесенного в рядки вместе с семенами зерновых культур, дает такое же повышение урожайности, как 2–3 ц/га порошкообразного суперфосфата, внесенного вразброс до посева под культивацию.

Рядковое внесение стартовой дозы удобрений – это всегда локальное внесение. Назначение припосевного удобрения – усилить минеральное питание молодых растений в начальные фазы, что важно для последующего их развития, и за короткий промежуток времени обеспечить формирование хорошо развитой корневой системы. Наиболее важным в этот период является фосфор, что наглядно демонстрируют результаты вегетационного опыта, который позволяет с высокой точностью моделировать условия питания растений. Недостаток фосфора в начале развития растений невозможно восполнить проведением подкормок в силу того, что закладка репродуктивных

органов идет именно на ранних этапах развития, а также из-за специфики поведения фосфорных удобрений в почве (отсутствие горизонтальной и вертикальной миграции). Благодаря рядковому удобрению растения быстрее развиваются и легче переносят временную засуху, меньше повреждаются вредителями и болезнями, лучше подавляют сорную растительность.

Значительно меньшее значение в рядковом удобрении принадлежит азоту, а калий часто не дает эффекта (кроме калиелюбивых культур).

Дозы удобрений – небольшие и в зависимости от культуры колеблются от 5 до 30 кг/га. Под зерновые, лен рекомендуется вносить 10–15 кг/га фосфора; под картофель и корнеплоды – по 20–30 кг/га азота, фосфора и калия; под кукурузу, культуру чувствительную к повышенной концентрации солей – 5–10 кг/га фосфора, а азот и калий – не вносят. Доза азота при рядковом внесении не должна быть выше, чем фосфора.

Невысокие дозы удобрений обусловлены тем, что, во-первых, они размещаются в верхнем, пересыхающем слое почвы, во-вторых, питание ими идет непродолжительно, так как корни растений быстро покидают зону их размещения, и, в-третьих, высокие концентрации солей в почве вредны для чувствительных к ним прорастающих семян. Последнее обстоятельство объясняет наилучший эффект от рядкового удобрения, когда между ним и семенами имеется прослойка почвы. Это особенно важно, если в состав рядкового удобрения вместе с фосфором входит азот и калий.

Наиболее устойчивый эффект от рядкового удобрения отмечается на почвах невысокого плодородия. Прибавка урожаев от 10 кг/га фосфора составляет 2,5–3 ц/га в пересчете на зерно, оплата 1 ц суперфосфата прибавкой колеблется от 0,4 до 0,58 т/га (табл. 6). По эффективности 10 кг/га фосфора, внесенного при посеве (в рядки), равноценны 45 кг, внесенным вразброс.

Для внесения в рядки при посеве используют растворимые в воде формы удобрений, содержащие, прежде всего, фосфор: гранулированный простой и двойной суперфосфаты и комплексные удобрения (аммофос, аммофосфат, нитрофоску, нитрофос, нитроаммофоску, нитроаммофос) и не применяют смеси из однокомпонентных удобрений. На высокоплодородных почвах, а также при внесении высоких

доз удобрений до посева, эффективность рядкового удобрения невысокая или может вовсе не проявляться.

Подкормка (послепосевное внесение удобрений)

Подкормка – прием, дополняющий основное удобрение. Ее целью является усиление питания растений в периоды интенсивного роста, повышение урожайности и улучшение качества продукции.

Эффективность подкормок в сильной степени зависит от влажности почвы в течение вегетации. На почвах тяжелого и среднего гранулометрического состава с залеганием грунтовых вод и галечника глубже 3 м, где мала вероятность вымывания питательных веществ, перенесение из основного удобрения в подкормку части азотных удобрений, не говоря уже о калийных и фосфорных удобрениях, не сопровождается повышением урожая. Но при этом повышаются расходы на их внесение. В проведении подкормок должен быть дифференцированный подход в зависимости от особенностей почвенно-климатической зоны и биологии культур.

Для повышения продуктивности озимых зерновых и культурных лугов и пастбищ большое значение имеет ранневесенняя подкормка азотными удобрениями в период, когда растения возобновляют рост. Основным условием, определяющим ее эффективность, является содержание влаги и минерального азота в почве и снижение размеров вымывания питательных веществ из удобрений. После перезимовки растения ослаблены, для продолжения роста они нуждаются в питательных элементах, особенно азоте, запасы подвижных форм которого в почве рано весной обычно невелики. При повышении температуры усиливается микробиологическая мобилизация почвенного азота, поэтому, чем позже проводится подкормка азотными удобрениями, тем ниже ее эффективность.

Подкормки бывают корневыми (поверхностными и внутрпочвенными) и некорневыми. Для корневых подкормок следует использовать, прежде всего, легкорастворимые азотные, а также богатые азотом органические удобрения (навозную жижу, птичий помет). Фосфорно-калийные удобрения чаще всего малоэффективны из-за мелкой заделки. Их следует вносить только на почвах, бедных подвижными формами фосфора и калия, а также при недостаточном внесении этих удобрений до посева культур.

Ранневесенняя подкормка – обязательный агротехнический прием при выращивании озимых зерновых культур. Она способствует

ет росту, кущению и закладке репродуктивных органов озимых, что обеспечивает получение высокого урожая, и создает условия для формирования высококачественного зерна. Прибавка урожайности при такой подкормке составляет 3–4 ц/га.

Дробное внесение азотных удобрений повышает продуктивность растений и улучшает качество зерна, благодаря более полному обеспечению потребности растений в этом элементе.

Хорошие результаты дают некорневые подкормки озимых и яровых зерновых культур растворами азотных удобрений (КАС, мочевины) с целью повышения содержания белка в зерне. Эта подкормка проводится в период колошения–цветения с использованием авиации или наземных опрыскивателей по технологической колее (не занятые сельскохозяйственной культурой полосы для прохода техники). Некорневая подкормка повышает эффективность удобрений, внесенных в почву.

Некорневые подкормки позволяют целенаправленно регулировать химический состав и качество продукции растениеводства. Подкормка пшеницы мочевиной в период колошения–цветения повышает содержание белка в зерне на 0.5–2%, при этом внесенный азот активно включается во фракции глиадинов и глютеинов – белков, образующих клейковину. Это приводит к повышению ее содержания на 3–5% и улучшению хлебопекарных качеств пшеничной муки.

Некорневая подкормка пшеницы азотом особенно эффективна на поливных участках: содержание белка в зерне пшеницы оказывается нередко выше, чем на богаре (без полива).

С помощью некорневых подкормок можно повысить сахаристость корнеплодов сахарной свеклы. Ко времени уборки этой культуры в листьях остается 3–4% сахарозы. Для того чтобы переместить ее из листьев в корнеплоды, применяют предуборочную (за 3–4 недели до уборки) некорневую подкормку растений фосфорно-калийными удобрениями. Калий усиливает подвижность углеводов в листьях и способствует их оттоку в корнеплоды. Он не только активизирует транспорт сахарозы по флоэме, но и повышает активность амилаз – ферментов, при участии которых происходит гидролитическое расщепление крахмала в листьях с образованием транспортных форм углеводов. Калий необходим также для образования сахарозы в самих корнеплодах. Одновременное с калием внесение фосфора усиливает этот процесс. Поэтому уже через 2–4 дня после подкормки количе-

ство сахаров в листьях начинает уменьшаться, благодаря их оттоку в корни, а сахаристость корнеплодов в итоге повышается на 1–2%.

Для клевера и люцерны эффективна некорневая подкормка микроэлементами – бором и молибденом. Бор усиливает рост пыльцевых трубок, прорастание пыльцы, увеличивает количество цветков и плодов, положительно влияет на образование семян, ускоряет их созревание. Поэтому при выращивании клевера на семена подкормка бором очень желательна.

Молибден улучшает образование клубеньков на корнях, способствует лучшей фиксации азота из воздуха и накоплению белков в растениях, повышает качество урожая сена и семян.

Некорневыми подкормками можно влиять и на химический состав технических культур. Например, продуктивность эфирноносных растений, у которых эфирное масло добывается из вегетативных органов (мята, герань, базилик), можно повысить на 40–70% путем подкормки азотом перед цветением. Внесение азота задерживает процессы физиологического старения листьев, удлиняет период активного синтеза эфирных масел и увеличивает выход этого продукта. Фосфорная кислота, внесенная в этот период, наоборот, ускоряет старение листьев и снижает накопление эфирного масла.

Подкормка азотом растений, у которых эфирное масло добывается из соцветий или семян (кориандр, анис, шалфей, фенхель), задерживает сроки наступления цветения и созревания семян и значительно уменьшает сбор эфирного масла.

Следует учитывать, что некорневая подкормка не может заменить основного удобрения и может рассматриваться только как дополнительный прием, так как без основного удобрения она не обеспечивает нормального роста растений, не позволяет заметно повысить урожайность сельскохозяйственных культур. Задача некорневой подкормки состоит в повышении качества продукции растениеводства.

Недостаток питания растений через листья состоит в том, что при опрыскивании можно использовать только сильно разбавленные растворы (0,5–2%-ные) и дать растению только небольшое количество питательных веществ, несоизмеримое с количеством, поглощаемым корневой системой и необходимым для полного обеспечения растения данным элементом. Многие минеральные соли даже в небольших концентрациях вызывают ожоги листьев.

Поэтому растворы не всех солей одного и того же питательного элемента можно применять для некорневых подкормок.

Из азотных удобрений для этой цели лучше подходят растворы мочевины, которая, в отличие от других форм азотных удобрений, не обжигает листья даже в повышенной концентрации (20%-ный раствор). Она хорошо усваивается растениями и может поглощаться клетками листьев в виде целой молекулы.

Использование мочевины для синтеза органических азотистых веществ в растениях осуществляется благодаря наличию у них активного фермента - уреазы, который подвергает мочевину гидролизу с образованием аммиака, идущего на синтез аминокислот и амидов.

Некорневые подкормки фосфором практически не используются. Нормальный рост растений обеспечивается только при поступлении фосфора через корни. Через листья можно давать лишь небольшие количества этого элемента от общей потребности растений: при выращивании бобов, кукурузы, томатов – до 14%; при выращивании яблони, груши – 8–12%.

Дозы удобрений для внесения в подкормку определяют по результатам почвенной и растительной диагностики.

Ориентировочные дозы, используемые под озимые, составляют 30–60 кг/га азота (но не более 80), под лен – 20–40, картофель – по 30–40 кг/га азота и калия, кукурузу – 40 кг/га азота, многолетние травы – 20–40 кг/га азота. Если до посева многолетних трав под покровную культуру было мало внесено удобрений, то рекомендуется после уборки покровной культуры подкормить равы фосфором и калием (по 40–60 кг/га).

Подкормки озимых можно проводить рано весной при возобновлении вегетации (продолжение фазы кущения), в начале фазы выхода в трубку и летом в период колошения–цветения. Кукурузу подкармливают при первой междурядной обработке, сахарную свеклу – после прорывки, картофель – через две недели после появления всходов, лен – в фазу «елочки».

Во всех случаях подкормка – вынужденный прием и она оправдывает себя при следующих обстоятельствах:

- если до посева удобрения не применяли или их было внесено недостаточно;

- при подкормке озимых зерновых для улучшения их роста и повышения урожайности, особенно после неблагоприятной зимовки, а также летом для повышения качества зерна;
- в условиях орошения при частых поливах и длительном периоде вегетации культур;
- при высоких дозах минеральных удобрений, когда разовое их внесение может повысить концентрацию почвенного раствора и отрицательно отразиться на развитии растений;
- на почвах легкого гранулометрического состава в зонах достаточного и избыточного увлажнения;
- при подкормке многолетних трав в полевых севооборотах, когда всю дозу фосфорно-калийных удобрений не удалось внести под покровную культуру;
- при внесении под плодово-ягодные культуры и травы на многолетних культурных пастбищах.

Удобрение, внесенное в виде подкормки, позволяет эффективно регулировать питательный режим в наиболее важные периоды развития растений, влиять на величину и качество урожая, а также повышать адаптационные возможности растений к изменяющимся условиям выращивания.

Целесообразность и дозы удобрений при подкормках уточняют по результатам почвенно-растительной диагностики минерального питания растений.

В зависимости от биологических особенностей культур, общей дозы удобрений, плодородия почвы и других условий, возможны различные комбинации приемов внесения удобрений. При высоких дозах удобрений целесообразно сочетание всех трех приемов – допосевного, припосевного (в рядки) и в подкормку. При этом удобрения размещаются в разных слоях почвы, что создает хорошие условия для питания растений в течение всего вегетационного периода.

2. СВОЙСТВА ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ И ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ

2.1. Характеристика отдельных фаз почв

Согласно Государственному стандарту *почва* – это самостоятельное естественно-историческое органоминеральное природное тело, возникшее на поверхности Земли в результате длительного воз-

действия 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.

Она 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.

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 слабоокультуренных 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 потребляется 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.

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 немыслимы 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.

Почвенная вода, примыкающая к почвенным частицам, в силу большого притяжения теряет всякую способность к передвижению и находится в состоянии, близком к твердому. Она получила название гигроскопической.

Водный режим почвы, а, следовательно, и эффективность удобрений во многом зависят от ее влагоемкости и водопроницаемости. Влагоемкость - 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 влагоемкостью, но зато высокой водопроницаемостью. Это нужно учитывать при определении наличия полезной влаги в почве и при применении удобрений.

Вода с растворенными в ней веществами (солями, кислотами, основаниями и т.д.), газами и содержащимися в ней микроорганиз-

мами 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-} постоянное пополнение этих ионов.

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. Она 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 микроорганизмов), произошли глубокие изменения, которые и привели к образованию на поверхности земной коры почвенного покрова.

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.

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 глины) - 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.

2.2.Классификация агрономических свойств почвы

На почву, как и на любую сущность, можно взглянуть с разных точек зрения. Человека, чаще всего, почва интересует как среда для выращивания пищи.

Совокупность свойств, которые интересны с точки зрения возделывания сельскохозяйственных культур, и называются *агрономическими*. К агрономическим могут быть отнесены такие свойства: общие физические, водные, воздушные, тепловые, агрохимические и некоторые другие свойства.

Общие физические свойства почвы

К общим физическим свойствам почвы относят: плотность твердой фазы, объемную массу и пористость (скважность, порозность).

Плотность твердой фазы – это масса 1 см^3 твердой фазы почвы или отношение массы твердой фазы почвы к массе равного объема воды при 4°C . Плотность твердой фазы минеральных почв в среднем

составляет 2,50—2,65 г/см³, а торфяников не превышает 1,4—1,8 г/см³.

Объемная масса (плотность сложения) – это масса 1 см³ почвы, взятой без нарушения ее природного состояния и высушенной при 105°C (абсолютно сухой). Объемная масса пахотного горизонта колеблется от 0,9 до 1,6 г/см³. У торфяно-болотных почв объемная масса может быть от 0,2 до 0,5 г/см³.

Пористостью (скважностью, или порозностью) называют объем всех пор почвы, выраженный в процентах ее общего объема. Если принять объем пахотного горизонта минеральных почв за 100%, то 40—50% этого объема составляет твердая фаза почвы, а 50—60% приходится на скважины. Этот объем называется общей пористостью. Оптимальная величина объемной массы суглинистых и глинистых почв для сельскохозяйственных культур составляет 1,0—1,3 г/см³, а общей пористости — 50—60%.

Водные свойства почв

Водными свойствами почвы называют такие, которые определяют поведение почвенной влаги.

Водоудерживающая способность почв количественно может характеризоваться величинами гигроскопической влажности и полевой влагоемкости.

Гигроскопическая влажность – это количество парообразной воды, которое может поглощать (сорбировать) сухая почва вследствие притяжения поверхностью почвенных частиц. Наибольшее количество воды почва поглощает из воздуха, насыщенного водяными парами до относительной влажности около 100%. Эта величина называется *максимальной гигроскопичностью*.

Растениям гигроскопическая влага недоступна.

Устойчивое увядание растений начинается при содержании влаги в почве, в 1,3—1,5 раза большем, чем величина максимальной гигроскопичности. На глинистых почвах завядание растений начинается при 15—22% влажности, на песчаных — только при 1—3%. на торфяных почвах растения могут завядать при 50% влажности.

Полевая влагоемкость – количество воды, удерживаемое почвой в течение длительного времени. Влажность песчаных почв при полевой влагоемкости составляет 4—10%, супесчаных — 10—20%, легко- и среднесуглинистых — 20—30%, тяжелосуглинистых и глинистых — 30—40%.

Величина полевой влагоемкости—важный агрономический показатель. Зная влажность почвы в процентах полевой влагоемкости, судят об обеспеченности растений водой, а в поливном земледелии устанавливают время полива.

Оптимальная влажность почвы в процентах полевой влагоемкости составляет для полевых, плодовых и ягодных культур 70—30%, для овощных 75—90%.

В агрономическом отношении важны и другие водные свойства почв: водопроницаемость и водоподъемная способность.

Совокупность процессов поступления влаги в почву, ее передвижения и расхода называют *водным режимом почвы*.

В зоне таежных лесов влага атмосферных осадков промачивает почву до грунтовых вод, потери влаги на испарение невелики. Такой водный режим называют *промывной водный режим*.

В степных районах страны сквозного промачивания почв не происходит. За летний период здесь испаряется почти вся поступившая влага. Данный водный режим называют *непромывной водный режим*.

При неглубоком залегании грунтовых вод (5—7 м) и небольшом количестве осадков в некоторых районах страны происходит капиллярный подток влаги к зоне испарения. Воды больше испаряется, чем поступает с осадками. Это *выпотной водный режим*.

Водный режим, складывающийся при искусственном орошении, носит название *ирригационный водный режим*.

Воздушные свойства почв

Быстрое восстановление концентрации кислорода в почвенном воздухе, который необходим для дыхания корней растений, деятельность многих микроорганизмов и реакции окисления происходят только в том случае, если почва обладает хорошими воздушными свойствами — воздухоемкостью и воздухопроницаемостью.

Воздухоемкость – объем занятых воздухом пор при влажности почвы, соответствующей полевой влагоемкости.

Воздухопроницаемость – свойство почвы пропускать через себя воздух.

Благоприятными воздушными свойствами обладают структурные почвы нормального увлажнения. На бесструктурных почвах, особенно при возникновении почвенной корки, нормальный газообмен нарушается.

Тепловые свойства почв

От тепловых свойств почвы, т. е. способности ее прогреваться и сохранять тепло, зависят многие процессы, происходящие в ней. Поэтому тепловые свойства почвы учитывают при сельскохозяйственном использовании земли.

Основной показатель, характеризующий тепловой режим почвы – ее температура. На температуру почвы влияет не только количество солнечной энергии, но и цвет, влажность, механический состав и рыхлость почвы, наличие растительности на ней, рельеф.

Весной тяжелые глинистые почвы прогреваются медленнее, чем легкие песчаные и супесчаные. Поэтому первые называют холодными, вторые – теплыми.

Осенью легкие почвы охлаждаются быстрее, чем тяжелые глинистые. Торфяно-болотные почвы по сравнению с другими прогреваются хуже днем и сильнее охлаждаются ночью. На них чаще бывают ночные заморозки. Рыхлые, сухие, богатые органическим веществом почвы прогреваются медленнее чем плотные, влажные и бедные гумусом.

2.3. Поглощительная способность и кислотность

Поглощительную способность почв обеспечивает почвенный поглощающий комплекс, под которым понимают совокупность минеральных, органических и органоминеральных частиц твердой фазы почвы, обладающих поглощительной способностью. В зависимости от способа поглощения, характера совершаемого при этом процесса различают следующие виды поглощительной способности: механическую, физическую, физикохимическую (обменную), химическую и биологическую.

Механическая поглощительная 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.

Физическая поглощительная способность - способность почвы удерживать на поверхности твердой фазы минеральные и органиче-

ские 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.

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.

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+ , $\text{K}+$, Al_3+ , NH_4+) не образуют в воде труднорастворимых 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+).

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.

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.

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 равновесие 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, К.К. Гедройц 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 положитель-

ный 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 гидроксидов 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 А). У минералов же группы монтмориллонита свободное пространство между пакетами значительно больше (в сухом состоянии 9,4 А, при набухании возрастает до 21 А), 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 межпакетные 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 черноземов 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 слое 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.

Емкость поглощения катионов почвой - максимальное количество обменных катионов, которые могут быть поглощены почвой. Емкость 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 Са). Если весь кальций (500 мг) вытеснить NH_4Cl , то вместо кальция по-

глотится 450 мг NH_4 и почва будет содержать 450 мг поглощенного аммония (эквивалент $\text{NH}_4 = 18$). Поэтому при обмене Са на NH_4 на место 20 мг Са 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 рН). Почвы, содержащие в большом количестве высокодисперсные частицы, отличаются высокой емкостью поглощения; емкость поглощения катионов у глинистых почв выше, чем у песчаных.

Разные группы почвенных коллоидов резко отличаются по емкости поглощения. Из глинистых минералов наибольшей емкостью поглощения обладают минералы группы монтмориллонита. Эти минералы характеризуются высокой степенью дисперсности, соответственно этому емкость поглощения катионов у монтмориллонита сравнительно велика - 60-150 ммоль/100 г минерала. Каолинит отличается малой дисперсностью и небольшой активной поверхностью. Соответственно невысока и его емкость 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 емкости обмена катионов гуминовыми кислотами различного происхождения определяются разным содержанием функциональных групп: гуминовые кислоты подзолистых почв имеют емкость обмена около 350 ммоль/100 г вещества (при рН = 7,0), а у гуминовых кислот чернозема и каштановых почв при тех же условиях - 400-500 ммоль/100 г. Поэтому черноземы имеют более высокую величину емкости поглощения (40-60 ммоль/100 г почвы) по сравнению с дерново-подзолистыми почвами (10-15 ммоль/100 г). Емкость поглощения третьей группы высокодисперсных 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 емкости поглощения ими катионов.

С повышением рН увеличивается и емкость поглощения, так как возрастает отрицательный заряд коллоидов и, следовательно, поглощительная способность по отношению к катионам.

Обменная поглощительная способность зависит от состава почвенных коллоидов. Чем больше в составе мелкодисперсной фракции почвы органического вещества и минералов глин монтмориллонитовой группы, тем выше бывает емкость поглощения. Способность органического вещества почвы к адсорбции катионов обусловлена кислотной (ацидоидной) природой перегнойных веществ, благодаря которой органические почвенные коллоиды имеют отрицательный заряд.

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 емкость 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 черноземного 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 $SiC > 2: (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$. На емкость 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 поглощенных катионов. Большая часть емкости поглощения черноземных 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 (КС1 на черноземе вытесняет Ca^{2+} , а на кислых почвах - Al^{+} и H^{+}). Состав поглощенных катионов может оказать существенное влияние на действие удобрений.

2. Состав поглощенных катионов влияет на состояние самого поглощающего комплекса (кальций и магний увеличивают емкость 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 водородом 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 почвы - соотношение концентрации H^{+} и OH^{-} ионов в почвенном растворе, выраженное через рН 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 зотная кислоты в разведенном растворе диссоциируют полностью, поэтому если к 1 л воды добавить 1 ммоль НС1 , то в растворе будет

около 1 ммоль H^+ , т.е. $0,001 \text{ г} = 1/\text{ЮЗ } H^+$. Упрощенно концентрацию ионов водорода выражают через рН (отрицательный логарифм концентрации ионов водорода). Так как в нейтральном растворе концентрация ионов водорода равна $0,0000001 = 10^{-7}$, 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 рН меньше 7 - это кислая реакция, рН равен 7 - нейтральная, рН больше 7 - щелочная.

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 поглощающем 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.

Различают активную кислотность и потенциальную, которая подразделяется на обменную и гидролитическую. Активная 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:

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.

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.

3. ХИМИЧЕСКИЕ МЕЛИОРАНТЫ

3.1. Отношение с/х культур к реакциям почвенной среды

Урожай сельскохозяйственных культур зависит от показателя рН почвы, поскольку он определяет: доступность питательных веществ (потенциал токсичности); активность микроорганизмов; восприимчивость организмов к заболеваниям; потенциальный вред культуре, которую наносят некоторые гербициды.

Усвоения элементов питания растениями происходит при соответствующей реакции почвенной среды. Считают, что оптимальные значения рН для усвоения растениями элементов питания из почвы следующие: азота - 6-8; фосфора - 6,25; калия и серы - 6-8,5; кальция и магния - 4,5-6; бора, меди и цинка - 5-7; молибдена - 7-8,5.

По степени кислотности и щелочности почвы делят на десять групп.

По логарифмической шкале, почву с рН 6 в 10 раз более кислый, чем с рН 7, а грунт с рН 5 в 100 раз более кислый, чем с рН 7.

Известны жидкости имеют такие показатели рН: сок лимонный - 3, сок апельсиновый - 4, молоко - 6, чистая вода - 7, морская вода - 8, мыльный раствор - 9. В чистой атмосфере без примесей осадки пидкисляются углекислым газом и рН достигает уровня 5,6. "Кислыми" считают осадки в виде дождя или снега со значением рН <5,6.

Карту, на которой нанесено ареалы кислых почв по степени кислотности называют картограммой кислотности. Ее используют: 1) при разработке проектов мелиорации; 2) нарезки полей севооборотов и планирования размещения сельскохозяйственных культур; 3) бонитировки и оценки земель; 4) дифференциации известкование и применение удобрений.

Для каждого вида растений есть благоприятный для роста и развития интервал реакции почвенной среды. Для большинства растений и почвенных микроорганизмов оптимальной является слабокислая и очень слабокислая реакция почвенной среды (рН_{сол} 6-7). Однако известны культуры, для которых лучшим является кислее среда, но они хорошо растут при широком интервала рН.

По отношению к кислотности почвы, а соответственно, и по реакции на известкование, сельскохозяйственные культуры условно разделяют на пять групп.

Первая группа культур - это чувствительные к кислотности почвы растения, которые нуждаются в нейтральной или слабощелочной реакции почвенного раствора (люцерна, донник, свекла, чеснок, капуста белокочанная, салат, шпинат, сельдерей, горчица, яблоня, вишня, слива, смородина). Они активно реагируют на внесение извести даже на слабокислых почвах.

Растения-кальциефилы (астра степная, поризник промежуточный, листовница европейская, кунжут, виноград, олива и др.) приспособлены к жизни на почвах, обогащенных кальцием, а также в местах выхода известняков, мела и других кальцийсодержащих пород.

Вторая группа культур - требует слабокислой и близкой к нейтральной реакции почвенного раствора. Они хорошо реагируют на известкование не только сильно-и среднекислых, но и слабокислых почв (пшеница, кукуруза, ячмень, соя, горох, подсолнечник, фасоль, бобы кормовые, вика, клевер, лисохвост, огурец, лук, капуста цветная, груша, крыжовник).

Третья группа культур - слабкочувствительны к повышенной кислотности почвенного раствора (рожь, овес, просо, гречиха, тимофеевка, редис, помидор, морковь, земляника). Они удовлетворительно растут в достаточно широком диапазоне рН почвенного раствора - от кислых до слабощелочных (рН 4,5-7,5), но лучшие для их роста почвы со слабокислой и близкой к нейтральной реакцией (рН 5,5-6,0). Эти культуры положительно реагируют на известкование среднекислых почв, объясняется не

только снижением кислотности, и эффектом улучшения минерального питания растений после известкования.

Четвертая группа культур - требует известкования только средне- и сильнокислых почв, но плохо переносит в почве избыток кальция. Так, картофель не реагирует на небольшую кислотность, а лен даже лучше растет за слабокислой реакции почвенного раствора. На перевапнованных почвах, в том числе за недостаточного внесения минеральных удобрений, прежде всего калийных, снижается качество продукции: клубни картофеля очень повреждаются паршой и в них снижается содержание крахмала, а лен поражается кальциевым хлорозом, что ухудшает качество волокна. Это связано не столько с нейтрализацией кислотности, сколько с уменьшением доступности из почвы бора, цинка, меди и повышением концентрации ионов кальция

в почвенном растворе, что затрудняет поступление в растения катионов, например калия и магния. В севооборотах с большой долей картофеля и льна в случае внесения высоких норм минеральных удобрений, в частности калийных, известкование можно проводить полной нормой. Для этого лучше всего использовать доломитовую муку, содержащее кальций и магний. При известковании снижается доступность для растений соединений бора, цинка, меди из почвы, что требует внесения их с удобрениями. Выполнение этих условий способствует повышению производительности всех культур севооборота.

Пятая группа культур - достаточно устойчивы к кислой среде. Растения ацидофиты: люпин, сераделла, картофель, лен, щавель, рис и другие растут на почвах с рН 4,0-6,0, а оптимальным для них рН 4,5-5,0. Они плохо растут на щелочных и даже нейтральных почвах. Для них потребность в известковании возникает только на очень сильнокислых почвах. Наличие катионов кальция в почвенном растворе снижает всхожесть семян этих культур и негативно влияет на их начальный рост.

Некоторые растения требуют особенно кислых условий для роста (черника, рододендроны, каштаны). Поэтому в некоторых случаях может возникнуть необходимость в снижении рН почвы. Например, чтобы улучшить рост черники необходим рН почвы 5 и ниже. Показатель рН можно снизить с помощью элементарной серы.

В целом большинство выращиваемых сельскохозяйственных культур положительно реагирует на ликвидацию избыточной кислотности почвы после известкования.

Негативное воздействие кислотности почвы на растения состоит из прямого действия повышенной концентрации ионов водорода и многих побочных факторов. Прямым ее следствием является ухудшение развития корневой системы и ее впитывающие способности. Особенно чувствительны растения к повышенной кислотности почвы в начале роста. Ухудшается рост и ветвление корневой системы, физико-химическое состояние плазмы клеток корня, снижается их проницаемость, поэтому ухудшается поглощения растениями питательных веществ почвы и удобрений.

При высокой кислотности раствора ионы водорода, проникая в большом количестве в ткани растений, подкисляют клеточный сок. Это тормозит биохимические процессы в растении. Кислая реакция ослабляет синтез белковых веществ в растениях уменьшается содер-

жание общего азота, а количество небелкового азота увеличивается; подавляется преобразование моносахара сложные органические соединения. Кислая реакция негативно влияет на закладку генеративных органов.

Побочное токсическое действие кислотности почвы многосторонняя. Кислые почвы имеют худшие свойства (физические, физико-химические, структуру, емкость поглощения, буферность), снижается деятельность полезных почвенных микроорганизмов, в том числе азотфиксирующих, минерализация органических веществ, уменьшает доступность для растений элементов питания.

При повышенной кислотности почвы увеличивается подвижность в нем алюминия, железа, марганца. К высокой концентрации в почвенном растворе алюминия особенно чувствительны клевер, люцерна, рожь и пшеница (при перезимовке), ячмень, горох, свекла, лен, гречка. Они подавляются уже при содержании алюминия 20-30 мг / кг. При этом также ухудшается фосфорное питание растений. Это объясняется связыванием доступных фосфатов алюминием и железом в нерастворимые и труднорастворимые оксиды.

Следует указать, что между чувствительностью к кислотности и подвижностью алюминия в почве нет прямой зависимости. Например, лен предпочитает кислой почвы, но очень чувствителен к наличию в нем алюминия и марганца, а кукуруза устойчива к содержанию алюминия, но страдает от высокой кислотности почвы. Капуста белокочанная Среднечувствительные к содержанию марганца, но страдает при высокой кислотности почвы.

В кислых почвах уменьшается подвижность молибдена, поэтому его может не хватать для питания растений, в частности бобовых. В почвах с кислой реакцией, особенно песчаных и супесчаных, мало подвижных соединений кальция и магния, в результате чего нарушается питание растений этими макроэлементами.

Итак, для получения высоких урожаев и повышения эффективности удобрений нужно проводить известкование кислых почв, в том числе и черноземов. Декальцинация черноземов, особенно пахотного слоя, является результатом периодического промывания верхней части профиля и резко отрицательного баланса кальция в земледелии.

3.2. Известкование кислых почв

Известкование – внесение в почву кальция и магния в виде карбоната, окиси или гидроокиси для нейтрализации кислотности. По результатам агрохимического обследования на 1 января 2005 года в РФ кислые почвы ($pH \leq 5,5$) занимали 34,7 млн. га пашни, или 32,4 % от обследованной пашни (107,1 млн. га).

Известкование имеет первоочередное значение среди всех мероприятий по сохранению и повышению почвенного плодородия кислых почв и должно предшествовать использованию всех агротехнических мероприятий. Особенно важен этот прием химической мелиорации при применении в земледелии минеральных удобрений и возделывании высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур, эффективность которых при использовании на кислых почвах снижается на 30-40%.

Повышенная кислотность почвенного раствора отрицательно влияет на растение: ухудшаются рост и ветвление корней, проницаемость клеток корня (поэтому ухудшается использование растениями воды и питательных веществ почвы и удобрений), нарушается обмен веществ в растениях.

Помимо непосредственно отрицательного влияния, повышенная кислотность почвы оказывает на растение многостороннее косвенное действие. Кислые почвы имеют неблагоприятные биологические, физические и химические свойства. Коллоидная часть их бедна кальцием, магнием и другими основаниями, а насыщение водородом минеральных коллоидных частиц приводит к постепенному их разрушению.

Соединения кальция с пектиновыми веществами участвуют в формировании клеточных стенок и склеивают между собой отдельные клетки. Катионы кальция играют важную роль в стабилизации структуры мембран, оказывают влияние на поступление других ионов в клетку. Катионы кальция принимают участие в создании необходимого ионного равновесия, определяющего благоприятное физико-химическое состояние протоплазмы. Кальций активирует ряд ферментных систем клетки, играет важную роль в передвижении углеводов, оказывает влияние на превращение азотсодержащих веществ.

Магний необходим для фотосинтеза: входит в состав хлорофилла и стабилизирует структуру хлоропластов, выполняет структурооб-

разующую роль, входит в состав мембран и клеточных стенок. Он участвует в создании необходимого ионного равновесия в цитоплазме, активирует деятельность большого числа ферментов (около 300), катализирующих различные биохимические реакции. Играет важную роль в обмене азота и фосфора и участвует в передвижении фосфора в растениях. Участвует в процессах обмена углеводов, ускоряет отток подвижных углеводов в репродуктивные органы и синтез крахмала. Он регулирует направленность окислительно-восстановительных процессов, способствуя накоплению восстановленных соединений – жиров, эфирных масел и так далее.

Отрицательное влияние повышенной кислотности в значительной степени связано с увеличением подвижности алюминия и марганца в почве, повышением содержания их в почвенном растворе, что неблагоприятно для растений. Особенно очень чувствительны к повышенному количеству подвижного алюминия клевер, люцерна, озимая пшеница и рожь (при перезимовке), свёкла, лук, чеснок, салат, шпинат; чувствительные – пшеница, лён, горох, гречиха, ячмень; средне чувствительные – просо, томат, люпин, редис, морковь, картофель, кукуруза. Эти культуры страдают при содержании его в почве свыше 2-3 мг/100 г.

Повышенную концентрацию подвижного марганца переносят без вреда овёс, тимофеевка, овсяница; чувствительные – яровая пшеница, ячмень, горох, вика, клевер, картофель, кукуруза, рапс, турнепс, брюква, морковь, белокочанная; очень чувствительные – озимые зерновые (пшеница и рожь), люцерна, лён, сахарная, кормовая и столовая свёкла.

При высоком содержании подвижного алюминия, марганца и железа в кислых почвах усиливается связывание усвояемых форм фосфора с образованием нерастворимых и малодоступных растениям фосфатов полутороксидов, ухудшается питание растений фосфором.

В кислых почвах уменьшается подвижность молибдена, и его может не хватить для нормального роста растений, особенно бобовых. В отличие от молибдена для целого ряда других элементов, относящихся к тяжелым металлам (свинец, кадмий, цинк, медь, никель, хром), характерно увеличение подвижности в почве при подкислении. В кислых почвах опасность аккумуляции этих тяжелых металлов в растениях и получаемой продукции возрастает.

В кислых почвах сильно подавлена деятельность полезных почвенных микроорганизмов, особенно азотфиксирующих свободноживущих и клубеньковых бактерий, для развития которых наиболее благоприятна нейтральная реакция.

Слабо протекает образование доступных для растений форм азота, фосфора и других питательных веществ вследствие ослабления минерализации органического вещества. В то же время повышенная кислотность способствует развитию в почве грибов, среди которых много паразитов и возбудителей различных болезней растений.

Способы и сроки внесения известковых удобрений в почву

Необходимо применять такой способ заделки извести, при котором обеспечивается хорошее перемешивание её со всем пахотным слоем почвы, – под плуг с осени под зяблевую обработку или весной под перепашку зяби, лучше всего вместе с органическими удобрениями (навозом, торфом, компостами). При использовании фосфоритной муки её лучше вносить под вспашку зяби, а известь – под перепашку или культивацию. С организационно-хозяйственной точки зрения, наиболее удобно проведение известкования в парующих полях. Известкование можно проводить и зимой.

При зимнем известковании приходится учитывать ряд требований. Не рекомендуется проводить известкование:

- на полях с уклоном 3-4°;
- при глубине снежного покрова более 20-30 см;
- на затопляемых весенними паводками угодьях;
- при температуре воздуха ниже 10-12°С.

В летнее время нельзя проводить известкование:

- при влажности почвы более 20%;
- при глубине колеи разбрасывания более 7-10 см;
- при высоте растений более 20-30 см;
- во время дождей.

Следует помнить, что известь, внесенная на поверхность почвы, должна быть заделана в почву. До тех пор, пока она находится на поверхности почвы, не окажет положительного влияния. Только при тщательном перемешивании с почвой известь сильнее нейтрализует кислотность в ней.

Глубина заделки извести имеет существенное значение только для первой культуры. При дальнейшей обработке почвы (вспашке зя-

би, перепашке пара, весенней перепашке) она будет перемешана с почвой пахотного слоя.

3.4.Химическая мелиорация щелочных почв

В соответствии со статьей 9 ФЗ Химическая мелиорация земель состоит в проведении комплекса мелиоративных мероприятий по улучшению химических и физических свойств почв. При химической мелиорации из корнеобитаемого слоя почвы удаляются вредные для с.-х. растений соли, в кислых почвах уменьшается содержание водорода и алюминия, а в солонцах — натрия, присутствие которых в почвенном поглощающем комплексе ухудшает химические, физико-химические и биологические свойства почвы и снижает почвенное плодородие.

Способы химической мелиорации: 1) известкование почв (в основном в нечернозёмной зоне) — внесение известковых удобрений для замены в почвенном поглощающем комплексе ионов водорода и алюминия ионами кальция, что устраняет кислотность почвы; 2) гипсование почв(солонцов и солонцеватых почв) — внесение гипса, кальций которого заменяет в почве натрий, для снижения щёлочности; 3) кислование почв (с щелочной и нейтральной реакцией) — подкисление почв, предназначенных для выращивания некоторых растений (например, чая) при внесении серы, дисульфата натрия и др. К химической мелиорации относят также внесение органических и минеральных удобрений в больших дозах, приводящее к коренному улучшению питательного режима мелиорируемых почв, например песчаных.

Гипсование почв – это внесение в почву гипса для устранения избыточной щёлочности, вредной для многих с.-х. растений; способ химической мелиорации солонцов и солонцеватых почв. Гипсование основано на замене натрия, поглощённого почвой, кальцием, в результате чего улучшаются её неблагоприятные физико-химические и биологические свойства и повышается плодородие. Дозы гипса (устанавливают по количеству натрия в корнеобитаемом слое почвы, который необходимо заместить кальцием) от 3—4 до 10—15 т/га, наибольшие — на содовых солонцах. Гипс вносят в 2 приёма: перед вспашкой и после неё под культивацию. На солонцеватых почвах, содержащих меньшее количество натрия, чем солонцы, гипс (3—4 ц/га) вносят в рядки вместе с семенами. Гипсование почв проводят в комплексе с агротехническими мероприятиями: глубокая вспашка (на

40—50 см) с перемешиванием солонцового слоя (это даёт возможность переместить гипс, содержащийся в подпахотном слое, в пахотный слой), орошение, внесение органических удобрений, снегозадержание и задержание талых вод, посев многолетних трав.

Для гипсования почв применяют в основном сыро-молотый гипс (из природных залежей), фосфогипс — отходы производства удобрений, отходы содовой промышленности. Продолжительность перехода солонцов под действием гипса в культурную почву, т. е. мелиоративный период, 8—10 лет в неорошаемых условиях и 5—6 лет при орошении. Средняя прибавка урожая зерна при внесении гипса составляет в чернозёмной зоне (без орошения) 3—6 ц/га, в зоне каштановых почв 2—7 ц/га. На орошаемых землях эффективность гипсования почв повышается.

4. АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

4.1. Азот в жизни растений

Азот — один из основных и важнейших элементов питания растений. Он входит в состав белков (16-18% их массы), которые являются составной частью протоплазмы растительных клеток. Азот входит в состав нуклеиновых кислот (рибонуклеиновая кислота — РНК и дезоксирибонуклеиновая — ДНК), играющих важную роль в обмене веществ в организме и передаче наследственных функций. Он входит в состав ферментов, выполняющих роль катализаторов во многих окислительно-восстановительных процессах растений. Азот является составной частью хлорофилла. Без азота хлорофилл не образуется. Он также входит некоторых других соединений как, например, фосфатиды, алкалоиды.

Азот среди элементов минерального питания наиболее мощный регулятор роста, хотя это не гормональное вещество. Регулированием уровня азотного питания можно добиться увеличения урожайности у зерновых, кормовых и овощных культур за счёт роста ассимиляционного листового аппарата, у плодовых — за счёт увеличения размера плодов, повышения их числа, усиления дифференциации плодовых почек и уменьшения осыпания плодов.

Содержание азота в растениях различно, зависит от биологических свойств, фазы развития, применяемых удобрений. Больше его в бобовых (3-4%), меньше всего в плодово-ягодных, овощных и кормо-

вых культурах (0,01-0,5%), зерновые занимают промежуточное положение (2-3%) (табл. 4, 5).

Таблица 4 – Содержание азота в урожае различных сельскохозяйственных культур, % к общей массе (Минеев В.Г., 2006)

Культура	Зерно	Солома	Культура	Зерно	Солома
Озимая пшеница	2,8	0,45	Вика	4,55	1,40
Озимая рожь	2,2	0,16	Лён (семена)	4,00	0,62
Яровая пшеница	3,4	0,67	Люцерна (сено)	-	2,60
Ячмень	2,1	0,50	Клевер (сено)	-	1,97
Овёс	2,3	0,65	Люпин (зел. масса)	-	0,55
Гречиха	1,8	0,80	Картофель	0,32	0,30
Горох	4,5	1,40	Турнепс	0,18	0,30

Внесение удобрений, и особенно азотных, значительно увеличивает содержание его в растениях. На содержание азота большое влияние оказывает плодородие почвы и агротехника возделывания растений. В зерновых культурах, выращиваемых на окультуренной дерново-подзолистой почве, содержание его может быть на 0,5-2,0% выше, чем выращенной на бедной по содержанию элементами почве.

Таблица 5 – Содержание азота в овощах и плодах, % на сырую массу (Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н., 1988)

Культура	N	Культура	N
Капуста белокочанная	0,39	Томат	0,26
Капуста цветная	0,40	Огурец	0,13
Перец сладкий	0,24	Яблоня	0,01
Лук репчатый	0,26	Груша	0,01
Чеснок	1,12	Земляника	0,03
Морковь	0,14	Вишня	0,02

Вынос и динамика потребления азота растениями. В начальный период роста растение потребляет азот мало, но недостаток его резко сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур, это нельзя исправить последующим внесением азотных удобрений. Этот период называется критическим. У зерновых злаков уже в период разворачивания первых 3-4 листочков начинаются закладка и дифференциация репродуктивных органов – колоса или метелки. Недостаток азота в это время даже при усиленном питании в дальнейшем приводит к уменьшению числа колосков в метелке или колосе и снижению урожая. Для удовлетворения растений в азоте в этот период рекомендуется вносить азотные удобрения при посеве 10-30 кг/га.

У плодовых культур критический период в отношении азота отмечается весной. Растения наиболее интенсивно поглощают и усваи-

вают азот в период максимального роста и образования вегетативных органов (стеблей и листьев).

С периода плодоношения у плодово-ягодных культур ежегодно проходят два периода интенсивного потребления элементов: весной при распускании почек, цветении и образовании листьев и после сбора плодов осенью при накоплении запасных пластических веществ, накапливаемых как в корнях, так и древесине, коре штамба и ветвях и второй волны роста корней. Весенний период почти в три раза интенсивнее по всем элементам, чем осенний период.

По динамике и интенсивности поглощения азота в период вегетации культуры очень сильно отличаются между собой. Так, ячмень к началу фазы колошения потребляет до 71% азота, сахарная свёкла, картофель, капуста, озимые отличаются более продолжительным или растянутым периодом потребления азота. Капуста наибольшее количество азота потребляет в июле – августе, морковь – в конце августа – сентябре. Поступление его в огурцы возрастает постепенно, достигая максимума в период наибольшего роста завязей.

Для культур с коротким периодом потребления необходимо обеспечить азотное питание до посева, а с длинным – есть смысл использовать подкормки.

Из физиологически устаревших частей растений, в которых преобладает распад белка, продукты его гидролиза передвигаются в молодые растущие вегетативные, а затем репродуктивные органы, где снова используются на синтез белка. Поэтому растущие органы растений отличаются повышенной концентрацией азота. В листьях она обычно выше, чем в стеблях и корнях. По мере старения относительное содержание азота в тканях вегетативных органов снижается. Например, в фазе кущения зерновых злаков оптимальная для их роста и развития концентрация азота составляет 4-6% на сухое вещество (что значительно выше, чем в зерне даже сильной пшеницы), к фазе трубкования она снижается до 3,5- 5,0%, а к колошению – до 3,0-3,5%.

Вынос азота урожаями сельскохозяйственных культур. Общий вынос азота зависит от биологических особенностей культур, сорта, урожайности, почвенно-климатических условий, удобрений. Ранние сорта характеризуются более высоким выносом на единицу продукции. Из овощных культур высоким выносом характеризуются цветная капуста (9,5 кг на 1 т).

Вынос азота растениями из почвы возрастает с увеличением урожайности сельскохозяйственных культур. Капуста, картофель, сахарная свёкла, хлопчатник, подсолнечник, капуста, столовые корнеплоды и силосные культуры для создания высокого урожая потребляют гораздо больше азота, чем зерновые и плодово-ягодные

У корне- и клубнеплодов, подсолнечника в зависимости от условий выращивания может сильно изменяться структура урожая. Это вызывает резкие различия в размерах потребления азота. Например, в лесостепных районах на каждые 10 т урожая корнеплодов и соответствующего количества ботвы сахарная свёкла потребляет 50 кг азота, в Нечерноземной зоне свёкла формирует больше ботвы, и на каждые 10 т корнеплодов ей требуется 80-100 кг азота.

Уровень азотного питания определяет размеры и интенсивность синтеза белка и других азотистых органических соединений в растениях, ростовые процессы. Недостаток азота особенно сильно сказывается на росте вегетативных органов. Слабое формирование фотосинтезирующего листового и стеблевого аппарата вследствие дефицита азота, в свою очередь, ограничивает образование органов плодоношения и ведет к снижению урожая и уменьшению количества белка в продукции.

Избыточное азотное питание ухудшает и качество продукции. В корнеплодах сахарной свеклы снижается концентрация сахара и возрастает в процессе сахароварения содержание «вредного» небелкового азота, у картофеля снижается содержание крахмала, в овощной и бахчевой продукции и кормах накапливаются потенциально опасные для человека и животных количества нитратов. Основные источники азотного питания растений.

Основными источниками азота для растений в естественных условиях служат соли азотной кислоты и аммония, нитриты и органические соединения азота, такие как моче- вина и аминокислоты; поглощение идет в виде анионов NO_3^- и катионов NH_4^+ .

4.2. Азот в почве. Баланс азота в земледелии

Азот - один из самых распространенных элементов на Земле, причем основная его масса (около $4 \cdot 10^{15}$ т) сосредоточена в свободном состоянии в атмосфере. В воздухе свободный Азот (в виде молекул N_2) составляет 78,09 % по объему (или 75,6 % по массе), не считая незначительных примесей его в виде аммиака и оксидов. Однако

из-за высокой прочности тройной связи (молекула азота очень прочная), а ее реакционная способность низка. В результате ни одно животное или растение не способны усвоить газообразный азот из воздуха.

Находящийся в атмосфере молекулярный азот могут усваивать лишь некоторые микроорганизмы и сине-зеленые водоросли.

Он самый дешевый элемент, если иметь в виду биологический азот. С экономической точки зрения азот самый дорогой элемент, если речь идет о техническом азоте. Затраты на производства тонны азота в 9 раз выше затрат на фосфор и в 11 раз — на калий.

Его уловить, им овладеть — вот в чем задача, его сберечь — вот в чем ключ к экономике; подчинить себе его источник, бьющий с неистощимой энергией, — вот в чем тайна благосостояния». Это высказывание любил повторять Д.Н. Прянишников,

Откуда же растения они получают этот элемент, необходимый им для синтеза белков и других важнейших компонентов организма? Животные получают азот в результате поедания растений и других животных. Растения извлекают азот вместе с другими питательными веществами из почвы, и лишь немногие бобовые растения могут усваивать азот из воздуха — и то не сами, а благодаря клубеньковым бактериям, живущим на их корнях.

Азот в почве. Твердая фаза почвы состоит из минеральной и органической частей, которые являются основными источниками питательных веществ для растений.

Около половины твердой фазы приходится на кислород, одна треть — на кремний, свыше 10 % — на алюминий и железо и лишь 7 % составляют остальные элементы. (таблица)

Основной источник азота для растений — соли азотной кислоты и аммония. Поглощение его из почвы происходит в виде анионов NO_3^- и катионов NH_4^+ , а также некоторых простейших органических соединений.

Однако содержание минеральных соединений азота, которые принимают участие в питании растений, незначительно и составляет всего 1–3 %. Остальная часть азота (97–99 %) находится в форме сложных органических соединений.

Поэтому обеспеченность этим элементов на любом типе почв будет определяться содержанием органического вещества и скоростью его минерализации. В гумуса сосредоточено около 5 % азота.

И вот эти сложные органические соединения в разных почвах и с неодинаковой скоростью в процессе минерализации преобразуются в доступные формы.

белки, гумусовые вещества → аминокислоты → амиды → аммиак → нитриты → нитраты

Все основные процессы минерализации связаны с распадом органических азотосодержащих соединений до аммиачных соединений, органических кислот, спиртов, углекислого газа и воды, что находит отражение и в их названии. Начальным процессом является *аммонификации*.

Белки и гумусовые вещества под действием ферментов микробных клеток (дезаминазы и дезамидазы), выделяемыми микроорганизмами переходят в аминокислоты и амиды, которые под действием микроорганизмов-аммонификаторов (бактерии, актиномицеты, плесневых грибов) преобразуются в аммиак, который может связываться с различными кислотами образуя соли аммиачные соли $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ NH_4NO_3 и поглощаются почвенными коллоидами.

Аммонийный азот легко вовлекается в процессы биологического поглощения, растения могут усваивать до 80 % его запасов. Благоприятные условия для этого — рН около 6, высокая концентрация ионов калия, кальция, магния и др.

Аммонификации способствуют высокое содержание азота в органическом веществе (узкое отношение C:N), наличия минерального азота в почве тепло и умеренное содержание воды в почве, аэрации.

Засуха, избыток влаги, недостаток кислорода и холод препятствуют аммонификации.

Аммонификация имеет положительное значение:

- трансформирует свежие органические остатки в почве;
- переводит органический азот в доступные растениям формы.

Но, одновременно, в процессе аммонификации уменьшается количество органического вещества в почве, возрастает подвижность азота и возможность его потерь (улетучивание, вынос в составе почвенного раствора и т. д.). Следовательно, интенсивность этого процесса необходимо регулировать в соответствии с биологией развития растений.

Аммонийная форма азота в почве находится в обменном (обменно-поглощенная почвенными коллоидами в почвенном растворе) и фиксированном (поглощенная глинистыми минералами) виде.

В аэробных условиях соли аммония окисляются до нитратов и процесс окисления аммиака до нитратов называют нитрификацией. Это явление впервые открыл Луи Пастер в XIX веке,

Он имеет две стадии с образованием азотистой кислоты

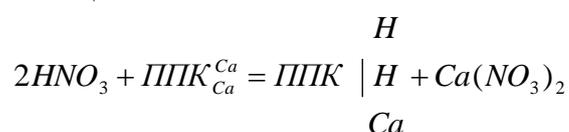


Микроорганизмы, ответственные за эту стадию процесса: *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis* и *Nitrosospira*.

Далее азотистая кислота под воздействием нитрифицирующих бактерий *Nitrobacter* осуществляет окисление нитритов до нитратов.



Образовавшаяся азотная кислота нейтрализуется бикарбонатом кальция или магния или поглощёнными основаниями



Как видно из приведенных уравнений, нитрификация — аэробный процесс, для ее интенсификации необходимы постоянный источник аммонийного азота и кислорода, оптимальная температура (около 20 — 25°C), при температуре почвы ниже 5—10°C нитрификация почти прекращается, влага (около 60 % от полной полевой влажности), реакция среды, близкая к нейтральной. При снижении почвенной кислотности нитрификационная способность почвы увеличивается (соответственно, в почве уменьшается содержание аммонийного азота).

Интенсивная нитрификация — один из признаков культурного состояния почвы, а её нитрифицирующая способность характеризует степень эффективного плодородия.

Нитрификацию можно усилить правильной своевременной обработкой почвы, известкованием кислых почв, внесением в севообороте хорошо подготовленных органических удобрений — навоза, компостов. Неперепревший солоmistый навоз, наоборот, ослабляет процесс нитрификации, так как усиливает потребление растворимых форм азота (не только нитратного, но и аммиачного) микроорганизмами в ущерб азотному питанию растений.

Преобразование соединений азота в почве не ограничивается только аммонификацией и нитрификацией. Наряду с минерализацией (разложением) азотсодержащих органических соединений в почвах наблюдаются и противоположные процессы: переход мине-

ральных соединений азота, доступных для растений, в недоступные органические вещества; потери азота из почвы в виде газообразных форм, а также биологическое поглощение азота.

В почве идут процессы денитрификация и хемоденитрификация.

Денитрификация – это восстановление нитратного азота почвы до свободного газообразного азота в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов - денитрификаторов.

Денитрификация идёт через промежуточные этапы:



нитрат нитрит гипонитрит закись азота молекулярный азот

Потери азота при денитрификации происходят вследствие того что денитрификаторы являются анаэробной микрофлорой и развиваются активно при отсутствии кислорода, а для своего дыхания используют кислород нитратов и восстанавливают азот до свободной молекулярной формы.

Благоприятные условия денитрификации

1. анаэробная среда
2. щелочная реакция
3. избыточное количество в почве органического вещества, богатого клетчаткой, глюкозой и другим энергетическим материалом
4. высокое увлажнение почвы
5. оптимальная температура 40-75°C.

Аммиачные и нитратные соединения азота обладают различной подвижностью в почве.

Катион NH_4^+ взаимодействуя с почвой, локализуется в очагах его внесения и слабо передвигается по профилю почвы. Катион аммония сначала поглощается обменно, проникая внутрь кристаллической решетки при расширении ее в связи с набуханием минерала. Затем, когда при высыхании происходит сжатие решетки, катионы оказываются «фиксированными» внутри ее, что делает их трудно вытесняемыми и малодоступными как корням, так и (в случае аммония) нитрифицирующим бактериям.

Но физической потери не происходит. С течением времени при дроблении кристаллов фиксированные катионы могут оказаться на внешней их поверхности и будут обменно вытеснены в почвенный раствор.

Анион NO_3^- легко перемещается в направлении тока влаги. Высокая подвижность нитратов в почве – положительный фактор при поверхностном внесении удобрений, особенно во время подкормки озимых зерновых культур. Но эта подвижность становится отрицательным фактором как при избыточном увлажнении, когда происходит вымывание нитратов, так и во время засухи, когда нитраты поднимаются с восходящим током влаги к поверхности почвы.

Баланс азота в почвах. В расходной части баланса учитывают вынос элементов питания с урожаем основной и побочной продукции, вынос с растительными остатками, вымывание нитратов, эрозию почвы и денитрификацию. Как показали проводимые исследования, из внесённых удобрений 30-60% азота используется растениями, 15-30 – аккумулируется в почве, 10-30 теряется в результате денитрификации 1- 5% вымывается в виде нитратов.

Естественное поступление азота осуществляется в результате биологической фиксации, с атмосферными осадками и семенами. В атмосфере над каждым гектаром почвы находится около 80 тыс. т азота, но молекулярный азот воздуха недоступен большинству растений (кроме бобовых). Только небольшое количество связанного азота (до 3-5 кг/га) образуется в самой атмосфере под действием грозовых разрядов и с осадками в виде аммиака, азотистой и азотной кислот поступает в почву.

Единственный естественный источник восстановления почвенных запасов этого элемента – процесс биологической фиксации молекулярного азота атмосферы. Гораздо большее значение для пополнения почвы азотом и питания растений имеет связывание (фиксация) молекулярного азота воздуха азотфиксирующими микроорганизмами, свободноживущими в почве (азотобактер, клубеньковыми бактериями, живущими в симбиозе с бобовыми растениями (симбиотическая азотфиксация), а также азотфиксирующими микроорганизмами в ризосфере небобовых растений (ассоциативная азотфиксация).

Свободноживущие и ассоциативные азотфиксаторы в тропической зоне, южных и умеренных широтах ассимилируют до 20-30 кг азота на 1 га, а в северных широтах при недостатке тепла, малом содержании органического вещества в почвах и неблагоприятной для азотфиксаторов кислой реакции – всего 5-10 кг/га.

4.3. Получение и классификация азотных удобрений

Производство различных азотных удобрений основано главным образом на получении синтетического аммиака из молекулярного азота и водорода. Азот получают пропуская воздух в генератор с горящим коксом, а источником водорода служит природный газ. Из смеси азота и водорода (в соотношении 1:3) при высокой температуре и давлении в присутствии катализаторов получают аммиак. При необходимости аммиак окисляют в азотную кислоту. Аммиак используется для производства аммонийных азотных удобрений, а азотная кислота идёт для получения аммонийно-нитратных и нитратных азотных удобрений.

Азотные удобрения в зависимости от формы соединения азота разделяют на следующие четыре группы

Нитратные удобрений - содержащие азот в нитратной форме, — натриевая селитра, нитрат калия и кальциевая селитры.

Аммонийные и аммиачные удобрений, в которых азот содержится в аммонийной форме, — сульфат аммония и хлористый аммоний или в аммиачной форме безводный аммиак и аммиачная вода.

Аммонийно-нитратные удобрений, содержащие азот одновременно в аммонийной и нитратной форме, например аммиачная селитра;

Амидные удобрений - азот находится в амидной форме, например мочевины.

Выделяют группу медленно действующих азотных удобрений.

Нитратные удобрения

Натриевая селитра (нитрат натрия, азотнокислый натрий, чилийская селитра) — NaNO_3 — содержит 16—16,4% азота и 26% натрия. В природе встречается в виде естественных залежей (чилийская селитра). Представляет собой мелкокристаллическую соль белого или буровато-желтоватого или сероватого цвета, хорошо растворимую в воде. Обладает заметной гигроскопичностью и при хранении в неблагоприятных условиях может слеживаться. В сухом состоянии обладает хорошей рассеиваемостью.

Удобрение хорошо растворяется в воде. При хранении в неблагоприятных условиях может слеживаться, в сухом состоянии хорошо рассеивается.

Кальциевая селитра (нитрат кальция, азотнокислый кальций, норвежская селитра) — $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ — содержит не менее 17,5% азота.

Удобрение белого цвета, хорошо растворима в воде, очень гигроскопична, что является его большим недостатком, осложняющим хранение, перевозку и применение. Поэтому ее хранят и перевозят в специальной водонепроницаемой упаковке. Для уменьшения гигроскопичности кальциевую селитру подвергают поверхностной обработке гидрофобными веществами, например парафинистым мазутом.

Натриевая и кальциевая селитры являются физиологически щелочными удобрениями. Растения в большом количестве потребляют из этих удобрений анионы азотной кислоты, чем катионы натрия и кальция, которые, оставаясь в почве, образуют основания и сдвигают реакцию в сторону подщелачивания. В связи с этим нитратные удобрения весьма эффективны на кислых дерново-подзолистых почвах.

Нитратный азот не поглощается почвой. Поэтому при внесении в почву нитратные удобрения сравнительно легко вымываются из пахотного слоя. Поэтому эти формы удобрений следует применять незадолго до посева под предпосевную культивацию и в подкормки растений во время вегетации. Очень хорошо использовать нитратные удобрения в подкормку под озимые, пропашные и другие культуры, натриевую селитру — в рядки при посеве сахарной свеклы, кормовых и столовых корнеплодов. Высокая эффективность натриевой селитры при внесении под корнеплоды связана с ролью натрия, который усиливает отток углеводов из листьев в корни, в результате повышается урожайность корней и содержание в них сахара.

К аммонийным удобрениям относят сульфат аммония, хлористый аммоний, а к аммиачным - аммиачная вода и безводный аммиак.

Сульфат аммония, сернокислый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - кристаллическая соль белого, желтоватого, зеленоватого или серого цвета, хорошо растворимая в воде, содержит 20,5-21 % азота и 24 % серы. Получают его улавливанием аммиака коксового газа серной кислотой Гигроскопичность - слабая, мало слеживается хорошо рассеивается.

Сульфат аммония - физиологически кислое удобрение, при систематическом применении подкисляет почву. Для нейтрализации 1 ц сульфата аммония необходимо 1,25 ц карбоната кальция (CaCO_3). Особенно сильно реагируют на подкисляющее действие сульфата аммония культуры, чувствительные к почвенной кислотности: клевер, пшеница, ячмень, свекла и капуста. Для этих культур сульфат аммония менее эффективен, чем нитратные удобрения.

Под ряд сельскохозяйственных культур, которые менее чувствительны к кислотности почвы (картофель, крестоцветные), сульфат аммония, благодаря наличию в нем серы, является одним из лучших азотных удобрений.

Хлористый аммоний - NH_4Cl содержит 24-25% азота и очень высокое содержание хлора до 66,6 %. Это белый или желтоватый мелкокристаллический порошок, хорошо растворимый в воде. Получают в незначительном количестве как побочный продукт при производстве соды.

С хлористым аммонием в почву вносятся большие количества хлора, что отрицательно действует на урожай и качество продукции культур, чувствительных к избытку данного элемента (картофель, табак, овощные и плодово-ягодные культуры, виноград, цитрусовые, лен, хлопчатник).

Зерновые, сахарная свекла и кормовые корнеплоды мало чувствительны к избытку хлора, поэтому хлористый аммоний можно применять для удобрения этих культур.

Для ослабления вредного действия хлора на растения хлористый аммоний следует вносить в почву с осени под зяблевую вспашку, при этом хлор вымывается из пахотного слоя почвы.

К аммиачным азотным удобрениям относят безводный (жидкий) аммиак и водный аммиак (аммиачная вода).

Безводный (жидкий) аммиак — NH_3 является самым концентрированным и самым дешевым удобрением, содержит 82,3 % азота. Хорошо используется растениями и по эффективности не уступает твердым азотным удобрениям.

Аммиак поглощается почвой и не вымывается, поэтому его можно вносить осенью или весной. Сразу после внесения в течение 12-15 дней аммиак подщелачивает, а затем (после перехода аммиака в нитраты) подкисляет почву. Для нейтрализации 1 ц безводного аммиака требуется 1,5 ц карбоната кальция (CaCO_3). Чтобы избежать потерь азота при внесении безводного аммиака в почву, его следует заделывать на глубину 12-16 см на суглинистых и на 16-20 см на супесчаных почвах. Для внесения безводного аммиака используют специальные машины АБА-0,5М, АБА-1, «Аммиак-2» и другие в агрегате с культиваторами КРН-4,2.

Безводный аммиак можно вносить в качестве основного удобрения и в подкормку с обязательной заделкой.

Водный аммиак (аммиачная вода) — раствор аммиака в воде представляет собой бесцветную или желтоватую жидкость. Выпускают его двух сортов: первый содержит 25% аммиака (20,5% азота), второй — 22% аммиака (18% азота). В водных растворах аммиака содержатся две формы азота – NH_3 и NH_4 . Благодаря этому азот водного аммиака закрепляется в почве прочнее, чем азот аммонийных удобрений возможность потерь азота. Хранят и транспортируют аммиачную воду в стальных герметических цистернах что бы снизить улетучивания аммиака при перевозке, хранении и внесении. Для избежания потерь аммиака при внесении аммиачной воды заделывать ее необходимо на глубину 10-12 см на суглинистых и 12-15 см на супесчаных почвах. Аммиачная вода, как и безводный аммиак, подкисляет почву.

Как и безводный аммиак, аммиачную воду можно вносить осенью в качестве основного удобрения практически под все культуры и особенно на связных по гранулометрическому составу почвах и весной перед посевом с одновременной заделкой в почву для уменьшения потери азота. На почвах легкого гранулометрического состава сроки внесения безводного аммиака и аммиачной воды желательно переносить на весну.

Не следует допускать внесения аммиачных азотных удобрений на одном и том же участке несколько лет подряд, так как в результате усиления минерализации органического вещества почвы, под действием этих удобрений может привести к снижению содержания органического вещества в почве.

Аммонийно-нитратные удобрений

Аммиачная селитра (MNH_4NO_3) содержит 34—35 % азота. Получается нейтрализацией азотной кислоты аммиаком.

Химическая промышленность выпускает аммиачную селитру двух марок марка А - кристаллическая и чешуйчатая селитра (для промышленности), марка Б - гранулированная (для сельского хозяйства). Гранулы аммиачной селитры сферической формы, белые. Аммиачная селитра обладает повышенной гигроскопичностью. При большей влажности удобрение начинает увлажняться, а при меньшей — подсыхать. Взрывоопасна. Хранить ее необходимо в сухом помещении, оборудованном противопожарными средствами.

Аммиачная селитра свободна от балластных веществ и может быть использована под любые сельскохозяйственные культуры на

всех почвенных разностях. Это физиологически кислое удобрение. Ее физиологическая кислотность обусловлена избирательным поглощением растениями аммонийного азота, а также процессами нитрификации аммонийного азота почвенными микроорганизмами.

В почве аммиачная селитра взаимодействует с почвенным поглощающим комплексом, катион NH_4 хорошо поглощается коллоидами почвы, а анион NO_3 остается в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность.

На кислых дерново-подзолистых почвах, содержащих в поглощенном состоянии мало кальция и много ионов водорода, в почвенном растворе образуется азотная кислота, вследствие чего он подкисляется. Следует отметить, что подкисление носит временный характер, так как исчезает по мере потребления нитратного азота растениями.

Удобрение пригодно для основного внесения, припосевного применения (в частности, под картофель) и в подкормку. Особенно целесообразно использовать аммиачную селитру для поверхностного внесения при подкормке озимых, лугов и пастбищ. Можно применять ее и для подкормки пропашных, овощных, плодовых и ягодных культур с обязательной заделкой в почву.

Под яровые культуры аммиачную селитру следует вносить весной во время предпосевной культивации во избежание потерь азота от вымывания.

Амидные удобрения

К этой группе относится мочевина или карбамид $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ содержит 46 % азота – это самое концентрированное из твердых азотных удобрений. Производится на основе синтетического аммиака и угольной кислоты.

В процессе производства гранулированной мочевины под влиянием высокой температуры может образоваться некоторое количество биурета, который в высоких концентрациях более 2,7 % токсичен для растений.

Химическая промышленность выпускает мочевины с содержанием биурета, не превышающим 0,9 %.

При внесении мочевины в почву под влиянием уробактерий в течение двух-трех дней она превращается в углекислый аммоний. Под действием нитрифицирующих бактерий ионы аммония переходят в

нитраты. Таким образом, мочеви́на является биологически кислым удобрением.

Мочевину можно применять как основное удобрение, а также в виде подкормок не только прикорневых, но и некорневых.

Поверхностное внесение мочевины в виде подкормок озимых культур, лугов и пастбищ снижает ее эффективность по сравнению с аммиачной селитрой, что объясняется потерей аммиака. Поэтому мочеви́ну надо использовать под пропашные и овощные культуры, а аммиачную селитру в подкормку.

Мочевина - лучшая форма азотного удобрения для некорневой подкормки овощных и плодовых культур, а также поздней подкормки зерновых культур для повышения белковости зерна. В день внесения мочеви́ну можно смешивать с суперфосфатом и хлористым калием

Медленно действующие азотные удобрения

Медленнодействующие азотные удобрения - новый вид удобрений, содержащих азот в нерастворимой или слабо растворимой форме. В отличие от обычных легкорастворимых удобрений они постепенно переходят в усвояемую форму и обеспечивают растения азотом в течение длительного времени. Преимуществом то, что азот этих удобрений не вымывается из почвы и не выносится с восходящим током влаги в поверхностный почвы.

Применение эту группу азотных удобрений в районах избыточного увлажнения и орошаемого земледелия для культур, чувствительных к увеличенным концентрациям азота и высокому осмотическому давлению.

Большую часть медленнодействующих азотных удобрений производят на основе мочевины и алифатических альдегидов: формальдегида, ацетальдегида.

Мочевино-формальдегидное удобрение (МФУ) содержит 38-42% азота, в том числе 8-10% в водорастворимой форме, а остальные 30-32% в водо-нерастворимой, но доступной для растений форме.

Продукт мало гигроскопичен, совершенно не слеживается при хранении и хорошо рассеивается туковыми сеялками. Мочевино-формальдегидное удобрение целесообразно использовать для основного до посевного внесения под хлопчатник на засоленных почвах.

Мочевино-ацетальдегидное удобрение содержит 31,4% азота. По свойствам оно близко к мочевино-формальдегидному удобрению, но в ряде случаев превосходит его по эффективности.

Изобутилидендимочевина—содержит 32,2% азота. Продукт белого цвета, почти нерастворим в воде (0,01—0,1 г в 100 см³ при 20°C). Получают в Японии в качестве побочного продукта производства 2-этилгексанола. Выпускают в виде гранул белого цвета размером 1—3 мм.

Оксамид (днамид щавелевой кислоты) —содержит 31,8% азота. Порошковидный продукт, слабо растворимый в воде (0,02—0,1 г в 100 см³ при 20°C). При внесении в почву весь азот оксамида постепенно переходит в доступную для растений форму.

5. ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

5.1. Роль фосфора в жизни растений

Фосфор является одним из важнейших элементов питания растений. Растения потребляют его главным образом в виде анионов $H_2PO_4^-$ (или $HP0_4^{2-}$) из солей ортофосфорной кислоты (H_3PO_4).

Фосфор включается в состав различных органических соединений он входит в состав нуклеиновых кислот и нуклеопротеидов, которые участвуют в построении цитоплазмы и ядра клеток. Он содержится в фитине (запасном веществе семени), который используется как источник фосфора во время прорастания, а также в фосфатидах, сахаро-фосфатах, витаминах и многих ферментах.

В растительной клетке фосфор участвует в энергетическом обмене, в разнообразных процессах обмена веществ, деления и размножения. Особенно велика роль этого элемента в углеводном обмене, в процессах фотосинтеза, дыхания и брожения.

Большая роль фосфора в углеводном обмене обуславливает положительное влияние фосфорных удобрений на накопление сахара в сахарной свекле и других корнеплодах; крахмала в клубнях картофеля и т. д. При недостатке фосфора нарушается синтез белка и уменьшается содержание его в растении.

Растения наиболее чувствительны к недостатку фосфора в самом раннем возрасте, когда их слабо развитая корневая система обладает низкой усвояющей способностью. Отрицательные последствия от недостатка фосфора в этот период не могут быть исправлены последующим (даже обильным) фосфорным питанием. Поэтому обеспечение растений фосфором в легко доступной форме в начале веге-

тации, а также и на всем ее протяжении, имеет исключительно важное значение для роста, развития и формирования урожая.

Академик К.С. Петровский. указывал что «Фосфору принадлежит ведущая роль в центральной нервной систем. Обмен фосфорных соединений тесно связан с обменом веществ и, в частности с обменом жиров и белков. Потребность взрослого человека в фосфоре определена в количестве 500 мг на 1000 ккал или 1600-2000 мг в сутки» (Гигиена питания. М., "Медицина). Опасность для здоровья представляет относительный избыток фосфора в пище по отношению к кальцию. Оптимальное соотношение между содержанием в пище кальция и фосфора: 1:1 или 1:5; любое отклонение чревато заболеваниями.

Для человека остается безвредным содержание полифосфатов в питьевой воде до 7 мг P_2O_5 на 1 л, для животных до 20 мг на 1 л.

Оптимальным, содержанием фосфора в кормах считается 0,35—0,5 % на сухое вещество. О значении фосфора для животноводства можно судить по количеству применяемых кормовых фосфатов. Их производство должно возрасти до 5 млн. т.

Главные источники фосфора для растений — соли ортофосфорной кислоты (H_3PO_4): кальция, магния, калия, аммония. Однако растения могут использовать также соли других фосфорных кислот (метафосфорной, пирофосфорной и др.), но они усваиваются после гидролиза их в почве и перевода с помощью ферментов, выделяемых растением (например, фосфатазы), в ортофосфорную кислоту и ее соли.

Фосфорная кислота — трехосновная, она может диссоциировать на три аниона: H_2PO_4 , HPO_4 , PO_4 . В условиях слабокислой реакции преобладает первый анион, в условиях нейтральной — второй.

Доступность растениям различных солей фосфорной кислоты зависит от их растворимости. Наиболее растворимы (в воде) соли фосфорной кислоты с одновалентными катионами калия, натрия, аммония. Они хорошо усваиваются растениями. Растворимы и усваиваются растениями однозамещенные соли кальция и магния — $Ca(H_2SO_4)_2$ и $Mg(H_2SO_4)_2$

Двухзамещенные соли $CaHSO_4$ и $MgHSO_4$ нерастворимы в воде, но растворимы в слабых кислотах, в том числе органических. Благодаря кислотности почвы и корневым выделениям они также служат важными источниками фосфорного питания.

К труднорастворимы (нерастворимы в воде и слабых кислотах) относят трехзамещенные фосфаты, - $\text{Ca}_3(\text{HSO}_4)_2$. Это соединение может частично растворяться и усваиваться только в кислой (не насыщенной основаниями) почве растениями, имеющими повышенную кислотность корневых выделений — люпином, гречихой, горчицей и некоторыми другими.

Фосфор в почвах содержится как в органической, так и в минеральной форме. Во всех почвах, как правило, преобладают минеральные фосфаты, но в то же время общее (валовое) содержание фосфора зависит от гранулометрического состава почвы и количества гумуса в ней. Чем тяжелее почва, тем выше и содержание фосфора; чем больше содержание в почве гумуса, тем больше в ней и органического, и общего фосфора.

Содержание фосфора (P_2O_5) в различных почвах колеблется от 0,03 до 0,2%. В материнских породах фосфор содержится чаще в виде фтор-апатита $\text{Ca}_3\text{F}(\text{PO}_4)_3$ и гидроксилapatита $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$. При разрушении этих первичных фосфорсодержащих минералов образуются вторичные минеральные соединения фосфора, представленные различными солями ортофосфорной кислоты. Помимо апатита, в почвах содержатся и другие минеральные соединения фосфора. В кислых почвах (дерново-подзолистых и красноземах) образуются фосфаты полуторных окислов AlPO_4 и FePO_4 , а также основные соли железа и алюминия $\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{PO}_4$, $\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{PO}_4$, которые характеризуются очень слабой растворимостью и доступностью для растений. В почвах, насыщенных основаниями (черноземах), образуются преимущественно двух- и трехзамещенные фосфаты кальция CaHPO_4 и $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Они слаборастворимы в воде, но постепенно растворяются содержащимися в почвенном растворе угольной, азотной и органическими кислотами и поэтому более доступны растениям, чем апатит и фосфаты полуторных окислов.

Фосфориты образуются путём минерализации останков костей животных в геологическом периоде. Апатиты – это извержения горных пород.

В среднеподзолистой почве на 1 га содержится общего фосфора 2,3 т, органического — 0,7, минерального — 1,7 т,

Фосфор, входящий в состав органических веществ (сложных белков, фосфатидов, фитина и др.), недоступен для растений. Он становится усвояемым только после минерализации, разложения орга-

нических веществ при участии микроорганизмов до простых растворимых солей фосфорной кислоты.

Минеральные соединения фосфора представлены трудно растворимыми солями — фосфатами алюминия, железа, кальция, магния. При этом в дерново-подзолистых почвах больше фосфатов железа и алюминия, а в черноземах, и особенно в карбонатных почвах (наряду с фосфатами алюминия, железа), больше фосфатов кальция и магния.

Та часть фосфатов, которая представлена растворимыми солями — кальция, магния, калия, натрия, аммония, легкодоступна для растений.

5.2. Фосфор в почвах. Баланс Фосфора в земледелии

Поступившие в почву фосфорные удобрения подвергаются различным превращениям, связанным в основном с образованием нерастворимых или труднорастворимых в воде соединений. При внесении суперфосфатов на кислых дерново-подзолистых почвах, содержащих много полуторных окислов железа и алюминия, химическое поглощение фосфора идет с преимущественным образованием фосфатов железа и алюминия, фосфор которых слабо доступен растениям.

В почвах, насыщенных основаниями (черноземы, сероземы), а также на известкованных дерново-подзолистых почвах химическое поглощение фосфора идет с образованием двух- и трехзамещенных фосфатов кальция и магния. Во всех почвах часть анионов фосфорной кислоты адсорбируется положительно заряженными коллоидными частицами и в этом состоянии остается доступной растениям. Микроорганизмы почвы также связывают некоторое количество фосфатов, переводя их в состав плазмы клеток.

Химическое связывание фосфора обуславливает слабую подвижность его в почве и снижает доступность этого элемента для растений из легкорастворимых удобрений.

Геохимический цикл фосфора существенно отличается от циклов азота. Кларк — (числовая оценка среднего содержания химического элемента в земной коре, в различных породах на Земле в целом или отдельной территории) этого элемента в земной коре равен 0,093 %, что в несколько десятков раз больше кларка азота. Геохимический цикл фосфора включает разнообразные пути миграции в земной коре, интенсивный биологический круговорот и миграцию в гидросфере.

Фосфор — один из главных органогенных элементов (мы уже говорили). Фосфор концентрируется живым веществом, где его содержание почти в 10 раз выше, чем в земной коре. На суше протекает интенсивный круговорот фосфора в системе почва—растения—животные—почва. Поскольку минеральные соединения фосфора труднорастворимы и содержащийся в них элемент почти недоступен растениям, последние используют преимущественно его легкорастворимые формы, образующиеся при разложении органических остатков. Круговорот фосфора происходит и в системе суша - Мировой океан. Фосфаты выносятся с речным стоком, взаимодействуют с кальцием; образуются фосфориты, залежи которых со временем выходят на поверхность и снова включаются в миграционные процессы. Считается, что в Мировой океан ежегодно выносится $1,4 \cdot 10^7$ т фосфора, а возвращается обратно на сушу (с продуктами морского промысла) порядком 10^5 т. Что является основной проблемой в дефиците фосфорного питания, как естественных экосистем, так и агроценозов.

5.3. Получение и классификация фосфорных удобрений

Фосфорные удобрения получают путём кислотной и термической переработки апатитов и фосфоритов, а так же путём размола фосфоритов до состояния тонкой муки.

По степени растворимости и доступности фосфора для растений они подразделяются на 3 группы:

1. водорастворимые и легкодоступные для растений (суперфосфат простой и двойной)
2. не растворимые в воде, но растворимы в слабой лимонной кислоте и щёлочном цитратном растворе (преципитат, обесфторенный фосфат, томасшлак, мартеновский фосфатшлак)
3. не растворимы в воде и слабых кислотах и труднодоступные для растений (фосфоритная мука и костная мука)

1 группа

Суперфосфат простой представляет собой гранулы от светло-серого до темно-серого цвета. Получается путем разложения апатита и фосфорита серной кислотой в соотношении 1:1 с последующей грануляцией и высушиванием продукта. Содержит 19—21 % P_2O_5 и до 40

% сульфата кальция, с содержанием влаги не более 4 %. Обладает благоприятными физическими и агрохимическими свойствами. Это удобрение можно использовать под все сельскохозяйственные культуры в виде основного, припосевного удобрения и подкормки. Является хорошим удобрением для культур, положительно реагирующих на серу (бобовые, картофель и крестоцветные) и особенно для рядкового внесения при посеве. Простой гранулированный суперфосфат может иметь добавки 0,2 % бора или 0,13 % молибдена. Суперфосфат с добавками бора имеет гранулы голубого цвета и должен использоваться для удобрения чувствительных к недостатку бора культур (сахарной, кормовой, столовой свеклы, льна, семенников многолетних трав, картофеля и др.).

Суперфосфат – кислое удобрение, но кислотность почвы даже при длительном внесении не повышается

Двойной гранулированный суперфосфат бывает в виде гранул от светлого до темно-серого цвета. В отличие от простого двойной гранулированный суперфосфат имеет высокое содержание фосфора (42—49%) содержание влаги 3-4 %. Двойной суперфосфат не содержит гипс, в состав которого входит сера. В связи с этим под культуры с требовательные к сере (бобовые и крестоцветные) его эффективность ниже по сравнению с суперфосфатом простым.

Вторая группа

Преципитат – порошок белого или светло-серого цвета. В зависимости от исходного сырья содержит 25—35 % P_2O_5 Преципитат обладает хорошими физическими свойствами: не слеживается, хорошо рассеивается. Его можно применять как основное удобрение под различные культуры и на всех почвах. Для подкормок не рекомендуется. На кислых дерново-подзолистых почвах он может превосходить суперфосфат ввиду того, что фосфор преципитата меньше закрепляется в почве, чем фосфор суперфосфата.

Обесфторенный фосфат содержит при получении его из апатитов содержит 30—32%, а из фосфоритов — 20—22 % P_2O_5 . По внешнему виду представляет собой светло-серый тонко размолотый порошок,

не слёживается. Его нельзя смешивать с аммонийными удобрениями. Его можно применять как основное удобрение на всех почвах. На дерново-подзолистых и черноземных почвах по эффективности он не уступает суперфосфату.

Томасшлак – это побочный продукт переработки богатых фосфором чугунов на сталь и железо по щелочному способу Томаса. Это тяжёлый тонкий тёмно-серого или чёрного цвета с хорошими физическими свойствами, сыпуч, не слёживается при хранении. Томасшлак содержит 14% лимоннорастворимого фосфора в пересчете на P_2O_5 . Применяется на всех типах почв и только для основного внесения. Благодаря примеси извести представляет собой щелочное удобрение.

Фосфатшлак мартеновский содержит 8-12% P_2O_5 в форме. Пылящий порошок черного цвета. Это побочный продукт переработки в мартенах богатых фосфором чугунов. Используется в районах, прилегающих к металлургическим заводам, только для основного внесения. Во избежание потерь азота фосфатшлак нельзя смешивать с аммонийными удобрениями. Недостаток низкое содержание фосфора.

К этой группе следует отнести так же термофосфаты, плавленный фосфат магниевый, красный фосфор

3 группа

Фосфоритная мука – порошок землистого цвета, нерастворимый в воде и слабых кислотах. Содержит от 19 % до 30 % P_2O_5 .

Фосфоритная мука первого сорта содержит 29%, второго—23 и третьего 20% фосфора. Это порошок темно-серого цвета, сильно пылит при внесении в почву. Получают фосфоритную муку размолотом фосфорита до состояния тонко размолотой муки. Фосфор в ней находится в форме трехзамещенного фосфата кальция и непосредственно слабодоступен для большинства растений. Лишь немногие растения (люпин, горчица, гречиха и отчасти эспарцет, горох и конопля) могут усваивать фосфор фосфоритной муки. Поэтому на почвах с нейтральной и близкой к ней реакцией среды применение фосфоритной муки

малоэффективно. На кислых дерново-подзолистых, серых лесных почвах и выщелоченных черноземах по своей эффективности при внесении в удвоенной дозе она не уступает суперфосфату. Применять фосфоритную муку в виде основного удобрения желательно с осени под зяблевую вспашку. Наибольший эффект она дает при внесении вместе с навозом под озимую рожь, сахарную свеклу, картофель, кукурузу, а также при компостировании с навозом и кислым торфом

К этой группе можно отнести **костную муку** - содержит 29-34 % фосфора, и 1,7-1,2 % азота, получают путём размола костей и **вианит** или болотная руда 28 % фосфора.

5.4. Возможные негативные последствия применения фосфорных удобрений

С фосфорными удобрениями в почву попадают многочисленные токсичные элементы, малоподвижные в почвенной среде. Довольно высоким содержанием загрязняющих веществ отличается, например, суперфосфат (Barrows, 1966):

Примесь / Содержание, мг/кг		Примесь / Содержание, мг/кг	
As	1,2-2,2	Ni	7...32
Se	0,0...4,5	Си	4...79
Co	0...9	Pb	7...92
		W	20...180
		Cd	50...170
		Cr	66...243
		Zn	50...1430

Кроме того, в фосфорных удобрениях содержатся токсичные соединения фтора. Большая часть фосфора, используемого как удобрение, остается в почве, так как связывается с содержащимися в ней Са, Al, Fe.

Избыток фтора неблагоприятно действует на растения, угнетая ферменты, тормозя фотосинтез, процессы дыхания, рост. Больше всех накапливают фтор петрушка, щавель, лук. Суточная норма потребления фтора человеком-3 мг. При недостатке фтора развивается кариес зубов. Однако избыток фтора не менее вреден, чем его недостаток. Установлено, что если содержание фтора в воде больше 2

мг/л, у человека разрушается эмаль зубов, а если больше 8 мг/л, развивается остеосклероз.

Результаты проводившихся исследований свидетельствуют о наличии в природных фосфатах радиоактивных элементов — урана, радия. Согласно имеющимся оценкам, на 1 т фосфора в некоторых фосфорных рудах приходится 30...40 кг стронция.

С минеральными удобрениями в почву может поступать мышьяк: в двойном суперфосфате его содержится до 320 мг/кг, в простом — до 300. С 1 кг простого суперфосфата в почву вносится также до 49 мг свинца, двойного — до 38 мг, фосфоритной муки — до 20 мг. Двойной суперфосфат содержит кадмия до 3,5, простой — до 2,2 г/кг.

При внесении в почву в качестве фосфорных удобрений томасшлаков происходит загрязнение почвы хромом, так как его содержание в шлаке достигает 500 мг/кг. Однако содержащиеся в шлаках в большом количестве кальций и связывающие хром соединения фосфора, железа и (свинца снижают поступление хрома в растения. В целом же пока недостаточно изучено влияние отходов промышленности, используемых на удобрения, на накопление в растениях и почвах тяжелых металлов.

Снижению поступления токсичных элементов в растения способствует известкование почв и «несение органических удобрений, комплексное агрохимическое окультуривание полей. Длительное применение фосфорных и даже в повышенных дозах вследствие небольшого содержания в них тяжелых металлов приводит лишь к незначительному увеличению в почвах их валовых и подвижных форм.

Так в водоёмы поступает 34 % фосфора в результате потерь при транспортировке и хранении удобрений, около 21 % из-за поверхностного стока и вымывания из почв в растворенном виде и с продуктами, и около 45 % вследствие «выпадения» фосфора из аграрного круговорота.

Увеличение содержания фосфора в природных водах привело к эвтрофированию водных объектов: биомасса водорослей в ряде озер

и водохранилищ в настоящее время превосходит валовую сельскохозяйственную продукцию в тех же регионах.

Установлено, что на 1 кг поступившего в водоемы фосфора образуется 100 кг фитопланктона, а когда концентрация фосфора в воде превысит 0,01 мг/л, начинается цветение воды, обусловленное массовым развитием водорослей, которое достигает оптимума при его содержании 0,9...3,5 мг/л (Минеев, 1990).

Цветение воды приводит не только к ухудшению условий непосредственного водопотребления, но и к увеличению содержания в ней органического вещества в растворимой форме, что объясняется увеличением рН воды при массовом развитии водорослей. С этим явлением связывают, в частности, вспышки заболевания холерой.

Учитывая возможность поступления различных примесей, содержащихся в фосфорных удобрениях, в пищевые цепи, необходимо строго соблюдать апробированные рекомендации по внесению фосфорных удобрений и принимать во внимание следующие факторы:

сырьевые материалы, используемые в качестве удобрений;

предельно допустимые уровни загрязнения почв тяжелыми металлами, радионуклидами и другими токсичными элементами (соединениями), присутствующими в удобрениях;

необходимые операции по внесению фосфорных удобрений в почву (**сроки** проведения работ, месторасположение удобряемых площадей, наличие условий для проведения соответствующих работ), а также соблюдение экологических ограничений при фосфоритовании почв.

В целом, рассматривая экологические проблемы применения фосфорных удобрений, следует отметить, что внесение фосфорных удобрений в рекомендуемых дозах не представляет опасности с экологической точки зрения.

6. КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

6.1. Значение калия в жизни растений

Физиологические функции калия в растении весьма разнообразны. Он положительно влияет на физическое состояние коллоидов цитоплазмы, повышает их обводненность, набухаемость и вязкость, что имеет большое значение для процессов обмена веществ в клетках, а также для повышения устойчивости растений к засухе. При недостатке калия и усилении транспирации растения быстрее теряют тургор и завядают. Хорошая обеспеченность калием повышает способность растений удерживать воду, и они лучше переносят кратковременную засуху.

Калий положительно влияет на интенсивность фотосинтеза, окислительных процессов и образование органических кислот в растении. Он участвует в углеводном и азотном обмене. Если калия не хватает, то синтез белка в растении тормозится, в результате происходит нарушение всего азотного обмена. Он необходим для включения фосфора в органические соединения. Недостаток калия особенно сильно проявляется при питании растений аммонийным азотом. При недостатке калия задерживается превращение простых углеводов (моносахаридов) в более сложные (ди- и полисахариды).

Калий усиливает отток сахаров из листьев в другие органы, повышает активность ферментов, участвующих в углеводном обмене, в частности, сахарозы и амилазы. Этим объясняется положительное влияние калийных удобрений на накопление крахмала в клубнях картофеля, сахара в корнеплодах, овощах и плодах.

Повышение уровня калийного питания растений заметно увеличивает количество CO_2 , поглощаемого на единицу ассимиляционной поверхности листьев. Под влиянием калия растения становятся морозоустойчивее, что связано с повышением содержания сахаров и увеличением осмотического давления в клетках. При достаточном калийном питании повышается устойчивость растений к различным заболеваниям, например, у хлебных злаков – к мучнистой росе и ржавчине, у овощных культур, картофеля и корнеплодов – к возбудителям гнилей. Калий способствует развитию проводящей сосудистой системы растений, утолщению стенок клеток, более мощному развитию лубяных пучков. Все это, в конечном итоге, способствует прочности стеблей и устойчивости их к полеганию. Особенно это заметно на

озимой ржи, конопле, льне и яровой пшенице. Калий положительно влияет на выход и качество волокна льна и конопли.

В отличие от азота и фосфора, калий не входит в состав органических соединений в растении, а находится в растительных клетках в ионной форме, в виде растворимых солей в клеточном соке и, частично, в непрочных адсорбционных комплексах с коллоидами цитоплазмы.

Потребность сельскохозяйственных культур в калии обусловлена в основном их биологическими особенностями и урожайностью.

Общий вынос калия сельскохозяйственными культурами намного превышает вынос фосфора и сопоставим с выносом азота.

Несмотря на то, что химический состав растений генетически обусловлен, содержание калия в вегетативных органах сельскохозяйственных культур может изменяться в зависимости от условий произрастания в 2-4 раза, в репродуктивных – в 1,2-1,5 раза. Широкое варьирование содержания калия связано с уровнем калийного питания растений, агротехническими и климатическими условиями.

Калия значительно больше в молодых жизнедеятельных частях и органах растения, чем в старых. При недостатке калия в питательной среде наблюдается его отток из более старых органов и тканей в молодые растущие, где происходит его повторное использование (реутилизация).

Калия обычно больше в побочной продукции, чем в хозяйственной части: семенах, корнеплодах и клубнях. При недостатке калия развитие репродуктивных органов угнетается: задерживается развитие бутонов и зачаточных соцветий, зерно получается щуплым, с пониженной всхожестью, ухудшается качество и лёжкость овощной продукции.

Динамика потребления калия растениями тесно коррелирует с накоплением сухой массы. Но в начале вегетации потребление его растениями идёт более быстрыми темпами, чем прирост сухой массы. Накопленный калий в начале вегетации используется растениями в последующие периоды роста и, тем самым, устраняет возможный дефицит его в дальнейшем.

В количественном отношении наиболее высокое потребление калия растениями наблюдается в период их интенсивного вегетативного роста: у зерновых культур в период от кущения до конца трубкования, у льна от фазы ёлочка до цветения. У свёклы (сахарной,

столовой, кормовой), картофеля, капусты, моркови и других овощных культур, уборка которых не связана с физиологической спелостью, поглощение калия продолжается вплоть до уборки без явно выраженного максимума.

Размеры отчуждения калия из почвы зависят от культуры. С кочанами капусты отчуждается с поля 60-70% потреблённого калия, плодами томата – 65-75, корнеплодами моркови – 70-80, клубнями картофеля – 70-90, зерновыми культурами – 15-25%.

Явные внешние признаки калийного голодания наблюдаются у растений при снижении содержания в них калия в 3- 5 раз по сравнению с нормальным. Они проявляются, прежде всего, на старых листьях. Это выражается в побурении краев листовых пластинок – так называемый «краевой запал». Края и кончики листьев приобретают обожженный вид, на пластинках появляются мелкие ржавые крапинки. При недостатке калия клетки растут неравномерно, что вызывает гофрированность, куполообразное закручивание листьев. У картофеля на листьях образуется также характерный бронзовый налет. У овощных культур стебли тонкие, постепенно становятся жёсткими и деревянистыми, корни слабо развиты. При недостатке калия листья яблони, вишни, сливы, красной смородины, крыжовника приобретают голубовато-зеленый цвет, груши – тёмно-коричневый, чёрной смородины – красно-пурпурный оттенок. У малины листья слегка закручены внутрь, отчего общий цвет листовой пластинки кажется серым (нижняя часть листьев малины более серая, чем верхняя). Иногда появляются листья с рваными краями, как бы повреждённые грызущими насекомыми. У земляники по краям листьев появляется красная кайма, которая потом буреет.

Особенно часто недостаток калия проявляется при возделывании картофеля, корнеплодов, капусты, силосных культур и многолетних трав. Зерновые злаки менее чувствительны к недостатку калия. Но и они при остром дефиците калия плохо кустятся, междоузлия стеблей укорачиваются, а листья, особенно нижние, увядают даже при достаточном количестве влаги в почве

6.2. Калий в почве. Баланс калия в земледелии

Содержание калия (K_2O) в почвах колеблется от 0,5 до 3% в зависимости от их гранулометрического состава (табл. 6).

Таблица 6 – Относительное и валовое содержание калия в пахотном слое разных почв (Минеев В.Г., 2006)

Почва	K ₂ O		Почва	K ₂ O	
	%	т/га		%	т/га
Дерново-подзолистая песчаная	0,5-0,7	15-21	Чернозем	2-2,5	60-75
Дерново-подзолистая суглинистая	1,5-2,5	45-75	Серозем	2,5-3,0	75-90

Больше калия в мелкодисперсных фракциях почвы, поэтому тяжелые глинистые и суглинистые почвы богаче калием, чем песчаные и супесчаные. Очень бедны калием (0,03- 0,05%) торфянистые почвы. В большинстве культурных суглинистых почв калия содержится 2-2,5%, то есть значительно больше, чем азота и фосфора. Кроме того, если основной запас азота сосредоточен только в гумусовом горизонте, фосфора – в пахотном и подпахотном слоях, то калия – во всем корнеобитаемом слое почвы. Общий запас K₂O в пахотном слое почвы достигает 50-75 тыс. кг/га, но основная часть калия (98-99%) находится в форме нерастворимых и малодоступных для растений соединений.

Среднее содержание валового калия в пахотном слое почв Предуралья следующее: в дерново-подзолистой легкосуглинистой – 0,8%, тяжелосуглинистой – 2,4%, серой лесной – 2,3%, черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом – 2,2%.

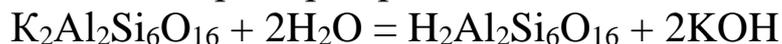
Калий в почве находится в органическом веществе (не более 0,05%) и в составе минералов: полевого шпата (K₂Al₂SiO₁₆), мусковита (H₂KAl₃Si₃O₁₂), биотита [(H, K)₂(MgFe⁺²)₂], нефелина [(Na,K)₂OAl₂O₃ × 2SiO₂], лейцита (K₂Al₂Si₄O₁₂) и др. В процессе выветривания происходит измельчение минералов, а вместе с ним снижается содержание минералов группы полевых шпатов и возрастает содержание глинистых минералов. В тяжелосуглинистых почвах общего калия содержится больше, чем в песчаных и супесчаных.

Почвы с высоким содержанием органического вещества и особенно торфяные содержат меньше валового калия, чем дерново-подзолистые малогумусные почвы.

В.Д. Панников и В.Г. Минеев (1987) по доступности растениям все соединения калия в почве подразделяют на пять групп:

1. Калий минерального скелета почв. Переход этой формы калия в доступное состояние проходит очень медленно, и в основном в результате химического, физического и биологического выветривания.

Основными факторами физического выветривания являются температура, механические силы воды, ветра, ледников. Факторами биологического выветривания являются живые организмы и продукты их жизнедеятельности. Факторами химического выветривания являются атмосферная вода, углекислый газ и кислород. Основная реакция воды с минералами горных пород – гидролиз приводит к замене катиона калия на ионы водорода диссоциированных молекул воды, то есть происходит обменное разложение. Эту реакцию можно схематически представить на примере ортоклаза:



В дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Предуралья на долю этой фракции приходится 95-99 % или 70-80 т/га.

2. Калий в плазме микроорганизмов и пожнивно-корневых остатков.

Калий, входящий в состав микроорганизмов, в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве составляет 30-40 кг/га. В черноземных почвах содержание микроорганизмов в два, а иногда в три раза больше, поэтому можно предполагать, что его содержится около 100 кг/га. Калий содержится также в растительных остатках, остающихся на поле после уборки урожая (корни, солома, полова, ботва и др.), и в живых организмах (черви, насекомые и др.), обитающих в почве. Только после разложения растительных остатков и отмерших живых существ калий становится доступным для растений. Калий минералов и входящий в состав микроорганизмов ПКО непосредственно в питании растений не участвуют и не могут быть показателем обеспеченности растений данным элементом.

3. Поглощенный, обменно-поглощенный или адсорбционно-связанный калий. Этот калий находится на поверхности почвенных коллоидов и может легко вытесняться катионами почвенного раствора. Обменно-поглощенный калий – главный источник калийного питания растений.

Содержание обменно-поглощенного калия в меньшей степени зависит от типа почв и содержания в них гумуса, в большей степени зависит от гранулометрического состава и окультуренности их. В супесчаных почвах в среднем его содержится 0,5-0,8%, на суглинистых 1,3-2,5% от общего содержания калия, что составляет 30-250 мг на кг почвы. Эта фракция калия динамична во времени, может убывать в результате выноса урожаем и возрастать при внесении органических

и минеральных удобрений. Длительные исследования кафедры агрохимии Пермской сельскохозяйственной академии показали, что ежегодное внесение высоких доз калия (более 120 кг/га K_2O) в течение 12-15 лет повысило содержание калия в дерново-подзолистой почве на 80-100 мг/кг. Положительный баланс обменно-поглощенного калия в почве складывается только тогда, когда вносится ежегодно более 60 кг K_2O на га. Для того чтобы поднять содержание обменно-поглощенного калия в почве парового поля на 10 мг K_2O в 1 кг почвы, необходимо вносить 70-80 кг K_2O на га.

4. Водорастворимый калий. На долю этой фракции приходится всего лишь 1/5-1/10 часть обменно-поглощенного калия или 1,5-5 мг/кг почвы. Незначительная часть водорастворимого калия может появляться в результате перехода обменно-поглощенного калия в раствор под воздействием различных солей на почвенно-поглощающий комплекс. Водорастворимый калий полностью усваивается растениями. Ввиду незначительного его содержания в почве и не имеющего существенного значения в питании растений водорастворимый калий при оценке почв не определяют. При обработке навески почвы слабыми растворами кислот в вытяжку попадает и водорастворимый калий, поэтому определяемый обменно-поглощенный калий почвы представляет сумму собственно поглощенного калия и водорастворимого.

5. Калий, фиксированный почвой. Эта форма калия находится в необменном состоянии, в кристаллической решетке глинистых минералов. Фиксация калия тем сильнее, чем больше в почве глинистых минералов группы монтмориллонитов и гидрослюд. Переходить в фиксированное состояние может в равной мере как калий самой почвы, так и калий, вносимый с удобрениями. Черноземные почвы, почвы с повышенным содержанием органического вещества, унавоженные, известкованные фиксируют калий сильнее, чем кислые дерново-подзолистые. Усиливается фиксация калия при частом попеременном увлажнении и подсушивании почвы, причем, чем выше температура почвы, тем больше фиксация. Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы способны фиксировать до 250 кг/га калия вносимых удобрений, а черноземные – до 700 кг/га. Кристаллической решеткой минералов одновременно с калием может фиксироваться и аммоний (NH_4^+). Поглощение одного из этих двух питательных элементов исключает фиксацию другого. В то же время следует при-

знать, что фиксация калия, в равной мере и аммония, в необменное состояние является процессом не бесконечным.

Большинство исследователей считают, что в процессе поглощения растениями обменно-поглощенного калия и истощения почвы доступным калием происходит пополнение его, прежде всего за счёт фиксированного калия. В почве существует определенное равновесие между этими двумя формами калия. Пополнение доступной формы калия в почве может происходить не только за счёт перехода его из фиксированного состояния, но благодаря гидролизу самих глинистых минералов. Такой калий называют легкогидролизуемым. По данным кафедры агрохимии, в пахотном слое окультуренной дерново-подзолистой почвы легкогидролизуемого калия содержится 250-350 мг/кг или 750-1050 кг/га.

Закрепление калия удобрениями в обменно-поглощенном и фиксированном состоянии способствует удержанию калия в почве. Последнее очень важно учитывать при «запасном» внесении калийных удобрений, то есть при внесении высоких доз калия один или два раза за ротацию севооборота. Опытами кафедры агрохимии (Чернова Л.А.), Пермского НИИСХ (Зиганшина Ф.М.) в 70-х годах XX в. установлено, что эффективность «запасного» внесения калийных удобрений на тяжелосуглинистых почвах выше, чем при их ежегодном внесении. Исследователями установлена положительная связь урожайности с содержанием обменного калия практически на всех почвах. Слабая обеспеченность почв калием в отдельных случаях может быть основной причиной низкой продуктивности дерново-подзолистых почв. Это наблюдается в том случае, когда калий находится в минимуме и нарушается соотношение его с азотом и фосфором.

Баланс калия в почвах. Поступление калия в почву осуществляется в основном с органическими и минеральными удобрениями и незначительная часть около 2 кг/га в год с семенами. Потери в среднем за год за счёт водной и ветровой эрозии составляют 10-20 кг/га, вымывание в грунтовые воды – 10-12 кг/га, вынос сельскохозяйственными культурами – 40-300 кг/га.

6.3.Получение, классификация и агрохимическая характеристика

Всего в мире насчитывается около 40 природных залежей калийсодержащих солей, имеющих промышленное значение, запасы которых составляют около 20 млрд. т. K_2O . Калийные удобрения по-

лучают из калийных минералов, которые подразделяются на: хлоридные, хлорид-сульфатные, сульфатные и силикатные и наиболее ценными из них (табл. 7).

Таблица 7 – Калийные минералы промышленного значения

Название	Состав (формула)	Примерное содержание K_2O , %
Хлориды		
Сильвин	KCl	63,17
Сильвинит	$mKCl \quad nNaCl$	20,0-25,0
Карналит	$KCl \quad MgCl_2 \quad 6H_2O$	17,0
Хлорид-сульфаты		
Каинит	$KCl \quad MgSO_4 \quad 3H_2O$	18,9
Сульфаты		
Алунит	$KNaAl_3(OH)_6(SO_4)_2$	
Шенит	$K_2SO_4 \quad MgSO_4 \quad 6H_2O$	23,0
Лангбейнит	$K_2SO_4 \quad 2MgSO_4$	22,6
Полигалит	$K_2SO_4 \quad MgSO_4 \quad 2CaSO_4 \quad 2H_2O$	15,5
Нефелин	$(K, Na)_2O \quad Al_2O_3 \quad 2SiO_2$	6,0-7,0
Нитраты		
Нитрат калия	KNO_3	46,5

В России наиболее крупное месторождение - Соликамское, расположенное в северной части Уральского хребта вблизи городов Соликамск, открыто (было геологической партией под руководством профессора П.И. Преображенского в) 1925 г., а производство начато в 1929 г. Сильвинит является основным сырьем для получения хлористого калия. Заволжское месторождение в России отличается содержанием преимущественно более ценных сернокислых солей. Основные минералы здесь: полигалит, каинит, глазерит. Главные пункты залегания этих солей находятся в Саратовской и Оренбургской областях, а также в Башкирии.

Крупной базой для производства калийных удобрений в будущем могут стать ультра-калиевые алюмосиликатные породы Сын-нырского и Сакунского месторождений в Бурятии и Читинской области. Содержание калия в них составляет 17-20 %.

Прикарпатское месторождение калийных солей находится в Ивано-Франковской и Львовской областях. Белорусские залежи калийных солей (в Полесье), по-видимому, являются продолжением прикарпатских месторождений. Залежи представлены здесь сильвинитом, карналлитом и галитом. На базе белорусских залежей калийных солей близ г. Солигорска действуют шахты и калийные комбинаты.

Производимые калийные удобрения по химическому составу подразделяются на хлоридные (хлористый калий и смешанные соли), и сульфатные (сульфат калия, калимагnezия и калимаг). В зависимости от содержания калия и технологии производства калийные удобрения подразделяются на промышленные калийные удобрения и калийные удобрения отходы промышленности.

Промышленные калийные удобрения можно подразделить на сырые калийные соли и концентрированные калийные удобрения.

Сырые калийные соли — сильвинит и каинит, получаютcя путем механической переработки природных калийных солей, которая сводится к дроблению и размолу соли и производится в непосредственной близости к источникам добычи. Из сырых калийных солей наиболее распространены:

Сильвинит - $m \text{KCl} + n \text{NaCl}$ (где m и n - непостоянные числа), содержит 12-18 % K_2O и 35-40 % Na_2O . Согласно стандарту, сильвинит Соликамского месторождения должен содержать K_2O 15 %. По внешнему виду представляет смесь крупных кристаллов белого, розового, бурого и синего цвета. Сильвинит гигроскопичен, при хранении слеживается. Наличие хлора требует применять это удобрение с осени в основное внесение. Содержание большого количества натрия 2,5 кг на 1 кг K_2O позволяет использовать под свёклу, кормовые и столовые корнеплоды и некоторые овощные культуры.

Каинит - $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ с механической примесью каменной соли (NaCl), CaSO_4 , MgSO_4 . Содержание K_2O в нем около 10-12 %, около 8 % магния 40 % хлора и 35 % натрия. Благодаря наличию NaCl и MgSO_4 внесение под сахарную свёклу, капусту, клевер даёт хорошие результаты и особенно на лёгких почвах.

Вследствие малой транспортабельности сырые калийные соли используются лишь в районах их добычи и в ограниченных количествах. 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). В технических сортах идущих на удобрение, содержится 50-60 % K_2O . Хлористый калий главное калийное удобрение России. Получают его 2 способами: галургическим и флотационным (о способах прочитайте). Хлористый калий, получаемый галургическим способом – белое кристаллическое вещество, флотационным – представлен частичками

красноватого цвета. Хлористый калий можно применять под все культуры и на основных типах почв в виде основного удобрения и в качестве подкормки. Однако под культуры чувствительные к хлору следует применять заблаговременно.

Смешанная калийные соли – удобрение состоящее из KCl и $NaCl$ а так же в их состав входит Mg , Na , Cl , SO_4 , получают путем смешивания хлористого калия с сырыми калийными солями, чаще с тонко размолотым сильвинитом, а иногда - с каинитом. Цель приготовления смешанных калийных солей состоит в том, чтобы получить форму калийного удобрения, наиболее подходящую для свеклы, овощных культур из семейства крестоцветных (брюква, капуста, редис, турнепс), моркови и других растений, отзывающихся на натрий, магний и другие элементы и для культур потребляющих много магния из почв, бедными им (песчаные и супесчаные). По внешнему виду это - мелкие пестро окрашенные кристаллы. По техническим условиям калийная соль должна содержать не менее 40 % K_2O . Выпускается и 30 % калийная соль - смесь сильвинита с каинитом.

Сульфат калия (K_2SO_4) - 45-52 % K_2O . представляет собой серый и желтоватый водоростворимый негигроскопичный порошок имеет хорошие физические свойства, совершенно не слеживается. Удобрение является ценным, для культур, чувствительных к хлору, особенно для картофеля, гречихи, лука, огурца и табака.

Калимагнезия или сульфат калия-магния (шенит) - - двойная соль калия и магния ($K_2SO_4 MgSO_4$), содержит 26-28 % K_2O и 10 % MgO и менее 5 % хлора. Это удобрение весьма подходит для удобрения картофеля, особенно на легких почвах, где оно является наилучшим источником калия и магния.

Калимаг - 16-19 % K_2O ($K_2SO_4 2MgSO_4$). Примерный химический состав этого удобрения: K_2SO_4 - 39 % • $MgSO_4$ - 55 %, $NaCl$ - 1 % и 5 % нерастворимого остатка.

Калийные удобрения отходы промышленности.

Калий-электролит - 39-42 % K_2O в виде KCl и примеси хлоридов натрия и магния. Отход, получающийся при производстве магния из карналлита.

Калийсодержащая цементная пыль - до 35 % K_2O . Это - отход при производстве цемента. Отсутствие хлора в цементной пыли позволяет с успехом ее применять под культуры, чувствительные к хлору (картофель, гречиха, виноград, табак, цитрусовые и др.).

В ряде стран Западной Европы (Голландия, Норвегия, Финляндия) цементную пыль применяют как калийное и известковое удобрение. Цементная пыль хорошо растворима в воде и вполне доступна растениям..

Наиболее распространенным местным калийно-фосфорно-известковым удобрением является древесная зола. Калий содержится в золе в виде **поташа** (K_2CO_3). Зола - хорошее удобрение для всех культур особенно для культур, чувствительных к хлору. Содержание K_2O в золе существенно колеблется в зависимости от источника топлива. Например, зола лиственных пород содержит до 10 % K_2O , хвойных — около 6 %. Молодые деревья при сжигании дают больше золы, в которой и содержание питательных элементов, в том числе и калия, более высокое. Еще более богата калием зола, полученная из стеблей полевых культур. Например, зола ржаной соломы содержит около 20 % K_2O , гречишная зола - до 25 %, а зола от стеблей подсолнечника - до 15-40 %, K_2O .

6.4. Особенности применения калийных удобрений

В современном земледелии каждого сельскохозяйственного предприятия использование калийных удобрений должно исходить из следующих основных принципов.

1. Применение калийных удобрений не только прямо способствует увеличению урожая, но и повышает эффективность использования других средств химизации, мелиорации, повышает рентабельность сельскохозяйственного производства.

2. Научно обоснованное обеспечение растений калием в течение всего периода роста и развития способствует возделыванию сельскохозяйственных культур, устойчивых к экстремальным условиям, получению экологически чистой, технологичной продукции, соответствующей сортовым признакам.

Наиболее существенно на использование калия сельскохозяйственными растениями и, в конечном итоге, на эффективность калийных удобрений влияют следующие факторы:

- особенности калийных удобрений (форма и доза) их состав и свойства;
- почвенные условия: тип почвы, гранулометрический состав, уровень содержания обменного калия, реакция почвенной среды, фиксация и вымывания калия из пахотного слоя, а так же место поля

в ландшафте, климатические и погодные условия;

- биологических особенностей сельскохозяйственных культур, определяющих отзывчивость растений на калийное удобрение;
- содержание усвояемых для растений форм почвенного калия и способность почвы поддерживать равновесие калия в системе «почва – почвенный раствор – растение»;
- заданная продуктивность сельскохозяйственных культур, интенсивность севооборота и уровень обеспеченности культур севооборота и его звеньев элементами питания;
- интенсивность известкования кислых почв и других приёмов мелиорации;
- насыщенность севооборотов и его звеньев органическими удобрениями;
- экологической обстановки: наличия или отсутствия радиоактивного загрязнения или загрязнения тяжёлыми металлами; неблагоприятных условия произрастания растений (засуха, избыточная влажность, болезни, вредители);

Однако не малую опасность вызывают содержание тяжёлых металлов в калийных удобрениях, которые могут накапливаться в живых организмах, проникать в грунтовые воды.

Таблица 8 – Содержание вредных примесей в калийных удобрениях, мг/кг

Удобрение	свинец	кадмий	алюминий	ртуть	хром
Калий хлористый	6,5	0,2-0,3	1,3-7,7	-	-
Сульфат калия	12,0	1,0	0,2	0,075	0,250
Калийная соль 40 %	4,5	0,16	4,1	-	-

Расчет оптимальной дозы калия, как и любого другого питательного элемента, зависит от того, насколько верно в конкретных условиях учтено сочетание большого количества различных факторов: физиологических, почвенных, агрономических, экономических.

Оптимальная доза элемента должна экономически оправданно способствовать получению заданной величины урожая определенного качества, обеспечивая постоянное воспроизводство почвенного плодородия.

В справочной литературе даются многочисленные рекомендации по дозам калийных удобрений. В практических условиях достаточно рассчитать ориентировочную дозу и затем использовать поправочные коэффициенты, позволяющие определить окончательную величину без существенных ошибок (табл. 9).

Примечание. На песчаных и супесчаных почвах поправки к средним дозам калийных удобрений для зерновых, зернобобовых и трав увеличивают на 20-30%, для пропашных и овощных культур -на 40-50%.

Таблица 9 – Поправочные коэффициенты к рекомендуемым дозам калийных удобрений

Культуры	Содержание калия в почве				
	низкое	низко	среднее	повышен	высокое
Зерновые	1.33-1.50	1.00	0.66-0.75	не вносят	не вносят
Зернобобовые и травы	1.33-1.50	1.00	0.75-1.00	0.66-0.75	0.50-0.65
Лен	1.50-2.00	1.00	0.75-1.00	0.66-0.75	0.66
Пропашные	1.50-2.00	1.33-1.50	1.00	0.66-0.75	0.50
Овощные	1.50-2.00	1.33-1.50	1,00 - 1.33	1.00	0.66-0.75

7. МИКРОУДОБРЕНИЯ

7.1. Понятия о микроэлементах и микроудобрениях

Элементы, содержащиеся в растениях в очень небольших количествах (от тысячных до сотысячных долей процента), называют *микроэлементами*. К ним относятся (бор, молибден, медь, цинк, марганец, кобальт), а удобрения, в которых они представляют действующее вещество, – *микроудобрениями*.

Бор необходим для образования и передвижения углеводов. Положительно влияет на накопление сахара в сахарной свекле, крахмала в картофеле, способствует процессам цветения и оплодотворения, повышает урожай и качество семян, что имеет большое значение в семеноводстве. Недостаток бора вызывает глубокие нарушения углеводного обмена в растении: отмирает точка роста, расстраивается проводящая система, уменьшается снабжение корней углеводами. Это приводит к слабому развитию корневой системы и является основной причиной заболевания растений (бактериоз льна, «гниль сердечка» у сахарной свеклы, парша клубней картофеля). По устойчивости к токсическому действию бора растения делят на 4 групп:

очень чувствительные – огурец, фасоль, земляника;

чувствительные – сельдерей, горох, картофель, тыква;

устойчивые – капуста, салат, лук, перец, редис, шпинат;

очень устойчивые – свекла, горчица, томаты и турнепс.

Медь играет важную роль в окислительных процессах, углеводном и белковом обмене, а также в образовании хлорофилла. Она стабилизирует действие хлорофилла, задерживает процесс физиологического старения листьев и тем способствует увеличению периода его жизнедеятельности. При недостатке меди растения становятся бледно-зелеными, начинают усиленно куститься (вследствие отмирания точки роста стебля), кончики листьев белеют.

По убывающей отзывчивости на медь растения можно распределить в следующем порядке: пшеница, ячмень, овёс, кукуруза, овощные и плодово-ягодные культуры.

Молибден. Больше всего молибдена содержится в растениях семейства бобовые. Особенно большое значение имеет молибден для клевера, люцерны, гороха, бобов, вики и других бобовых. Он усиливает деятельность клубеньковых бактерий, способствует лучшему усвоению ими азота из воздуха, так как входит в состав фермента нитрогеназы.

Недостаток молибдена чаще всего ощущают культуры на кислых почвах.

Цинк играет в растениях важную физиологическую роль. Он входит в состав ряда ферментов активизирующих процесс дыхания. Недостаток его ведёт к распаду белков, накоплению растворимых азотистых соединений – амидов и аминокислот. При недостатке цинка в растениях нарушается биосинтез витаминов В₁ и В₆, и ростовых веществ ауксинов.

Цинковые удобрения вносят под кукурузу, кормовые бобовые, лён, плодовые, картофель, капуста, огурцы, морковь, фасоль, горох.

Марганец. Является составной частью белковой основы многих ферментов. Он участвует в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в живой клетке, принимает участие в процессах фотосинтеза, дыхания, углеводном и белковом обмене, влияет на синтез аскорбиновой кислоты, аминокислот, полипептидов и белков, на восстановление в растении нитратов до аммиака.

Кобальт является составной частью витамина В₁₂, играет важную роль в физиологических процессах. Исключение кобальта из питательной среды приводит к ослаблению интенсивности физиолого-биохимических процессов, задержке роста растений. Кобальт играет

важную и специфическую роль в процессе фиксации молекулярного азота бобовыми культурами.

Недостаток кобальта проявляется на известкованных почвах. Он необходим для бобовых и кормовых культур, пшеницы.

7.2. Микроэлементы в растениях и почвах

Бор. Валовое содержание этого микроэлемента в дерново-подзолистых почвах 2—5 мг, в серых лесных почвах 3—9, на 1 кг почвы, но доступные для растений водорастворимые соединения бора составляют всего от 3 до 10 % общего его количества. На подвижность бора в почве влияет известкование, при котором содержание водорастворимого бора снижается. Объясняется это тем, что под действием извести в почве усиливается деятельность микроорганизмов, использующих бор на построение органических веществ своего тела. Возможно, также проявляется антагонистическое действие кальция по отношению к бору, что затрудняет его поступление в растения.

Медь. В 1 кг различных почв валовое содержание этого микроэлемента колеблется от 1,5 до 30 мг. Мало меди в торфянистых почвах (2—8 мг на 1 кг), причем медь в них содержится в малодоступных для растений металлорганических соединениях. С повышением рН почвы доступность меди уменьшается, поэтому на нейтральных и слабощелочных почвах растения испытывают ее недостаток.

Молибден. Валовое содержание молибдена в разных почвах колеблется в пределах 1—12 мг на 1 кг почвы, или от 3 до 36 кг на 1 га. Подвижного молибдена в дерново-подзолистых почвах 0,04—1 мг, черноземах 0,02—0,33, на 1 кг почвы.

Кобальт. Валовое содержание кобальта (в разных почвах) колеблется от 1 до 15 мг на 1 кг почвы, или от 3 до 45 кг на 1 га. Растворимых соединений от 1 до 5 мг на 1 кг, или от 3 до 15 кг на 1 га. Меньше всего их в супесчаных и торфяных почвах, дерново-подзолистые суглинистые почвы и черноземы содержат больше растворимых соединений кобальта.

Марганец. Валовое содержание этого микроэлемента в разных почвах колеблется от 0,01 до 0,4 %, т. е. от 0,3 до 12 т на 1 га.

На дерново-подзолистых почвах избыточное количество подвижного марганца, вредное для растений. Поэтому на таких почвах марганцевые удобрения вносить нецелесообразно.

Таблица 10 – Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах, мг/кг

Почва	Бор	Медь	Марганец	Молибден	Цинк	Кобальт
Дерново-подзолистая			60-1700			
песчаная	0,4	1,1		0,05		1,9-2,1
супесчаная	0,7-0,12	1,8		0,21		
суглинистая	0,-0,5	3,0-5,4		0,14		3,1-4,7
Серая лесная	0,45-0,68	6,6-7,8	115-1360	0,32		3,2-5,4

7.3. Классификация и особенности применения микроудобрений

На практике больше всего бор применяют под сахарную свеклу, кормовые корнеплоды, лен, хлопчатник, подсолнечник, зернобобовые культура, семенники многолетних бобовых трав, плодово-ягодные, овощные культуры

Борная кислота является наиболее концентрированным продуктом, содержащим 17,1—17,3 % бора. Ее можно применять как борное удобрение для обработки семян и некорневой подкормки посевов, а также использовать в качестве борного компонента для сложных и смешанных удобрений. Борная кислота хорошо растворяется в воде. Для обработки семян и некорневой подкормки посевов рекомендуется применять 0,05-0,1 %-и, для полива рассады—0,01—0,05 %-и раствор борной кислоты (от 1 до 5 г борной кислоты на 10 л воды).

Борный суперфосфат гранулированный получают, добавляя к суперфосфату в процессе грануляции раствора борной кислоты. Удобрение должно содержать не менее (20±1) % фосфора и (0,2±0,05) % бора. Рекомендуется вносить в почву (под более требовательные к бору культуры) при предпосевной обработке (200—400 кг/га), или в рядки при посеве (100—120 кг/га), или локально как основное удобрение (100—200 кг/га).

Двойной гранулированный суперфосфат Продукт содержит не менее 42 % фосфора и 0,4 % бора. Рекомендуется вносить в рядки при посеве и междурядной обработке почвы (50—60 кг/га, а также до посева (100—200 кг/га).

Бормагниевое удобрение содержит около 13 % H_3BO_3 или 2,27 % В и 14 % MgO. Вносится при предпосевной обработке почвы (под все требовательные культуры) в дозе 50—60 кг/га, под лен — в дозе 20—30 кг/га. Бор в удобрении содержится в водорастворимой форме

(борная кислота), и поэтому его с успехом можно использовать для некорневой подкормки путем опыливания растений с хорошо развитой поверхностью листьев. Доза расхода препарата при некорневой подкормке 20—25 кг/га. При предпосевном опыливании семян расходуют 10—20 кг/т.

Основным способом применения борных удобрений является предпосевное внесение. Борные удобрения следует применять, на фоне достаточного азотного, фосфорного и калийного питания растений. Особенно чувствительны к повышенным дозам бора огурец, земляника, вишня, лимон, виноград, люпин.

Дозы бора (д.в.) на 1 га составляют: для семенников клевера и люцерны, сахарной свеклы, кормовой свеклы, овощных культур — 1 - 1,5 кг; для льна - 0,3 - 0,5 кг; для плодово-ягодных культур - 0,75 кг.

Молибденовые удобрения.

Потребность растений в молибдене повышается при обеспечении их основными элементами питания (фосфором и калием — бобовых; азотом, фосфором и калием — овощных культур).

В качестве молибденовых удобрений используют молибденосодержащие соли и различные отходы, включающие молибден

Молибдат аммония (молибденовокислый аммоний) содержит (52±1) % молибдена, хорошо растворяется в воде. Доза молибдата аммония для предпосевной обработки семян: гороха, вики — 200—300 г/т; кормовых бобов, сои, люпина — 300—500 г/т; клевера, люцерны, овощных культур — 5—6 кг/т семян. Опудривание часто совмещают с сухим протравливанием. На 1 т семян берут 500—750 г молибдата аммония и 2—3 кг протравителя.

Для некорневой подкормки посевов на 1 га расходуют 100—200 г молибдата аммония, растворенного в 200—300 л воды при надземном опрыскивании и в 100 л при авиаопрыскивании.

Суперфосфат простой гранулированный с молибдатом содержит 0,1% Мо и 20 - 21 % P_2O_5 . Наиболее целесообразно вносить его в рядки при посеве в дозе 50—100 кг/га.

Суперфосфат двойной гранулированный с молибденом (0,2 % Мо и 43 % P_2O_5) удобрение предназначено для внесения в рядки в дозе 25—50 кг/га. Молибденизированный гранулированный (простой и двойной) суперфосфат также может быть использован под предпосевную обработку почвы, для поверхностного внесения на посевах бобовых трав, на лугах и пастбищах.

К наиболее эффективным способам применения молибдена относятся предпосевная обработка семян путем опрыскивания или опудривания.

Медные удобрения.

Больше всего нуждаются в меди культуры (зерновые, кормовые, овощные, технические и др.), возделываемые на осушенных торфяно-болотных почвах. Могут испытывать недостаток меди растения, выращиваемые на супесчаных дерново-подзолистых почвах.

Ассортимент применяемых медных удобрений пока ограничен пиритными огарками и сульфатом меди (медным купоросом).

Пиритные (колчеданные) огарки являются отходом сернокислотной и целлюлозно-бумажной промышленности. Средний химический состав огарков, получающихся путем обжига флотационных колчеданов, таков: железа - 46-47 %; меди - 0,3-0,5 %; цинка - 0,2-0,7 %; серебра – 20-30 г/т; золота - 1,5-2 г/т. Огарки содержат небольшое количество таких элементов, как кобальт, свинец, кадмий, таллий, теллур, индий. Применяют их в размолотом виде в дозе 0,5—0,6 т/га один раз в 4—6 лет под зяблевую вспашку.

Сульфат меди (медный купорос) — кристаллическая соль голубовато-синего цвета, содержащая около 25 % меди. Хорошо растворяется в воде, поэтому используется для предпосевной обработки семян и некорневой подкормки. Применяется в составе одиарных и комплексных (сложных и смешанных) удобрений. Для некорневой подкормки используют 0,02—0,05 % раствор, в зависимости от системы опрыскивания расходуют 200—400 л/га. Для обработки семян применяют 0,1—0,02 %-й раствор.

Медно-калийные удобрения получают обогащением хлористого калия сернокислой медью с последующим прессованием и рассевом. Удобрение должно содержать 56,8 % K_2O и 1 % меди. Хлористый калий с медью (а также азотно-калийно-медные удобрения и др.) рекомендуются для внесения перед посевом под зерновые, кормовые, овощные, технические и другие культуры, выращиваемые на осушенных торфяно-болотных почвах из расчета 2—3 кг/га меди.

В практике сельского хозяйства возможны 3 способа использования медных удобрений: внесение в почву, некорневая подкормка и предпосевная обработка семян. Выбор способа внесения медных удобрений будет определяться запасами подвижной меди в почве и потребностью в этом элементе растений.

Цинковые удобрения.

Потребность в цинковых удобрениях проявляется при выращивании кукурузы, сахарной свеклы, хлопчатника, плодово-ягодных, овощных и некоторых других культур. Потребность в цинке проявляется на почвах, имеющих слабокислую или близкую к нейтральной реакцию. Это прежде всего дерново-карбонатные, дерново-подзолистые (известкованные) почвы, карбонатные черноземы, сероземы

Сернокислый цинк содержит около 45% цинка. Это кристаллическая соль, серовато-белого цвета, растворимая в воде. Для предпосевной обработки семян и некорневой подкормки растений применяют 0,05—0,1 %-й раствор. Для опыливания доза составляет 0,5—1,0 кг/т; применяют его совместно с протравителями.

Цинковые полимикродобрения (ПМУ-7) изготавливают из отходов, образующихся при производстве цинковых белил. Они представляют собой размолотый порошок темно-серого цвета, содержат 25 % цинка, 1 % MgO, 0,4 % Mn, 13 % CuO и другие элементы. Применяется для предпосевной обработки семян в дозе 4 кг/т, а также для внесения в почву в дозе 3—5 кг/га.

Марганцевые удобрения.

Потребность растений в марганце проявляется при возделывании зерновых, сахарной свеклы, корнеплодов, бобовых, хлопчатника, плодово-ягодных и других культур. Положительное действие марганца чаще всего проявляется на почвах с нейтральной или щелочной реакцией — выщелоченных или оподзоленных черноземах, известкованных торфяниках и других почвах, характеризующихся низким содержанием усвояемого марганца.

Сульфат марганца (сернокислый марганец) — кристаллический порошок белого или светло-серого цвета, хорошо растворим в воде, содержит около 21-24 % марганца. Для обработки семян и некорневой подкормки растений применяется 0,01-0,5 %-й раствор сернокислого марганца; при внесении в почву – 5- 15 кг/га сернокислого марганца.

Марганизированный суперфосфат изготавливают, добавляя 10-15 % марганцевого концентрата, содержащего 35-40 % марганца, к простому суперфосфату перед его грануляцией; удобрение содержит (20±1) % P₂O₅ и около 1—2 % марганца. Применяется для внесения в

почву, главным образом в рядки: под зерновые культуры и кукурузу - по 75 кг/га; под сахарную свеклу - по 100 кг/га.

Порошок, содержащий марганец, представляет собой механическую смесь тонко измельченного сухого сернокислого марганца (18—22 %) и технического талька. Применяется для предпосевного опудривания семян: для зерновых культур, кукурузы, хлопчатника, подсолнечника - 2,5 кг/т; зернобобовых культур - 3,0 кг/т; сахарной свеклы - 5,5 кг/т; огурца и бахчевых - 200 г/кг; томата - 300 г/кг; капусты - 100 г/кг; многолетних трав - 300 г/кг.

Марганецсодержащие удобрения вносят под сельскохозяйственные культуры ежегодно и, если требуется, многократно. Из-за сильного поглощения элемента почвой применять удобрения в повышенных дозах не рекомендуется.

Кобальтовые удобрения

Кобальт содержится во многих удобрениях: в фосфоритной муке (от 6,7 до 10,6 мг/кг), суперфосфате из фосфоритов Каратау, томасшлаке (10,6 мг/кг), пиритных огарках и т. д. С 0,5 т пиритных огарков вносится 72,5 г кобальта, с 30 т торфа (низинного) - 46,5 г кобальта и с 30 т навоза - 10,1 г кобальта.

Кобальтовые удобрения в виде сульфата и хлорида кобальта используют для обработки семян и некорневой подкормки (0,05—0,1 %-й раствор), для совместного внесения в почву с одинарными удобрениями (0,1—0,2 кг/га) или в составе комплексных.

8. КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ

8.1. Понятие о комплексных удобрениях и их классификация

Удобрения, содержащие два или три основных питательных для растений элемента (азот, фосфор, калий), называют **комплексными**.

По числу основных питательных элементов, содержащихся в комплексных удобрениях, их подразделяют на двойные (азотно-фосфорные, азотно-калийные, фосфорно-калийные) и тройные (азотно-фосфорно-калийные).

По способу производства различают сложные, сложно-смешанные, смешанные и жидкие комплексные удобрения. По физическому состоянию: твёрдые и жидкие.

Сложные удобрения получают путем азотнокислого разложения фосфатного сырья в едином технологическом цикле. В каждой

грануле сложного удобрения находится два питательных элемента в виде единого химического соединения составные части – катион и анион.

Сложно-смешанные или комбинированные удобрения получают путем обработки однокомпонентных и сложных удобрений кислотами, аммиаком, фосфорной, азотной и серной кислот с последующей грануляцией. В грануле сложно-смешанного удобрения также содержится 2-3 и более элемента питания в виде различных химических соединений.

Смешанные удобрения получают механическим смешиванием односторонних или многосторонних удобрений двух типов: гранулированных и порошковидных.

Технологические процессы получения комплексных удобрений объединяют в четыре группы

1. Получение сложных удобрений на основе фосфорной и полифосфорной кислот путём нейтрализации их аммиаком;

2. Получение жидких комплексных удобрений (ЖКУ) основе фосфорной и полифосфорной кислот путём нейтрализации их аммиаком;

3. Получение твёрдых сложных удобрений на основе азотнокислого разложения природных фосфатов;

4. Получение смешанных удобрений путём физического смешивания;

Агротехническое и экономическое значение

- более высокая концентрация питательных веществ;
- экономия средств на транспортировку, хранение и внесение
- сбалансированность питательных веществ
- доступность элементов питания для корневой системы растений
- повышение коэффициента использования по сравнению с простыми удобрениями
- возможность рациональных способов внесения (локальное)
- повышение урожайности и качества сельскохозяйственных культур
- экономия затрат труда и энергии

К комплексным удобрениям предъявляют следующие основные требования:

- соответствие состава удобрений по соотношению в них от-

дельных питательных веществ и по форме их соединений требованиям сельскохозяйственных культур и почв;

- высокие физико-механические и физико-химические качества, исключают слеживаемость и сегрегацию удобрений при перевозке и хранении, а также позволяющие применять туковысевающие механизмы любых типов. Комплексные удобрения целесообразно выпускать в гранулированном виде;
- возможно более высокое содержание суммы питательных веществ в удобрении.

8.2. Получение, свойства и применение комплексных удобрений

Сложные удобрения

Существуют два основных способа производства сложных удобрений:

- 1) на основе экстракционной фосфорной кислоты с последующим получением фосфатов аммония
- 2) на основе азотно-кислотного разложения фосфатного сырья.

Соотношения элементов питания под ту или иную культуру определяются в зависимости от плодородия почвы, предшественника и других факторов в соответствии с рекомендациями зональных агрохимических лабораторий.

Аммофос ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) — концентрированное, комплексное фосфорно-азотное удобрение. Получают аммофос нейтрализацией фосфорной кислоты аммиаком. Содержит 10,3 – 11 % азота и 47,8 – 48,5 % фосфора, обладает хорошими физическими свойствами. Рекомендуется применять на почвах с высоким содержанием азота и низким фосфора. Применяют для всех культур, как в виде основного, так и припосевного внесения. Фосфор аммофоса более подвижен в почве, чем фосфор суперфосфата, поэтому аммофос может быть использован и для подкормок растений, если своевременно не вносили фосфорное удобрение. При использовании аммофоса на дерново-подзолистых почвах к нему необходимо добавлять азотные удобрения, а на лёгких почвах ещё и калийные.

Диаммофос - (NH_4)₂HP0₄ - концентрированное сложное фосфорно-азотное удобрение, сумма питательных веществ, в котором составляет около 70%, (18-20 % - азота и более 50% фосфора). Получают его нейтрализацией фосфорной кислоты аммиаком с последую-

щей грануляцией и сушкой. Одна тонна этого удобрения заменяет 2,5-3 т суперфосфата и 0,7 т аммиачной селитры.

Применять как основное удобрения зерновых, технических, овощных, плодово-ягодных и декоративных культур. При местном внесении его следует вносить в рядки, борозды и лунки так, чтобы между удобрением и семенами или растением не было непосредственного контакта во избежание возможного вредного действия аммиачного азота диаммофоса на корневую систему растений.

Калийная селитра (KNO_3) сложное азотно-калийное удобрение, содержит 13-14 % азота и 46 % калия. Хорошая форма удобрений для картофеля, табака, и других культур чувствительных к хлору. Высокое содержание в калийной селитре калия позволяет применять для поздних подкормок картофеля и корнеплодов, когда им требуется много калия и мало азота.

Аммонизированный суперфосфат азотно-фосфорное удобрение, получают путём насыщения суперфосфата аммиаком, содержит 20 % фосфора и 4 % азота. Недостаток низкое содержание азота.

Сложно-смешанные или комбинированные

Сложные удобрения, получаемые на основе азотно-кислотного разложения фосфатного сырья, называют нитрофосфатами. Тройные удобрения содержащие азот, фосфор и калий, получаемые по этому методу, называют нитрофоской, двойные (азотно-фосфорные) — нитрофосом.

Нитрофос. Это двойное азотно-фосфорное удобрение, получаемое азотнокислым разложением фосфатов. Выпускают в гранулированном виде 2 – марок

марка А соотношение $N : P_2O_5$ 23:17

марка Б соотношение $N:P_2O_5 :$ 24:14

Применяют для основной внесения под все сельскохозяйственные культуры на почвах где не требуется внесения калия.

Нитрофоска содержит три элемента питания – азот, фосфор и калий. В зависимости от технологии производства выделяют нитрофоски – сульфатную, сернокислую, фосфорную, карбонатную.

Наиболее распространенная *сульфатная нитрофоска*, её получают разложением апатита азотной кислотой. В образующую смесь, состоящую из апатита, суперфосфата и кальциевой селитры вводят сульфат аммония и в дальнейшем добавляют хлористый калий.

Если в процессе производства вместо сульфата аммония добавлять серную кислоту и аммиак, то образуется *сернокислая нитрофоска*.

Фосфорная нитрофоска получается при добавлении к смеси кальциевой селитре, суперфосфату и преципитату хлористого калия аммиака и фосфорную кислоту.

карбонатную нитрофоску получают путём обогащения смеси кальциевой селитре, суперфосфата и преципитата аммиаком и угольной кислотой.

Выпускают 3 марки нитрофосок

марка А соотношение N : P₂O₅ : K₂O 16,5:16,5:16,5

марка Б соотношение N:P₂O₅:K₂O 13:9:13

марка В соотношение N:P₂O₅:K₂O 11,5:10,5: 11,5

Калий содержится в виде нитрата калия и немного в виде хлористого калия..

Отличительной особенностью нитрофоски от других видов комплексных удобрений является более низкое содержание водорастворимого фосфора, поэтому их целесообразно использовать для основного внесения.

Нитроаммофос — азотно-фосфорное удобрение выпускают его в гранулированном виде

марка А соотношение N : P₂O₅ : 23:23

марка Б соотношение N:P₂O₅ 16:14

марка В соотношение N:P₂O₅ 25:20

Нитроаммофоска — сложное азотно-фосфорно-калийное удобрение, получаемое нейтрализацией фосфорной и азотной кислот аммиаком с последующим добавлением хлористого калия и грануляцией.

Выпускают 2 марки нитроаммофоски

марка А соотношение N : P₂O₅ : K₂O 17:17:17

марка Б соотношение N:P₂O₅:K₂O 13:19:19

Нитроаммофоску применяют для основного, допосевного внесения, местного внесения в рядки при посеве, а также для подкормки растений. При основном удобрении на тяжелых глинистых почвах целесообразно вносить с осени под зяблевую вспашку, а на легких почвах — весной.

Нитроаммофоски и нитроаммофосы обладают хорошими физико-механическими свойствами и пригодны для механизированного внесения в почву.

Карбоаммофоску получают аммонизацией фосфорной кислоты до образования моноаммонийфосфата. В пульпу добавляют мочевины (карбамид) и хлористый калий. Полученную смесь сушат и гранулируют. Карбоаммофоска содержит азот, фосфор и калий в форме концентрированных водорастворимых соединений мочевины, фосфатов аммония и хлористого калия веществ (1 : 1 : 1; 1 : 0,8 : 1; 1 : 0,7 : 0,4; 1 : 1,4 : 1,4).

Технология производства карбоаммофоски позволяет получать удобрения с любым соотношением питательных веществ, что позволяет применять в различных почвенно-климатических условиях.

Карбоаммофоска, как водорастворимое удобрение, имеет преимущества перед нитрофоской. По концентрации питательных веществ она превосходит нитрофоску, нитроаммофоску и некоторые другие сложные удобрения. Наличие в карбоаммофоске мочевины (азот которой менее подвижен в почве, чем нитратный) позволяет применение этого удобрения на легких почвах в зоне избыточного увлажнения, а также для основного внесения под все с.х культуры.

Полифосфат аммония (ПФА) — получают на основе полифосфорных кислот: метофосфорная кислота пиррофосфорная кислота, триполифосфорная кислота Содержат до 76-83 % фосфора. 17 % азота

Комплексные удобрения с добавками микроэлементов

Комплексные удобрения с микроэлементами могут быть тройными или двойными (NPK, NK, NP, PK) с добавками одного или нескольких микроэлементов. В зависимости от содержащихся микроэлементов комплексные удобрения можно разделить на следующие группы. *Борсодержащие комплексные удобрения* — это нитроаммофоска, карбоаммофоска, аммофос, обогащенные борной кислотой перед гранулированием. *Молибденсодержащие комплексные удобрения* - нитроаммофоска и обогащенная молибденово-кислым аммонием. *Марганец содержащие комплексные удобрения* карбоаммофоска, нитроаммофоска, аммофос обогащенный сульфатом марганца. Цинк и медьсодержащие комплексные удобрения

Смешанные удобрения

Смешанные удобрения получают при смешивании двух или трёх простых удобрений. Чтобы правильно смешивать удобрения, необходимо, знать для какой культуры предназначается смесь, в какую почву будет вноситься, какие возможны реакции между компонентами смеси, чтобы предотвратить ухудшение ее физических свойств (отсыревание, слеживаемость, затвердевание, потери питательных веществ в газообразной форме, переход растворимых соединений в нерастворимые).

Таблица 11 – Рекомендуемые соотношения питательных веществ в смесях минеральных удобрений

Соотношение N:P ₂ O ₅ :K ₂ O	Культура и почва
1:1:1	Для различных культур, возделываемых на почвах с одинаковой нуждаемостью в азоте, фосфоре и калии
1:0,7:1,2	Для основного удобрения под коноплю, сахарную свеклу, картофель и зерновые (включая кукурузу) на серых лесных почвах
1:1:1,5	Для картофеля, кормовых корнеплодов и сахарной свеклы на легких почвах
1:1,5:1,5	Для основного удобрения овощных культур и других пропашных (в том числе силосных) с азотной подкормкой летом
1:1,5:1	Для локального внесения при посеве зерновых, сахарной свеклы и посадке картофеля на различных почвах
1:1:0	Для культур, следующих по навозному фону (с хорошим последствием калия)
0:1:1	Для бобовых культур и растений на торфянистых почвах

Смесь лучшего качества получается из гранулированных удобрений, имеющих гранулы примерно одинакового размера. Нельзя смешивать гранулированные удобрения с порошковидными, (так как при разбрасывании разная дальность полёта и снижается эффективность). Преобладающее большинство смесей следует готовить непосредственно перед высевом.

Можно смешивать заблаговременно:

- суперфосфат и фосфоритную муку с калийными удобрениями,
- аммиачную селитру и сульфат аммония с преципитатом, фосфоритной мукой и калийными удобрениями. Эти смеси при длительном хранении не теряют свои свойства.

Можно смешивать за 1 день до внесения:

- мочевины со всеми фосфорными и калийными удобрениями.

Можно смешивать в день внесения

- аммиачную селитру с суперфосфатом (так как при получается сильно мажущая смесь) сульфат аммония с суперфосфатом (так как происходит затвердевание образуется новообразование гипса).

Нельзя смешивать

- суперфосфат со щелочными удобрениями (фосфат шлак, зола, известковыми удобрениями, цианамид кальция) удобрения, так как растворимая форма фосфата будет переходить в менее растворимые формы, произойдет ретроградация фосфатов (*Исключение составляет примешивание к суперфосфату небольшого количества (не более 5%) известняковой муки в качестве нейтрализующей добавки для нейтрализации свободной фосфорной кислоты в суперфосфате*).

- аммиачные удобрения или удобрения содержащие аммоний, со щелочными удобрениями (известь, зола, томасшлак, термофосфаты), так как произойдет потеря азота в виде аммиака

Из сказанного следует, что преобладающее большинство смесей двух и трех основных простых удобрений (азотные, фосфорные, калийные) следует готовить на местах непосредственно перед их внесением в почву.

Аммиачная селитра и сульфат аммония — физиологически кислые удобрения, и если смесь предназначается для внесения в кислую почву, то на каждую тонну сульфата аммония добавляют 1,25 т известняковой муки, на 1 т аммиачной селитры — 0,8 т и на 1 т мочевины — 1 т.

При приготовлении тукосмесей необходимо:

- тщательность перемешивания отдельных удобрений
- однородность и равномерный размер гранул
- биологические особенности сельскохозяйственных культур, правильный подбор соотношений азота, фосфора, калия и наличия хлора в удобрениях

9. ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ

9.1. Общая характеристика и значение органических удобрений

Органическими удобрениями называют свежие, полуразложившиеся или разложившиеся под воздействием микроорганизмов вещества растительного и животного происхождения, вносимые в почву

для повышения плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур.

К органическим удобрениям относят подстилочный и бесподстилочный навоз, навозную жижу, торф, птичий помёт, компосты, фекалии, сапропель, зелёное удобрение, солому, хозяйственные отходы и пр. Часто все эти материалы называют местными удобрениями, так как их получают или готовят в тех хозяйствах, в которых они будут использованы.

Роль органических удобрений

1. Являются источником элементов питания. Органические удобрения содержат почти все необходимые питательные вещества для растений, поэтому их называют полным удобрением. В табл. 12 приведено содержание основных элементов питания в некоторых органических удобрениях.

Таблица 12 – Содержание питательных веществ в одной тонне органических удобрений, кг (Агрохимия, 2002)

Органическое удобрение	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Полуперепревший навоз	5,0	2,5	6,0	7,0	3,0
Навозная жижа	2,5	0,6	3,6	0,6	0,1
Жидкий навоз КРС (при влажности 88%)	4,0	2,0	4,5	1,5	1,0
Торф верховой (влажность 60-70%)	3,0	0,3	0,3	0,9	0,2
Торф низинный, разложившийся (влажность 60-70%)	9,0	1,2	0,6	1,2	0,4
Биогумус	30,0	20,0	18,0	11,0	6,0
Торфонавозный компост (при соотношении торф: навоз, как 2:1)	7,0	2,0	4,0	4,0	0,4

С 40 т подстилочного навоза в почву поступает 200 кг азота, 100 кг фосфора, 240 кг калия, что соответствует 6 ц аммонийной селитры, 2,5 ц двойного суперфосфата и 4 ц хлористого калия, 280 кг карбоната кальция (известки).

2. Применение навоза и других органических удобрений позволяет повторно вовлекать в круговорот питательных веществ в земледелии часть элементов питания, ранее отчужденных из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур, с растительными кормами и пищевой продукцией. Из трех основных макроэлементов при рациональном использовании растениеводческой и овощеводческой продукции в хозяйствах вынесенный растениями азот возвращается в почву на 20-30%, фосфор – на 15-20%, калий – на 50-60%.

В хозяйствах, применяющих высокие дозы торфа и компостов, приготовленных на его основе, почва обогащается питательными

элементами, ранее не участвующими в круговороте питательных веществ. Большое значение в повышении плодородия почв и урожайности имеет возделывание бобовых культур в качестве зелёного удобрения, при этом происходит вовлечение в круговорот азота атмосферы.

3. Органические удобрения являются не только источником питательных элементов, но и углекислоты. При разложении микроорганизмами органических удобрений (минерализации) образуется большое количество углекислоты, которая насыщает почвенный воздух и приземный слой атмосферы. Так, при внесении 40 т полуперепревшего навоза в период интенсивного разложения его, количество ежедневно выделяемой на одном гектаре углекислоты составляет 250-300 кг. Такого количества углекислоты достаточно для получения 40 ц зерна и 400-500 ц картофеля с одного гектара. Особенно сильно нуждаются растения в углекислоте в период максимального развития вегетативной массы. Минеральные удобрения не могут обеспечить растения углекислотой, поэтому для достижения высокой урожайности необходимо планировать совместное использование как органических, так и минеральных удобрений.

4. Углекислота, образующаяся при разложении органических удобрений, не только улучшает питание растений, но и положительно действует на процессы, протекающие в почве. Она способствует образованию подвижных форм фосфора; карбонат кальция (известь) переходит в растворимый в воде двууглекислый кальций и способствует свертыванию коллоидных частиц почвы, то есть образованию структурных почв.

5. Органические удобрения являются энергетическим материалом и источником пищи для почвенных микроорганизмов. Навоз, навозная жижа, фекалии богаты микроорганизмами, а торф очень беден ими. Скорость минерализации органических удобрений в почве зависит, прежде всего, от количества в них микроорганизмов. В 1 г полуперепревшего навоза насчитывается 8-12 млн., а в 1 г торфа менее 200-500 тыс. микроорганизмов. Для ускорения минерализации органического вещества торфа его компостируют с органическими удобрениями более богатыми микроорганизмами, чаще с навозом, навозной жижей, фекалиями и др. Навоз, компосты в почве активизируют жизнедеятельность азотфиксирующих бактерий, аммонификаторов, нитрификаторов и других полезных микроорганизмов, то есть

в результате их внесения повышается микробиологическая активность почвы.

6. Органические удобрения содержат кальций и магний (с 30-40 т навоза на 1 га вносится 0,3-0,5 т кальция и магния в пересчете на карбонаты). Регулярное их внесение приводит к снижению всех форм кислотности, содержания подвижных алюминия, железа и марганца, при этом повышается степень насыщенности основаниями, улучшаются буферные свойства почвы, и улучшается питание кальцием и магнием (табл. 13).

Таблица 13 – Влияние длительного (в течение 41 года) применения системы агрохимических средств на улучшение свойств и плодородия дерново-подзолистых почв (Кротких Т.А., 2012)

Вариант	рН _{KCl} Нг, ммоль на 100 г		Подвижный Al, мг на 100 г	S, ммоль на 100 г	V, %	Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг на 100 г	K ₂ O, мг на 100 г
<i>Контрольный фон</i>								
0	4,4	4,25	3,2	7,2	62,9	1,96	6,0	3,0
НПК	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
НПК	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
НПК	6,9	1,20	0,09	11,8	90,7	3,78	26,2	22,4

7. Особенно велико значение органических удобрений в повышении содержания гумуса в почве. Поддерживать бездефицитный баланс гумуса в почве можно только за счёт рационального использования органических удобрений.

Недостатки органических удобрений:

- более постоянное соотношение основных элементов питания;
- содержание азота, фосфора и калия в органических удобрениях по сравнению с минеральными – невысокое, поэтому их не перевозят на далекие расстояния;
- элементы питания в основном находятся в форме органических веществ, переходящих в усвояемые соединения постепенно. Поэтому удобрения обладают замедленным действием.

9.2. Навоз-основное органическое удобрение. Виды навоза, способы его хранения. Определение потребности хозяйства в ОУ. Способы расчета выхода навоза

Навоз - это главное органическое удобрение. Его хранение сопровождается потерями органических веществ и питательных элементов. Снизить их можно путем:

- использования повышенных норм подстилки (хорош в этом отношении торф, особенно верховой);
- плотного способа хранения навоза;
- добавления к навозу фосфоритной муки (1–4 % от массы навоза). Этот прием по данным ВИУА в 3,6 раза снижает потери азота за 4 мес. хранения;
- устройства у скотных дворов и навозохранилищ жижесборников (количество образующейся навозной жижи составляет 10–15 % от массы свежего навоза, но меняется в зависимости от способа его хранения).

Подстилочный навоз вносят под вспашку, прежде всего под пропашные культуры (40–60 т/га), зерновые с подсевом многолетних трав и при планировании высоких урожаев (20–30 т/га).

Большой эффект дают органические удобрения под культуры, чувствительные к высокой концентрации солей в почвенном растворе и отзывчивые на углекислоту. Такой культурой является огурец, под который можно вносить до 80 т свежего навоза. Кроме огурца на навоз по сравнению с минеральными удобрениями (в эквивалентных дозах по элементам питания) лучше отзываются кабачок, тыква, дыня, чеснок, лук, капуста белокочанная (средняя и поздняя), капуста цветная.

Из кормовых культур на органические удобрения, по сравнению с минеральными, отзывчивость выше у кукурузы, однолетних и многолетних трав, кормовых корнеплодов (свеклы, турнепса, брюквы, моркови).

В полевых севооборотах навоз вносят также под картофель и озимые зерновые.

Бесподстилочный навоз вносят в качестве основного удобрения и подкормок. При использовании жидкого навоза необходимо соблюдать следующее:

- регулярно освобождать навозохранилища, чтобы не происходило их переполнения, загрязнения окружающей среды, распространения гельминтов и инфекций;

- сразу после внесения необходима заделка навоза в почву;

- на песчаных, супесчаных и легкосуглинистых почвах целесообразно его вносить с соломой или торфом;

- использовать жидкий навоз для приготовления компостов;

- избегать внесения навоза осенью на затопляемых весной полях и на склонах;

- на лугопастбищных угодьях нельзя вносить жидкий навоз из цистерн.

Летом его вносят из дождевальных установок сразу после стравливания или скашивания, минимум за три недели до очередного использования. После внесения отаву рекомендуется полить водой, что значительно улучшает качество корма и его поедаемость животными.

Дозы жидкого навоза определяют по требуемой дозе азота (табл. 14).

Таблица 14 – Дозы внесения жидкого навоза

Культура	Доза азота, кг/га	Жидкий навоз, т/га	
		крупного рогатого скота	свиней
Озимые	100	40	25
Корнеплоды	300	120	75
Кукуруза	250	100	65
Картофель	200	80	50
Многолетние злаковые травы на сено (перезалужение)	200	80	50
Однолетние травы	120	45	30
Улучшенные сенокосы и пастбища	200	80	50

Для дерново-подзолистых суглинистых почв предельная доза органического азота – 250 кг/га, супесчаных на морене – 230, супесчаных на песках – 200, торфяно-болотных – 150 кг/га.

При использовании бесподстилочного навоза, особенно при нарушении технологий внесения, существует опасность загрязнения поверхностных и грунтовых вод, почвы и воздуха. При внесении его

в высоких дозах на одних и тех же участках может ухудшиться санитарное состояние почвы, существует опасность ее засоления.

Применение высоких доз бесподстилочного навоза чревато загрязнением продукции нитратами.

9.3.Сроки, способы внесения подстилочного навоза

Навоз из навозохранилища или штабелей, сложенных в поле, следует равномерно разбросать по площади поля с помощью навозо-разбрасывателей и немедленно запахать. Задержка с заделкой навоза в почву только на один день приводит к большим потерям азота и снижению эффективности удобрения.

Лучше всего вносить навоз с осени под зяблевую обработку почвы. В осенний период навоз в почве подвергается минерализации, и к периоду весенних полевых работ, посеву или посадке культур могут накопиться в достаточных количествах элементы питания в доступной форме для них. К тому же осеннее внесение навоза позволяет избежать весенней перепашки почв агроценоза под пропашные культуры которая ведет к потере влаги из почвы. Это особенно важно для засушливых районов.

В Нечерноземной зоне хороший полуперепревший навоз под пропашные культуры позднего посева и парозанимающие можно вносить также весной под перепашку зяби. Если по какой-то причине навоз не был внесен под парозанимающую культуру весной, то его можно внести непосредственно под рожь, после уборки занятого пара (вико-овес, горохо-овес, люпин однолетний, картофель ранний и другие культуры).

В чистые пары навоз вносят и заделывают в почву в летнее время. Вспаханные пары с осени рано весной рекомендуется проборо-нить, затем прокультивировать, а в начале июня снова вспахать (носит название перепашка пара). Под эту вспашку и следует вносить навоз. Помимо сплошного основного внесения навоз можно вносить местно: в гнезда, лунки, борозды. При таком способе используется только хорошо перепревший навоз и в небольших дозах – 1-2 т/га. Местное внесение навоза применяется при посадке картофеля, высадке рассады капусты, томата и некоторых других культур. Более целесообразно местно вносить органо-минеральные смеси, особенно под картофель, томаты с добавлением суперфосфата.

В зависимости от почвенных и климатических условий глубина заделки навоза может колебаться от 12 до 22 см. В засушливых районах необходимо более глубоко заделывать навоз, чем во влажных. На тяжелых почвах, где разложение навоза затруднено, лучше запахивать его на меньшую глубину (12-14 см), а на легких – заделывать глубже (на 20-22 см).

В севообороте навоз необходимо применять, прежде всего, под овощные (на первое место можно поставить огурец и капусту) и пропашные культуры (картофель, кукурузу, сахарную свеклу, кормовые корнеплоды), а также под озимые зерновые культуры. Они наиболее требовательны к условиям питания и дают большие прибавки урожая по сравнению с другими культурами.

При сочетании навоза и минеральных удобрений в хозяйстве возможны одновременная заделка их в почву, внесение на одной площади, но в разные сроки и, наконец, внесение навоза на одни поля (под пропашные), а минеральных удобрений – на другие (под зерновые культуры). Из минеральных удобрений к подстилочному навозу в первую очередь следует добавлять азотные и фосфорные туки.

В табл. 15 приведены среднерекомендуемые дозы подстилочного навоза под некоторые сельскохозяйственные культуры, выращиваемые на дерново-подзолистых и серых лесных почвах Предуралья. Эти дозы могут изменяться в сторону снижения или увеличения, исходя из наличия навоза в хозяйстве, плодородия почв, типа севооборота и других факторов.

Озимые зерновые требуют менее высоких доз, чем картофель, кукуруза, свёкла. Самые высокие дозы навоза вносят под огурцы, капусту, силосные, корнеплоды. Дозы навоза зависят также от возможности хозяйств, то есть от наличия поголовья скота и накопления навоза. При недостатке навоза в хозяйстве целесообразно использовать его в меньших дозах, но на большей площади. При сохранении бездефицитного баланса гумуса в почве необходимо иметь следующую насыщенность одного гектара пашни: полевые севообороты – 4-6 т/га, пропашные – 7-9 т/га, овощные – 10-12 т/га.

Таблица 15 – Дозы подстилочного навоза под сельскохозяйственные культуры

Культура	Среднерекомендуемая доза, т/га	Вносится с этими дозами, кг/га			Используется в первый год действия, кг/га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая рожь по чистому пару	40-60	200-300	100-150	240-360	50-75	30-45	120-180
Озимая рожь по занятому пару (горохо-овёс, вико-овёс)	40-60	200-300	100-150	240-600	50-75	30-45	120-180
Картофель	60-80	300-400	150-200	360-480	75-100	45-60	180-240
Кукуруза, подсолнечник на зелёную массу	60-80	300-400	150-200	360-480	75-100	45-60	180-240
Огурец в открытом грунте	80-100	400-500	200-250	480-600	100-125	60-75	240-300
Свёкла кормовая, турнепс	40-60	200-300	100-150	240-360	50-75	30-45	120-180
Капуста белокочанная	40-80	200-400	100-200	240-480	50-80	30-60	120-240

При планировании урожайности озимой ржи 30-35 ц/га, картофеля – 250-300 ц/га, зелёной массы кукурузы – 500-600 ц/га, капусты – 500-700 ц/га, свеклы – 350-400 ц/га и коэффициентах использования азота – 25%, фосфора – 30%, калия – 50% культурам будет не хватать азота и фосфора, эти элементы необходимо довести за счёт минеральных удобрений. При внесении указанных доз в пару под озимую рожь, дополнять их минеральными удобрениями не рекомендуется, так как в пару накапливается 60-70 кг нитратного азота за счёт самой почвы. При хорошо перезимовавшей ржи и густом травостое, рано весной в качестве подкормки рекомендуется внести 30-45 кг азота, что составляет 0,9-1,3 ц аммонийной селитры или 0,7-1,0 ц мочевины.

Вопрос о том, можно ли вносить навоз под яровые культуры остается дискуссионным. В условиях Предуралья подстилочный навоз под зерновые яровые можно рекомендовать в том случае, если соблюдаются следующие основные требования:

- используется хорошо перепревший навоз;
- навоз вносится в небольших дозах 15-20 т/га;

- навоз вносится с осени под зяблевую вспашку;
- в хозяйствах имеется достаточное количество навоза, и он в оптимальных количествах используется в чистых и занятых парах, под картофель, овощи и другие культуры.

Недопустимо под яровые культуры вносить свежий и полуперепревший навоз по той причине, что он содержит большое количество непогибших семян сорной растительности, которые могут сильно засорять поля. Высокие дозы навоза могут затягивать вегетацию яровых, что в условиях короткого лета может привести к поздней уборке.

9.4. Навозная жижа

Навозная жижа – ценное быстродействующее азотно-калийное удобрение. Она содержит в среднем 0,2-0,3% N и 0,4-0,5% K₂O, фосфора в ней очень мало – 0,01% (табл. 16). В зависимости от условий хранения содержание азота и калия в навозной жиже может сильно колебаться: N – от 0,02 до 0,8%, а K₂O – от 0,1 до 1,2%.

Таблица 16 – Среднее содержание макроэлементов в навозной жиже, %

Навозная жижа из жижесборников:	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
при молочно-товарных фермах	0,26	0,12	0,38
при свиноводческих фермах	0,31	0,06	0,36
при конюшнях	0,39	0,08	0,58
при навозохранилищах молочно-товарных ферм	0,60	0,03	0,28
средний химический состав	0,40	0,07	0,40

Навозная жижа – одно из наиболее сильно и быстро действующих удобрений. В ней почти весь азот и калий находятся в водорастворимом, хорошо доступном для растений состоянии. Коэффициент использования растениями азота из навозной жижи составляет 50-60%, а калия – 70-80%, то есть по своему действию приравнивается к минеральным удобрениям. Каждая тонна навозной жижи повышает урожайность (в пересчете на зерно) на 1 ц, добавление к ней суперфосфата повышает её эффективность на 20-30%.

Почти весь азот в свежей моче находится в форме мочевины. Через 1-2 недели азот мочевины превращается в углекислый аммоний (NH₄)₂CO₃, азот которого используется растениями в первые дни после внесения, в летнее время в почве азот углекислого аммония в течение 2-3 недель превращается в нитраты (соли азотной кислоты).

Сам по себе углекислый аммоний навозной жижи – соединение не стойкое и на открытом воздухе быстро распадается на аммиак (NH₃), углекислый газ (CO₂), и воду (H₂O). Навозную жижу необходимо хранить в плотно закрытом жижесборнике. При хранении навозной жижи в закрытом жижесборнике над жижей находится углекислота, которая при отсутствии кислорода задерживает разложение углекислого аммония до аммиака, потери бывают менее значительными (табл. 17).

Таблица 17 – Потери аммиака из навозной жижи за 2 месяца хранения, %

Способ хранения	Потери
В жижесборнике:	
открытом	53
закрытом одной крышкой	39
под слоем отработанного тракторного масла (5 мм)	25
В компосте с торфом:	
низинным	25
верховым	19

На открытом воздухе из навозной жижи за месяц теряется 70-75% азота, а за три месяца (в летнее время) – 97%, из покрытой тонким слоем, отработанным маслом, теряет за месяц только 15% азота, а за три месяца – 40-45%. Важнейшим условием предотвращения потерь азота из навозной жижи – использование достаточного количества подстилки при получении навоза и добавление к жиже порошкового суперфосфата (3-5% от её массы) при хранении. В результате взаимодействия аммиака и суперфосфата образуется аммофос и преципитат, потери аммиака сокращаются в несколько раз:



Потери азота сократятся еще больше, если поверхность жижи в жижесборнике покрыть тонким слоем отработанного масла (однако поступление масла в почву вместе с навозом может способствовать её загрязнению органическими поллютантами).

Жижесборники располагают за пределами скотного двора, на расстоянии 5-10 м от стен. Жижесборники должны быть бетонированными и непроницаемыми для воды. Для откачки жижи из жижесборников, транспортировки и внесения используют ту же технику, что и для жидкого бесподстилочного навоза.

Общее количество навозной жижи, получаемой за год от разных видов животных, зависит от продолжительности стойлового периода,

количества и качества подстилки и кормов, устройства скотного двора и навозохранилища. От одной головы крупного рогатого скота за стойловый период (220-240 дней) накапливается в среднем 2-2,5 м³ жижи, такое же количество образуется от трех голов молодняка крупного рогатого скота до двух лет и от 10-12 телят.

В зимний период собранную навозную жижу лучше всего использовать для компостирования с торфом. При этом отпадает необходимость в устройстве больших жижесборников, резко сокращаются потери азота, и хозяйство получает дополнительное количество ценных органических удобрений.

Навозную жижу можно вносить в основное удобрение и в подкормку, а также использовать для приготовления компостов с торфом. Под зерновые культуры, картофель и корнеплоды в основное удобрение вносят 15-20 т/га навозной жижи, под овощные – 20-30 т/га. Поскольку жижа почти не содержит фосфора, целесообразно одновременно применять фосфорные удобрения.

Высокий эффект даёт использование навозной жижи на лугах и для подкормки озимых зерновых, пропашных и овощных культур.

Ранневесеннюю подкормку озимых и луговых трав проводят перед их боронованием – 4-5 т/га навозной жижи, разбавленной в 2-3 раза водой.

Навозная жижа не содержит семян сорной растительности, её можно в дозе 3-5 т/га вносить под яровые зерновые культуры и заделывать культиватором.

Для подкормки озимой ржи навозную жижу рекомендуется разбавлять водой в 3-4 раза, особенно тогда, когда в ней содержится 0,4-0,6 % азота, при содержании азота менее 0,2 % можно вносить её, не прибегая к разбавлению, в дозе – 3-5 т/га, с помощью машин: АНЖ-2, РЖ-1,7, которые разбрызгивают удобрение полосой 8-10 м. После подкормки озимой ржи, многолетних злаковых трав навозной жижей, поле следует сразу же пробороновать, чтобы предотвратить улетучивание азота в воздух в форме аммиака.

Для подкормки овощных культур, картофеля, кукурузы рекомендуется вносить навозную жижу 5-10 т/га на глубину 8-10 см культиваторами-растениепитателями прицепного или навесного типа: КРН-2,8, КРН-4,2. В разбавленном виде (1:10) навозную жижу можно применять против многих заболеваний, таких как мучнистая роса на ягодниках, парша на плодах яблони и др.

При поверхностном внесении навозной жижи до посева или в подкормку её необходимо немедленно заделать в почву, чтобы сократить потери азота. Задержка с заделкой на 2-4 дня снижает эффективность жижи на 30-50%.

9.5. Особенности приготовления и использование бесподстилочного навоза

При ограниченном использовании подстилочного материала (до 1 кг на корову в сутки) получается навоз влажностью до 85-87 %. Накопление смеси твердых и жидких выделений животных при небольшом количестве подстилки позволяет полностью механизировать очистку животноводческих помещений, однако получаемый навоз имеет неблагоприятные для транспортировки и внесения физические свойства. Потери азота из такого навоза даже при хранении в закрытых навозохранилищах достигают больших размеров, и перед его внесением в почву требуется предварительное компостирование с торфом или землей.

На крупных специализированных фермах и животноводческих комплексах практикуют бесподстилочное содержание животных, при котором получается бесподстилочный жидкий навоз – подвижная смесь кала, мочи и технологической воды (попадающей в навоз при уборке помещения, мытье кормушек, из автопоилок). Такой навоз обладает текучестью и легко поддается перекачке по трубам самотеком и с помощью насосов.

Средний выход бесподстилочного навоза от одной головы крупного рогатого скота составляет 50-60 л/сут. (30- 35 л кала и 15-20 л мочи, 5 л технологических вод), от одной свиньи – 12 л/сут. (8 л кала, 2 л мочи и 2 л воды). В производственных условиях за счёт технологических вод выход навоза по сравнению с количеством экскрементов животных может увеличиться на 25%.

В зависимости от содержания воды бесподстилочный навоз бывает полужидким (влажность до 92%) или жидким (влажность за счёт технологических вод достигает 92-97%). Смесь экскрементов, значительно разбавленную водой (влажность более 97%), называют навозными стоками. Объемная масса бесподстилочного навоза близка к 1, то есть масса 1 м³ составляет 1 т.

В бесподстилочный навоз из кормов переходит в среднем 50-80% азота, 60-80% фосфора, 80-95% калия, 80-90% кальция и 60% ор-

ганического вещества. После разбавления бесподстилочного навоза водой концентрация питательных элементов и органического вещества в нем снижается. Химический состав бесподстилочного навоза в зависимости от его влажности приведен в табл. 18.

Таблица 18 – Химический состав бесподстилочного навоза в зависимости от его влажности, % на сырое вещество (среднее по различным источникам)

Питательные вещества	Состав при влажности		
	88-90%	92-94%	96-98%
Навоз КРС			
N	0,30-0,40	0,20-0,30	0,07-0,15
P ₂ O ₅	0,15-0,25	0,10-0,15	0,03-0,10
K ₂ O	0,30-0,40	0,20-0,30	0,07-0,15
Навоз свиней			
N	0,40-0,50	0,25-0,35	0,08-0,20
P ₂ O ₅	0,20-0,25	0,12-0,17	0,04-0,08
K ₂ O	0,15-0,22	0,08-0,15	0,04-0,08

Химический состав бесподстилочного навоза зависит от вида животных и используемых кормов. Навоз откормочных бычков содержит больше азота, фосфора и калия, чем навоз коров и молодняка крупного рогатого скота. При откармливании свиней зернофуражом в навозе увеличивается содержание сухого вещества, а при скармливании картофеля, наоборот, увеличивается процент воды.

Неразбавленный жидкий навоз крупного рогатого скота и свиней, полученный на крупных фермах и промышленных комплексах, соответственно, содержит (%): сухого вещества – 10-11,5 и 9,8-10,5; азота – 0,40-0,43 и 0,5-0,7; фосфора – 0,28- 0,20 и 0,40-0,25; калия – 0,45-0,50 и 0,21-0,24.

В бесподстилочном навозе от 50 до 70% азота находится в аммонийной форме, хорошо доступной растениям в первый период внесения. Поэтому коэффициент использования культурами азота бесподстилочного навоза и действие его на урожай в год внесения выше, чем подстилочного, а последствие, наоборот, слабее. Фосфор и калий навоза используются растениями не хуже, чем из минеральных удобрений.

Реакция бесподстилочного навоза зависит от вида кормов и способов хранения, рН колеблется от 6,5 до 8,5. Кроме макроэлементов в бесподстилочном навозе содержатся микроэлементы и тяжелые металлы. В 1 т навоза КРС влажностью 92 % содержится 28 г меди, 22 г марганца, 12 г цинка, 2,4 г бора, а в 1 т свиного навоза влажностью 95

% – 2,9 г меди, 12 г марганца, 32 г цинка, 0,01 г молибдена. В бесподстилочном навозе отношение C:N более узкое, чем в подстилочном, и колеблется от 5:1 до 10:1. Такое соотношение характеризует бесподстилочный навоз как органическое удобрение. В связи с тем, что в бесподстилочном навозе невысокое содержание углерода, поэтому биохимические процессы протекают медленнее, чем в подстилочном навозе.

На крупных животноводческих комплексах выход бесподстилочного навоза при самосплаве составляет для комплексов на 1200 коров около 30 тыс. т в год, на 10 тыс. бычков – около 110 тыс. т, на 100 тыс. свиней – около 100 тыс. т в год. Использование такого громадного количества навоза возможно только при полной механизации и автоматизации всех процессов транспортировки, хранения и применения.

Удаление бесподстилочного навоза может быть механическим – с помощью транспортёров, самосплавом – самотёком по сплавным каналам и гидросмывом с помощью воды.

Применение системы прямого гидросмыва приводит к разбавлению навоза водой в 2-3 раза, соответственно, возрастает потребность в ёмкостях для хранения и транспортных средствах для вывозки и внесения навоза. По мере разбавления навоза водой экономическое преимущество бесподстилочного содержания животных по сравнению с подстилочным утрачивается. Разбавление навоза водой целесообразно лишь непосредственно перед внесением его с одновременным поливом или орошением.

Применение бесподстилочного навоза

Для транспортировки и внесения бесподстилочного навоза на поверхность почвы используют специальные цистерны-разбрасыватели. Их загрузку осуществляют фекальными насосами из карантинных ёмкостей или навозохранилищ.

При отсутствии устройств для измельчения твердых включений, перемешивания и гомогенизации жидкого навоза его можно использовать после предварительного разделения на твердую и жидкую фракции. Жидкая фракция содержит 75-80% питательных веществ, имевшихся в навозе, и представляет собой хорошее удобрение, которое хранят в навозохранилищах. Твердую фракцию, имеющую влажность 65- 67%, укладывают в штабеля и используют как и подстилочный навоз.

Для снижения затрат на хранение, транспортировку и внесение жидкого навоза, в условиях крупных животноводческих комплексов практикуют круглогодичное внесение бесподстилочного навоза на близлежащие (до 4 км) поля (прежде всего, в кормовых севооборотах) и для удобрения культурных сенокосов и пастбищ. Применение жидкого навоза зимой на затопляемых площадях и склонах, где возможен смыв его при весеннем снеготаянии, недопустимо. Подкормку пастбищ жидким навозом проводят сразу же после стравливания или не позднее, чем за 25-30 дней до очередного стравливания, чтобы не ухудшить поедаемость зелёного корма.

В практике сельского хозяйства сложились разные технологические способы применения бесподстилочного навоза:

1. Внесение навоза в почву с его немедленной заделкой на глубину не менее 15-16 см на почвах тяжёлого гранулометрического состава и на 17-18 см лёгкого гранулометрического состава. Бесподстилочный навоз из хранилищ загружают в цистерны – разбрасыватели, вывозят в поле, разливают по поверхности и заделывают в почву.

2. Жидкий навоз подают к полю по трубопроводам, вносят дождевальными установками. При таком способе навоз разбавляют водой в соотношении 1:8-10, если его вносят по вегетирующим растениям и 1:1-3 – на поле без растений.

3. Жидкий навоз по трубам подают на поле, в поле проводят перекачку в цистерны-разбрасыватели и разливают по поверхности, немедленно запахивают или культивируют. Бесподстилочный навоз целесообразно применять по разбросанной по полю измельченной соломе. После уборки зерновой культуры на 1 га обычно остается 5-7 т соломы, на которую вносят 80-100 т жидкого навоза. Солому измельчают и разбрасывают непосредственно при уборке зерновыми комбайнами или оставшуюся на поле измельчают и разбрасывают косилками-измельчителями. Затем солому и внесенный навоз заделывают в почву на глубину пахотного слоя.

4. На комплексе, ферме проводят отделение жидкой фракции от твердой. Жидкую фракцию подают по трубопроводам в поле и вносят дождевальными установками, а твердую вносят навозоразбрасывателями.

5. Рациональный способ использования бесподстилочного навоза – компостирование его с торфом, соломой, другими растительными остатками. Для приготовления компоста с соломой на 1 т её берут

3-4 т бесподстилочного навоза. На ровную грунтовую обвалованную с трех сторон площадку (одна торцовая сторона остается открытой) завозят солому, разравнивают и уплотняют её. На соломенную подушку 0,7- 1,0 м с помощью цистерны-разбрасывателя наносят жидкий навоз. Затем из компостируемой массы формируют бурт, укрывают его землей или торфом и оставляют до созревания.

6. Эффективным и экологически безопасным приемом использования бесподстилочного навоза на удобрение является его внутрипочвенное внесение. Однако он не получил широкого распространения из-за отсутствия специальной техники и более высоких энергетических затрат.

Для внесения жидких органических удобрений во всех почвенно-климатических зонах страны используют машины: РЖУ-3,6, РЖТ-4, РЖТ-8, РЖТ-16. Как и для внесения подстилочного навоза используют колесные трактора: МТЗ-80, МТЗ- 82, Т-150К и К-701. Модель РЖУ-3,6 навешивают на автомобиль. В последние годы для внесения в почву жидкого навоза с влажностью более 92 % выпускают агрегат АВВ-ф-2,8, включающий машину МЖТ-10 и навешенное на нее приспособление для внутрипочвенного внесения навоза. Внутрипочвенное внесение позволяет избежать поверхностного внесения навоза и заделки его плугом или культиватором.

9.6. Торф и компосты. Зеленые удобрения, сапрпель

Торф представляет собой полуразложившиеся в условиях избыточного увлажнения и недостатка воздуха остатки болотной растительности. Различают верховой, переходный и низинный торф. Наиболее ценным с точки зрения питания растений является низинный торф, его можно использовать непосредственно в качестве удобрения. Проветренный низинный торф хорошо использовать для мульчирования почвы и приготовления торфоперегнойных горшочков. Верховой торф имеет высокую кислотность, низкую зольность, степень разложения и гораздо более низкое содержание питательных элементов, чем низинный торф. Поэтому его используют преимущественно в качестве подстилки для скота и приготовления компостов.

Торф содержит много азота, но из-за низкой биологической активности этот азот инертен по отношению к питанию растений. Наиболее эффективным способом использования торфа, позволяющим повысить доступность его азота растениям, является компости-

рование его с биологически активными компонентами – навозом, навозной жижей, птичьим пометом и другими материалами с получением соответствующих компостов (рис. 2).



Рисунок 2. Основные виды компостов

Вермикомпост (коммерческое название – биогумус) – продукт переработки навоза, соломы, растительных остатков и других органических отходов дождевыми червями, среди которых наибольшую популярность получил красный калифорнийский гибрид *Eusenia Foetieda anarei*, выведенный в штате Калифорния (США) в 50-е годы прошлого столетия на основе высокопродуктивной линии навозного червя. Длина взрослой особи до 6–8 см, масса – около 1 г.

С начала 80-х годов его стали использовать в России. В отличие от обычных червей культивируемые черви быстрее размножаются и живут дольше (до 16 лет). Один взрослый червь может давать до 1500 особей в год. Взрослый червь за сутки потребляет количество пищи, равное массе его тела, и 60% ее выделяет в виде экскрементов. Оптимальные условия для его размножения: температура около 15–20°C, рН 7–8, достаточная аэрация, влажность субстрата – около 80–90 %. Численность популяции за год увеличивается в 4–10 раз.

Вермикомпосты готовят в кучах или емкостях. Плотность заселения – 30–100 тыс. червей на одно ложе (размеры ложе – 1 × 2 м), количество сырья – 1–1,2 т в год. Кормом могут быть ферментированные органические вещества: навоз, солома, трава, опавшая листва, ветви деревьев, отбросы, картон, бумага и др. Птичий помет в чистом виде использовать нельзя, необходимо предварительное компостирование его с торфом или другими органическими отходами. Фермен-

тацию проводят путем выдерживания (компостирования) в течение 1–1,5 мес. уложенного слоями и увлажненного сырья. Перегнившие полностью органические отходы не пригодны в качестве корма. Если реакция сырья кислая, перед началом ферментации в него добавляют известь или мел. В корм желательно добавить до 10 % минеральных субстратов в виде цеолитов, почвы гумусового горизонта.

Прохождение температурной стадии в процессе компостирования снижает количество жизнеспособных семян сорняков, вредителей и возбудителей болезней. По истечении указанного срока, когда температура в уложенной массе снизится до 20 °С, делают отверстия и запускают туда червей (по 100 особей на отверстие). Через 3–4 мес. отходы превращаются в компост. Для отделения червей предлагаются разные способы, среди которых – расположение новой кучи рядом со старой, куда черви сами переползают в поисках пищи.

Вермикомпосты, как правило, представляют собой сбалансированное гранулированное органическое удобрение, содержащее 30 % (на сухое вещество) гумуса, 0,8–3,0 – азота, 0,8–5 – фосфора, 1,2 – калия, 2–5 % кальция.

Они являются более качественными и более эффективными, чем обычные компосты, так как в большей степени обеззаражены, содержат значительно больше полезных штаммов микрофлоры, биостимуляторов, ускоряющих рост, развитие и созревание растений.

Дозы внесения вермикомпоста колеблются от 0,3 до 5 т/га. Каждая его тонна повышает урожайность зерновых в первый год на 6 ц/га и еще на столько же – за ротацию севооборота. Урожайность картофеля повышается на 40–50 ц/га и более.

Вермикомпост можно использовать как компонент тепличных грунтов – до 20–25 % объема. Есть опыт использования его в качестве подкормок (100–200 г под каждое растение в прикорневую зону) и для некорневого опрыскивания с целью профилактики болезней и заражения некоторыми вредителями.

В настоящее время имеется ряд крупных фирм по разведению калифорнийских червей и производству вермикомпостов в Санкт-Петербурге, Твери, Москве, Владимире, Новосибирске, Самаре и др. городах.

Зеленое удобрение. Эффективность зеленых удобрений зависит от вида, продуктивности и способа использования сидерата. Темпы разложения зеленых удобрений зависят от гранулометрического со-

става, влажности почвы, возраста сидерата в момент запашки и глубины заделки их в почву. Чем в более позднюю фазу развития сидеральной культуры произведена запашка, чем тяжелее почва, выше ее влажность и глубже заделка, тем медленнее происходит минерализация органической массы.

Одним из недостатков сидерации является иссушение почвы во время вегетации растений. В засушливый период запашка сидератов может быть неэффективной, а иногда и дать отрицательный результат. Это наблюдается в сидеральных парах, когда сидераты запахи-вают с опозданием (незадолго до посева озимых). В зависимости от агрометеорологических условий сидераты следует запахивать не позднее, чем за 25–30 дней до посева следующей культуры. Под яровые культуры это лучше делать поздно осенью или весной.

Разложение зеленого удобрения в почве протекает быстрее, чем других органических удобрений, богатых клетчаткой. Добавление к нему при запашке богатых микрофлорой органических удобрений (навоза, птичьего помета, навозной жижи, фекальных масс и др.) ускоряет темпы минерализации сидерата. Коэффициент использования азота из зеленого удобрения в 1-й год действия в два раза выше, чем из подстилочного навоза, и действие его продолжается несколько лет.

По данным ВИУА, прибавка урожая зерна ржи от удобрения зеленой массой люпина составляет на песчаных почвах 0,42 т/га, на супесчаных – 0,47 т/га, на суглинистых – 0,77 т/га (среднее из 36 опытов). Действие продолжается и на других культурах, даже на легких почвах.

Зеленое удобрение можно с успехом применять на всех почвах в зонах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия. Возможности использования его в Нечерноземной зоне практически не ограничены. Например, после уборки озимых и ранних яровых культур достаточно времени, тепловых и водных ресурсов для успешного выращивания подсевных и пожнивных культур. С одной стороны это интенсифицирует севооборот, а с другой вводит в круговорот азот воздуха, что дает возможность снизить расход технического азота.

Для повышения содержания органического вещества в почве, улучшения ее фитосанитарного состояния следует выращивать рапс. Имея глубоко проникающую корневую систему, рапс разрыхляет

почву и активизирует микробиологические процессы разложения органического вещества.

Сапропели (от греч. *Saprós* – гнилой и *pélós* – грязь, ил). Это донные отложения пресных водоемов различной окраски – от розовой до темно-коричневой. Россия располагает крупнейшими в мире запасами сапропелевых месторождений, составляющими по предварительной оценке более 250 млрд. тонн в расчете на стандартную влажность. В Нечерноземной зоне запасы сапропеля составляют около 40 млрд. м³. Его много в Ленинградской, Архангельской, Псковской, Ярославской области, Карелии. В Смоленской области по прогнозным оценкам насчитывается 100 месторождений с запасом 200 млн. м³ сапропелей, в том числе, разведанные запасы 15 месторождений составляют 10 млн. м³. В настоящее время масштабы добычи и использования сапропеля значительно меньше, чем ежегодное накопление в естественных и искусственных водоемах.

Сапропели содержат не менее 15 % органического вещества, а также неорганические компоненты биогенного и привносного характера. В их состав входят гуминовые кислоты, фульвокислоты, гемицеллюлоза, целлюлоза, битумы, зола, а также биохимически активные вещества – аминокислоты, витамины и др.

Несмотря на огромные запасы, доля сапропеля в общем балансе применяемых в Нечерноземье органических удобрений составляет менее 1%. 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 до сыпучего состояния с влажностью около 50 %. При этом закисные соединения окисляются.

Подсушенный сапропель равномерно распределяют по полю и спустя неделю производят его заделку в почву.

Сапропели – малотранспортабельный материал. Экономически оправдана перевозка его на расстояние до 20 км.

Для достижения одинакового эффекта доза сапропеля должна быть в два–три раза выше, чем навоза. По удобрительной ценности 1 т сапропелей равноценна 0,6–0,7 т торфонавозных компостов. Его целесообразно применять в качестве удобрения при недостатке навоза и, прежде всего, на полях, расположенных вблизи мест добычи.

9.7. Нетрадиционные способы использования органических отходов

Солома зерновых злаковых культур

Около 50% посевных площадей Пермского края занято зерновыми культурами. Ежегодный урожай соломы зерновых культур составляет более 330 тыс. т. В недалеком прошлом почти вся солома уходила на корм скоту. В настоящее время значительные массы её остаются на полях и сжигаются. При сжигании 30 ц соломы теряется 18-20 кг/га азота и 1200- 1400 кг/га углерода. Химический состав соломы (% на сухое вещество) приводится в табл. 19.

Таблица 19 – Химический состав соломы в условиях Предуралья, %, (Зиганшина Ф.М., 1989)

Солома культуры	Сухое вещество	Органическое вещество	В воздушно-сухом веществе				
			зола	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C:N
Ржаная	86	83	3,1	0,50	0,22	1,6	166
Овсяная	86	82	4,2	0,75	0,30	2,0	109
Ячменная	86	82	4,3	0,70	0,26	2,1	123
Пшеничная	85	81	4,1	0,67	0,21	1,5	121
Рапсовая	85	80	-	0,53	0,11	0,85	70
Зернобобовых	86	80	-	1,29	0,16	1,09	20

Согласно приведённому химическому составу соломы с 1 т на гектар может поступать в почву: органического вещества – 800 кг, азота – 4-7, фосфора – 0,8-2,3, калия – 10- 397 15, кальция – 2-10, магния – 0,5-2, серы – 1-2 кг, бора – 7 г, меди – 3, марганца – 30, молибдена – 0,4, цинка – 40, кобальта – 0,1 г. В солому входят стебли, листья, колосья после обмолота урожая зерновых культур. Длина соломы колеблется в зависимости от культуры в пределах 30 – 180 см. Солома овса и ячменя мягче, чем пшеницы и озимых культур, поэтому она при резком недостатке кормов идёт для использования на корм.

Солома состоит в основном из трех групп органических соединений: целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Целлюлоза представляет собой глюкозу, связанную в межмецеллярные молекулы. Гемицеллюлоза состоит из пентозанных сахаров. Лигнин – полимер ароматических соединений, придающий растению прочность и жесткость. Кроме этих соединений, солома в небольших количествах содержит белок, воск, сахара, соли и нерастворенную золу. В условиях Предуралья на дерново-подзолистых, серых лесных и черноземных

почвах окончательная минерализация соломы злаков происходит только на 4 – 5 год после заделки.

Основными конечными продуктами при разложении соломы являются: углекислый газ, вода, азот в виде солей аммония и в составе ППК, фосфор в виде солей ортофосфорной кислоты, хорошо усвояемых растениями и калий в виде обменного в ППК и солей.

Во всех видах соломы, отмечается широкое отношение углерода к азоту. От соотношения С:N зависит скорость разложения соломы. Чем уже это соотношение, тем быстрее происходит разложение соломы микроорганизмами в почве.

При внесении соломы в чистом виде в первый год наблюдается снижение урожайности в результате дополнительного потребления азота почвы целлюлозоразлагающими бактериями. Микроорганизмы для окисления органического вещества (целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, сахаров) используют кислород нитратов почвы, при этом последние восстанавливаются до свободного азота с потерей его в окружающую среду.

Восстановление нитратного азота микроорганизмами до свободного газообразного азота (N₂) называется денитрификацией. Реакция может быть описана уравнением:



Чем шире соотношение С:N в соломе, тем больше микроорганизмам требуется азота почвы. Для снижения потерь азота почвы и усиления процесса минерализации необходимо на 1 т соломы вносить 10-15 кг азота в виде минеральных или органических удобрений (на 1 га необходимо вносить в среднем по 30-40 кг/га д.в. азотных удобрений, или органических 6-8 т подстилочного или бесподстилочного навоза).

В опытах Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева при внесении 22 т/га ржаной соломы в течение 7 лет в почву, кроме азота, поступило 56 кг/га фосфора, 230 кг/га калия, что привело к увеличению подвижных форм этих элементов в слое 0 – 30 см.

При разложении соломы в почве 80-90% органического вещества минерализуется до конечных продуктов, то есть минеральных соединений и 10-20 % участвуют в синтезе гумусовых веществ. На дерново-подзолистых почвах заделка 2-3 т /га соломы обуславливает образование 3-5 ц гумуса.

Большую часть сухого вещества в соломе занимает клетчатка. Она разлагается грибами – актиномицетами и 399 бактериями. Разрушается клетчатка медленно, так как она связана с лигнином, смолами и восками. При разложении клетчатки образуются низкомолекулярные кислоты, спирты и резорцин, принимающие участие в построении гумусных соединений. Все органические соединения соломы стабильны и разлагаются микроорганизмами длительное время. Минерализация её происходит в несколько раз быстрее в присутствии навоза или навозной жижи. В соломе под воздействием микроорганизмов почвы или навоза в первую очередь разрушаются простые углеводы и белки, затем – целлюлоза и гемицеллюлоза, в последнюю очередь разлагается лигнин. Скорость и степень минерализации соломы зависит от способа обработки почвы, плотности, увлажнения и температуры. В уплотненной и сухой почве минерализация происходит значительно медленнее, чем в рыхлой и увлажненной. В соломе кроме указанных органических веществ присутствуют салициловая, дегидростеариновая кислоты, ванилин и фенол. Эти соединения токсически действуют на растения. Продукты разложения соломы – ванилиновая, кумаровая, дегидростеариновая, салициловая, бензойная кислоты и их соединения ингибируют рост растений. Прежде всего, это проявляется на росте корней, нарушении обмена веществ, хлорозе, подавлении дыхательного процесса.

Солому используют непосредственно на удобрение, для получения подстилочного навоза, для получения компостов, для мульчирования.

При использовании соломы в качестве удобрения её измельчают и разбрасывают по полю. После измельчения солому лучше заделать лушпильником или дисковой бороной на глубину 8-10 см. Такая первоначальная заделка её позволяет избежать накопления токсических соединений, так как в аэробных условиях почвы токсичные вещества быстрее исчезают в результате усвоения их микроорганизмами и адсорбции коллоидами почвы. В анаэробных условиях они сохраняются более длительный период. Применение одной соломы, без азотных удобрений, в большинстве случаев может привести на некоторое время к снижению урожайности.

Снижение выхода кормовых единиц за ротацию пятипольного севооборота в зависимости от доз запаханной соломы составляло 0,5-1,4 ц/га. Внесение $P_{60}K_{60}$ при тех же дозах соломы, что и без мине-

ральных удобрений, ещё больше обусловило снижение продуктивности севооборота. Использование соломы с азотом минеральных или органических удобрений способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Солома оказывает положительное влияние на физико-химические свойства почвы

Её используют в качестве подстилочного материала (в виде резки) и для компостирования с различными традиционными органическими удобрениями, ограниченно (после запарки пшеничной соломы) – для кормления сельскохозяйственных животных, в гидролизном и других видах производств.

Мульчирование соломой заключается в её измельчении, равномерном покрытии почвы мульчей. Этот приём даёт хороший результат во влажных условиях, так как предотвращает сильный рост сорняков. Мульчирование соломой является эффективным приёмом в борьбе с эрозией почвы.

При сложившейся структуре посевных площадей выход соломы в земледелии страны оценивается в 100 млн. т в год, половина которого может служить значительным резервом восполнения убыли органического вещества (углерода) при минерализации гумуса почвы.

При решении вопроса о целесообразности применения соломы на удобрение необходимо учитывать насыщенность севооборота зерновыми злаками, фитопатогенную обстановку и засоренность посевов, особенности азотного режима почв, применения органических и минеральных удобрений в хозяйстве.

Древесные отходы в качестве удобрения

Кора и опил содержат более 85% органического вещества, азота – 0,2-0,5, фосфора – 0,05-0,15, калия – 0,45, окиси кальция – 25% на абсолютно сухое вещество; отношение углерода к азоту очень широкое и достигает 200:1. Все элементы входят в состав трудноразлагающихся органических соединений, таких как лигнин и целлюлоза, составляющих 55 и 25% древесной массы. Водная вытяжка как из коры, так и из опила характеризуется кислой реакцией среды, рН 4,0-4,9, зольность их составляет 3-6%. Древесная кора многолетнего хранения представляет разложившуюся массу чёрно-бурого цвета влажностью 50-70%. Реакция среды – слабокислая. Древесные опилки содержат питательных веществ меньше, чем кора. Таким образом, кора и опилки состоят в основном из органического вещества и не содер-

жат легкоусвояемых элементов питания, а поэтому могут применяться только после компостирования с различными добавками. Гумификация клеточных оболочек коры происходит только после разрушения изолирующих их слоёв пробковой ткани, поэтому прежде чем приступить к компостированию, кору необходимо измельчить. Чем меньше диаметр частиц, тем быстрее происходит процесс компостирования. Измельчённая кора должна иметь влажность не более 50%, части диаметром более 10 мм – не более 40%, в том числе содержать частиц размером 40 мм – не более 15%. Размол коры до такого состояния требует больших затрат. Для компостирования без измельчения можно использовать кору и опилки, пролежавшие в отвалах десятки лет. При длительном хранении они приобретают рыхлость и сыпучесть. Удобрительная ценность коры и опилок не велика, применение их в чистом виде иногда приносит не пользу, а вред, так как лигнин, смолы и другие соединения, а также кислая реакция отрицательно влияют на поступление питательных элементов почвы. При разложении клетчатки микроорганизмы расходуют большое количество азота почвы, оставляя растения без азота. Особенно опасно вносить в почву свежие опилки.

Для ускорения процесса минерализации измельчённую кору и полуперепревшие опилки (пролежавшие в буртах или кучах не менее двух лет) компостируют с бесподстилочным жидким навозом, птичьим помётом при соотношении 1:1. При этом эффективно добавлять 2-3% фосфоритной муки (от массы компоста). При отсутствии фосфоритной муки необходимо внести золу или известь.

Готовые к внесению коронавозные, коропомётные компосты имеют влажность 60-75%, содержание в сухом остатке золы – 20-30%, общего азота – 1,3-2,7%, фосфора – 1,3-2,6%, калия – 0,7-1,5%, рН водной суспензии 7,0-8,5. Доступность этих элементов растениям ниже, чем из подстилочного навоза и торфонавозного компоста. Результаты использования компостов из древесной коры и помёта (соотношение 1:1) на озимой ржи в Кировской области показали, что внесение их в дозах 20, 40 и 60 т/га позволило дополнительно получить 1,3, 1,4 и 7,4 ц/га зерна.

Имеется довольно много рекомендаций по приготовлению короминеральных удобрений и использованию их под сельскохозяйственные культуры. Л.А. Гришина и др. рекомендуют при приготовлении короминерального компоста влажностью 60-70 % вносить не

менее 1% азота, 0,5% фосфора, 0,25% калия по действующему веществу от массы коры (или 10, 5 и 2,5 кг, соответственно, на 1 т). Перемешанную массу укладывают в бурт и компостируют в течение 2-6 месяцев (в зависимости от степени подготовленности коры, климатических условий и времени закладки бурта). Сибирский НИИ целлюлозы и картона рекомендует на 1 т абсолютно сухой массы применять 7,5 кг азота, 12 кг фосфора в действующем веществе.

Компостирование рекомендуют проводить в течение 3-4 месяцев в буртах высотой 2,5-3 м, шириной 6-10 м – у основания и 4-7 – в верхней части. Короминеральные, короорганические удобрения по своей эффективности уступают торфонавозным компостам, однако положительность действия первых более растянута, иногда их последствие проявляется на 9-10 год после внесения. Дозы, сроки и способы внесения компостов на основе коры и опилок такие же, как и торфонавозных компостов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минеев В.Г. Агрохимия. Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп.- М: Изд-во МГУ, Изд-во «КолосС», 2004. – 720 с.
2. Ягодин Б.А. и др. Агрохимия. М.: КолосС, 2002. – 680 с.
3. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия. М.:Мир, 2003.584 с
4. А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров Агрохимия. Учебное пособие – 2-е изд., перераб. и доп.- Майкоп:, Изд-во «Аффиша», 2006. - 1075 с.
5. Ефимов В.Н. Система применения удобрений. – М.: КолосС, 2002. -320 с.
6. Кидин В.В. Система удобрения: учебник для бакалавров / В.В. Кидин. - Москва: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012. – 479 с.
7. Кротких Т.А. Эколого-агрохимические основы применения удобрений в Предуралье: / Т.А. Кротких, Л.А. Михайлова; рец.: С.Л. Елисеев, А. И. Косолапова. - Пермь : Пермская ГСХА, 2013. – 298 с.
8. Михайлова Л.А. Особенности питания и удобрение основных сельско- хозяйственных культур на почвах Предуралья : учебное пособие / Л А. Михайлова, Т.А. Кротких; ред. Л.А. Михайлова - Пермь: Пермская ГСХА, 2012. – 223 с.
9. Практикум по агрохимии / Под общей ред. В.В. Кидина. – М.: Колос, 2008. – 512 с.

Учебное издание

Виктор Федорович Шаповалов

Агрохимия

**Курс лекций для аспирантов по направлению подготовки
35.06.01 Сельское хозяйство**

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 08.05.2018 г. Формат 60×84 Бумага печатная
Усл. печ. л. 7,73. Тираж 25 экз. Изд. №5917.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ