

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ И АГРОБИЗНЕСА

Кафедра агрохимии, почвоведения и экологии

СМОЛЬСКИЙ Е.В.

# СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В АГРОЛАНДШАФТАХ

Учебное пособие для студентов  
обучающихся по направлению подготовки  
35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение

Брянская область  
2019

УДК 631.8:63:72 (076)

ББК 35.32:4:26.82

С 51

Смольский, Е. В. **Системы удобрения в агроландшафтах:** учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение / Е. В. Смоленский. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. – 116 с.

Учебное пособие написано в соответствии с программой дисциплины «Системы удобрения в агроландшафтах» и отвечает требованиям Федерального государственного образовательного стандарта РФ. Издание предназначено для студентов сельскохозяйственных вузов, обучающихся по направлению подготовки 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение, также оно будет полезно специалистам, работающим в сельскохозяйственной сфере.

Целью учебного пособия является совершенствование знаний по эффективному применению удобрений на основе: правильного выбора ландшафта, умения выбрать почву и подобрать сельскохозяйственные культуры, с учетом сроков и способов внесения агрохимических средств для получения большего количества продукции с хорошим качеством. Пособие реализует компетенции для направления подготовки 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение ПК–3: способностью самостоятельно выполнять научные исследования с использованием современных методов и технологий и ПК-6: готовностью применять разнообразные методологические подходы к проектированию агротехнологий и моделированию агроэкосистем, оптимизации почвенных условий, систем применения удобрений для различных сельскохозяйственных культур.

#### **Р е ц е н з е н т ы :**

Н.М. Белоус – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимия, почвоведения и экологии Брянского государственного аграрного университета.

В.М. Никифоров – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, селекции и семеноводства Брянского государственного аграрного университета.

*Рекомендовано к изданию решением методической комиссии института экономики и агробизнеса Брянского государственного аграрного университета от 15 октября 2019 года, протокол № 1.*

© Брянский ГАУ, 2019

© Смоленский Е.В., 2019

## Введение

Вся многовековая история цивилизованного человечества неразрывно связана с земледелием, главная задача которого состоит в обеспечении растущего населения Земли продовольствием. Поэтому один из основных показателей системы земледелия – уровень получаемых урожаев. Составной частью системы земледелия является система удобрения.

Существовавшие на заре земледелия примитивные подсечно-огневая и переложная системы обеспечивали получение урожайности зерна около 4 ц/га. За счет большого количества свободной земли и малого населения они позволяли восстанавливать плодородие истощенной урожаем почвы путем забрасывания пашни и вовлечения в сельскохозяйственный оборот новых земель.

При средневековой трехполке пар – озимые – яровые за счет отдыха одного поля и внесения на нем навоза урожайность увеличилась до 6-7 ц/га. Разработанная в XVIII в. в Англии плодосменная система земледелия с введением в структуру посевных площадей клевера и пропашных позволила довести урожайность зерновых до 16 ц/га. Знаменитый норфолькский севооборот пропашные – яровые – клевер – озимые с небольшими изменениями быстро распространился во всех странах Европы. Посевы клевера и пропашных позволили увеличить поголовье скота и выход навоза, а также повысить плодородие почв и урожайность возделываемых культур. Плодосменная система просуществовала в Европе в течение всего XIX в.

XX в. ознаменовался интенсификацией земледелия. Применение минеральных удобрений в пересчете на 100%-ное действующее вещество увеличилось с 1 млн тонн в начале века до 150 млн тонн в конце его. Это привело к тому, что уже в 30-х годах в странах Западной Европы урожайность зерновых выросла до 30 ц/га. Основоположник

агрохимической науки в России академик Д. Н. Прянишников отмечал, что странам Западной Европы потребовалось 100 лет для того, чтобы с помощью плодосмена и улучшенной обработки почвы увеличить урожайность с 7 до 16 ц/га и только 25 лет для увеличения урожайности с 16 до 30 ц/га благодаря применению минеральных удобрений.

Вторая половина XX в. в странах с высокоразвитым земледелием ознаменовалась зеленой революцией, внедрением интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. К концу этого века на базе выведенных высокопродуктивных короткостебельных сортов зерновых, выращиваемых на фоне высоких доз удобрений, применения ретардантов и химических средств защиты растений урожайность зерновых увеличилась до 70-80 ц/га и более.

В странах с высокоразвитым земледелием не менее 50% прибавки урожая получают за счет удобрения и 1 кг NPK окупается 10 кг и более зерна. Питательные вещества удобрения служат основой создания урожая, поддержания и повышения плодородия почв. Например, при урожайности пшеницы 30 ц/га вынос азота из почвы урожаем составляет около 80-90 кг/га, фосфора – 30, калия – 60-70 кг/га. Чем выше продуктивность сорта, тем больше растение выносит элементов питания из почвы. В настоящее время в странах с высокоразвитым земледелием применение удобрений на 1 га пашни составляет от 150 до 500 кг д.в.

В России наибольшие капитальные вложения в производство и применение удобрений были сделаны в 70-80-х годах XX в. при благоприятной экономической ситуации в стране. С 1973 г. бывший Советский Союз вышел на первое место в мире по производству минеральных удобрений, а с 1975 г. на его долю приходилось 20% их мирового выпуска. Применение минеральных удобрений на 1 га пашни возросло с 28 кг в 1965 г. до 118 кг в 1988 г. Это позволило увеличить урожайность зерновых с 12 до 18 ц/га. В России на 1 га паш-

ни в 1990 г. применяли 99 кг NPK. Однако окупаемость 1 кг NPK была низкой и составляла 5 кг зерна по сравнению с 10 кг средневропейского уровня. Это связано с менее благоприятными климатическими условиями возделывания культур в России: меньшим количеством тепла, переувлажнением почв в северных районах и засухой в южных, низким уровнем естественного плодородия почв, не прошедших 100-летнего окультуривания плодосменом, как это было в странах Западной Европы. Земледелие России до 20-х годов XX в. базировалось на трехполке. Кроме того, интенсивное применение минеральных удобрений в странах Западной Европы началось только, когда здесь практически не осталось кислых почв за счет проведенного длительного известкования, что также способствовало их высокой окупаемости.

В России около 45 млн га сельскохозяйственных угодий имеют кислую реакцию и эффективность удобрений на них на 30-40% ниже, чем на произвесткованных почвах. Эффективность удобрений снижается также при низкой культуре земледелия: некачественном их внесении, засоренности полей и несоблюдении агротехники. На сильнозасоренных почвах до 40% и более питательных веществ из удобрений используется сорняками.

В последнее десятилетие XX в., ознаменовавшееся экономическим кризисом в России, производство минеральных удобрений уменьшилось до 9098 тыс. тонн, из которых 6722 тыс. тонн было экспортировано. За этот период применение минеральных удобрений внутри страны сократилось до 1850 тыс. тонн и резко пошло на убыль их внесение на 1 га пашни. Это привело к снижению урожая зерновых с 18 до 11,6 ц/га.

По мере преодоления экономического кризиса, установления паритета цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию переориентация экспорта удобрений на внутреннее потребление их в России экономически будет

выгодной и земледелие страны станет переходить от экстенсивного к интенсивному. Химическая промышленность страны полностью обеспечена отечественными высококачественными агроудобрениями и при появлении экономических стимулов может быстро восстановить не только прежние объемы производства минеральных удобрений, но и значительно превзойти их.

Экстенсивное земледелие без удобрений неизбежно ведет к постепенному неуклонному истощению почв и снижению урожайности сельскохозяйственных культур, о чем свидетельствует мировой опыт земледелия. Если проблему азота в земледелии можно решать за счет разумного сочетания технического и биологического азота, применения органических удобрений, то проблему фосфора и калия – только за счет применения минеральных удобрений, так как других источников фосфора и калия в природе не существует. Интенсификация земледелия с применением удобрений, стимуляторов роста, ретардантов и средств химической защиты растений способствует увеличению плодородия почв и росту урожайности. При рациональном использовании средств химизации загрязнения окружающей среды не происходит.

В настоящем учебном пособии рассматриваются научные основы рациональных систем удобрения и повышения их эффективности в основных почвенно-климатических зонах России.

Под системой удобрения следует понимать комплекс научно обоснованных агротехнических и организационных мероприятий по размещению органических, минеральных удобрений, известковых и других материалов под сельскохозяйственные культуры с учетом климата, плодородия почвы, типа севооборота, предшественников, биологических особенностей растений и сортов, состава и свойств удобрений. Основная задача системы удобрения включает-

ся не только в обеспечении нормального питания растений в текущем году, но и в планомерном повышении плодородия почв, ее окультуривании как основы для дальнейшего роста урожайности. Правильно разработанная система удобрения обеспечивает увеличение урожайности, улучшение качества продукции, сохранение или повышение плодородия почв и предотвращение загрязнения окружающей среды остатками агрохимикатов.

Достижение высокого качества сельскохозяйственной продукции возможно при грамотном сочетании органических и минеральных удобрений, включая микроэлементы, в правильных соотношениях элементов питания и выборе форм удобрений, соблюдении сроков их внесения. Например, подкормкой озимых зерновых азотом в фазе молочной спелости можно увеличить содержание белка и клейковины в зерне. Чтобы повысить сахаристость сахарной свеклы, необходимо избегать поздних подкормок азотом, а чтобы не снизить крахмалистости картофеля – избегать повышенных доз хлорсодержащих удобрений.

Рациональная система удобрения способствует повышению их эффективности и росту производительности труда в сельском хозяйстве. Условия питания растений в почве зависят от доз, сроков и способов внесения удобрений. Их доза, соотношение в удобрении элементов питания растений зависят не только от сельскохозяйственной культуры, почвы, но и от климата и погодных условий. Поэтому удобрения в каждой зоне имеют свои особенности.

Систему удобрения разрабатывают для хозяйства, севооборота, лугов и пастбищ, многолетних насаждений, отдельных культур и культур защищенного грунта. Система удобрения в хозяйстве включает накопление, приобретение и хранение удобрений; распределение их по объектам использования (севообороты, луга, пастбища, многолетние насаждения и т.д.); подготовку, транспортировку и внесение

удобрений; определение агрономической и экономической эффективности.

Система удобрения в севообороте заключается в распределении органических и минеральных удобрений между сельскохозяйственными культурами и определении способов внесения удобрений с учетом обеспеченности ими хозяйства, плодородия почв на всей площади севооборота, прямого действия и последействия удобрений. Количественным показателем системы удобрения является насыщенность его удобрениями – средняя масса удобрений, приходящаяся на 1 га пашни ежегодно и за ротацию. Продуктивность севооборота в значительной мере определяется его насыщенностью удобрениями.

Система удобрения отдельных сельскохозяйственных культур заключается в определении их потребности в питательных веществах, сочетании органических и минеральных удобрений, установлении сроков и способов их внесения, оплаты удобрений прибавкой урожая.

При разработке системы удобрения используют лабораторные (химический анализ растений, почв, удобрений) и полевые опыты, а также балансовые расчетные методы с применением вычислительной техники.

Благодаря рациональной системе удобрения можно решить следующие основные задачи: рост урожайности сельскохозяйственных культур и управление их качеством, сохранение или повышение плодородия почв, охрана окружающей среды от загрязнения, определение потребности в удобрениях на перспективу.

Значительная часть почв России характеризуется низким и средним естественным плодородием (дерново-подзолистые, серые лесные и др.). Даже лучшие почвы России – черноземы при неправильном сельскохозяйственном использовании подвержены подкислению и дегумификации. При отсутствии органических и минеральных удобрений

ний, известковых материалов или недостаточном их внесении почвы деградируют, что приводит к снижению урожая.

Для предотвращения истощения почвы и повышения урожайности необходимо вмешательство человека – главным образом внесение удобрений. Питательные элементы удобрений, введенные человеком в круговорот веществ в земледелии, претерпевают различные изменения. Одна часть их отчуждается из хозяйства с товарной продукцией и изымается из биологического круговорота, другая, вынесенная из почвы с нетоварной продукцией и используемая в хозяйстве на корм животным и подстилку, возвращается на поле с навозом и вновь включается в круговорот. Из потребляемого животными корма в среднем в навоз переходит 40% органического вещества, 50 – азота, 80 – фосфора и до 95% калия. Питательные элементы товарной части продукции в почву не возвращаются, и в ней складывается отрицательный баланс элементов питания. Для компенсации выноса элементов питания, сохранения и повышения плодородия почв, роста урожайности необходимо внесение удобрений.

Научные основы применения удобрений базируются на познании биологического круговорота веществ и их баланса в земледелии. Дефицит элементов питания может быть выявлен на основе балансовых расчетов.

Баланс питательных веществ – сопоставление статей поступления их в почвы извне с суммарным расходом на формирование урожаев и непродуктивные потери из почвы. Это упрощенная математическая модель круговорота веществ в земледелии. На основании расчета баланса и выявления в динамике дефицита можно регулировать питательный режим почвы с помощью удобрений. Балансовый расчет – основной способ проверки правильности разработанной системы удобрения. Баланс питательных веществ дает представление об истощении или обогащении почвы питательными веществами при существующей системе удобре-

ний в хозяйстве. Для познания этих процессов составляют баланс в динамике за ряд (5-10 и более) лет. Это дает возможность сопоставлять данные баланса по элементам питания и определять изменение содержания их в почве. Потребность в удобрениях, разработанную на основе баланса, и дозы их внесения на ближайшую или более длительную перспективу для хозяйств, района, области, крупного экономического района рассчитывают по данным структуры посевных площадей и урожайности культур с учетом агрономической и экономической их эффективности, а также выпуска удобрений промышленностью.

В разных почвенно-климатических зонах количественные показатели приходных и расходных статей баланса неодинаковы. При расчете баланса для системы удобрения в севооборотах конкретного хозяйства необходимо использовать данные зональных научно-исследовательских учреждений.

Для разработки баланса по крупному региону или в целом по стране необходимы сведения о посевных площадях, средней урожайности, валовых сборах сельскохозяйственной продукции и количестве внесенных в почву органических и минеральных удобрений. Впервые баланс элементов питания для страны был составлен Д.Н. Прянишниковым. Им было показано, что для получения хороших урожаев в России в почву необходимо возвращать не менее 80% азота, 100 – фосфора и 70-80% калия от вынесенного с урожаем растений. Эти средние цифры могут изменяться в зависимости от уровня плодородия почв. Современная методика составления баланса элементов питания в земледелии разработана российскими учеными А.В. Петербургским, И.В. Гулякиным, В.Н. Прокошевым и другими агрохимиками.

Систематическое изучение эффективности удобрений по зонам России было начато в 30-х годах по инициативе Д.Н. Прянишникова Научно-исследовательским институтом удобрений и инсектофунгицидов (НИУИФ) и

Всероссийским научно-исследовательским институтом удобрений и агропочвоведения (ВИУА). Д.Н. Прянишников создал Географическую сеть опытов с удобрениями ВИУА, в задачу которых входит выявление эффективности удобрений в полевых опытах в различных зонах страны по согласованной программе. Участниками Географической сети опытов с удобрениями являются зональные и отраслевые научно-исследовательские институты, опытные станции, сельскохозяйственные вузы и другие учреждения. Опыты по выявлению эффективности удобрений непосредственно в производственных условиях хозяйств проводят в системе агрохимслужбы Центрального научно-исследовательского института агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО), который является и методическим центром. В передовых хозяйствах страны и в отдельных регионах с высокой культурой земледелия окупаемость удобрений высокая.

В годы экономического кризиса, произошедшего в России на рубеже XX и XXI вв., производство и применение удобрений резко снизились. По мере выхода России из кризиса применение удобрений будет увеличиваться, так как это является материальной основой получения высоких урожаев и повышения плодородия почв.

Главная задача использования удобрений заключается в повышении их эффективности путем более рационального применения, в переходе от разрозненных приемов внесения под отдельные культуры к научно обоснованной системе.

Важная роль удобрений в повышении урожайности культур несомненна, хотя в отдельные неблагоприятные по погодным условиям годы она снижается. Значение удобрений в повышении урожайности будет еще больше возрастать при укреплении материально-технической базы по производству, хранению и применению удобрений, общем подъеме культуры земледелия.

## **Раздел 1**

### **Основные способы внесения удобрений**

Учитывая периодичность питания растений (критический период и период максимального потребления элементов питания), выделяют три срока внесения удобрений. По назначению и времени внесения удобрение бывает допосевное (основное), припосевное и послепосевное (подкормки).

#### **1.1. Допосевное (основное) внесение удобрений**

Для посева вносят от 2/3 до 3/4 общей дозы удобрений под конкретную сельскохозяйственную культуру. Основное удобрение предназначено обеспечивать растение элементами питания на весь период его развития, повышать плодородие почвы, обогащать ее питательными веществами, улучшать физические и физико-химические свойства почвы; увеличивать ее биологическую активность.

Допосевное (основное) удобрение вносят вразброс или локально. Внесение удобрений вразброс состоит из разбрасывания удобрений по поверхности и последующей их заделки в почву плугом, культиватором или дисковыми боронами.

Разбросной способ должен обеспечивать равномерное распределение удобрений по площади поля. При локальном внесении удобрения размещают очагами в зоне развития корневой системы с целью повышения коэффициента использования питательных веществ.

В России основное удобрение вносят, как правило, разбросным способом. Удобрения применяют осенью под вспашку или весной под культивацию. Под вспашку используют органические удобрения, известь и минеральные удобрения. В южных районах страны из-за пересыхания

верхней части пахотного слоя почвы в летний период удобрения вносят под зяблевую вспашку. В районах с гумидным климатом допосевное удобрение применяют в два приема: фосфорные и калийные – осенью под вспашку, азотные – весной под предпосевную культивацию. В районах избыточного увлажнения при промывном типе водного режима почв азотные удобрения с осени вносить нецелесообразно из-за высокой их растворимости и возможного вымывания. Глубокая заделка удобрений важна под корнеплоды и картофель – культуры с глубокопроникающей корневой системой.

На песчаных почвах, особенно в районах избыточного увлажнения, во избежание вымывания элементов питания все удобрения лучше вносить под предпосевную культивацию.

В районах с непромывным типом водного режима (ЦЧЗ, юго-восток России, Западная Сибирь и др.) на суглинистых почвах азотные удобрения (не только аммиачные, но и аммиачно-нитратные) можно вносить с осени.

Важно равномерно распределять удобрение по поверхности поля. Опытами ВИУА установлено, что при неравномерности внесения удобрений, составляющей 25-30%, урожайность зерновых снижается на 5-7%, при 50-70% недобор зерна достигает 7 ц/га.

При заделке удобрений под вспашку основное их количество размещается в почве на глубине 9-20 см, в результате чего оно малодоступно растениям в начале вегетации. При заделке культиваторами и дисковыми боронами 50-90% удобрений находится в поверхностном 3-сантиметровом слое почвы, который быстро пересыхает, и питательные вещества удобрений плохо используются растением. Все это снижает эффективность разбросного удобрения.

Более прогрессивным способом внесения удобрений является локальный. При локальном внесении удобрений

они слабо перемешиваются с почвой и элементы питания удобрений дольше сохраняются в доступном для растения состоянии. При локализации удобрения расходуются экономнее. Для получения одинаковой прибавки урожая дозу локального удобрения можно уменьшить в 1,5-2 раза по сравнению с разбросным. При дефиците удобрений уменьшение дозы внесения на 30-50% позволяет увеличить удобряемую площадь. При полной обеспеченности удобрениями хозяйства локальное внесение дает возможность сэкономить 20-30% удобрений и получить большие урожаи по сравнению с разбросным способом. Замена разбросного удобрения локальным (при одинаковой дозе внесения) повышает урожайность зерновых на 2-5 ц/га, кукурузы – на 5-8, картофеля, корнеплодов, овощей – на 20-40 ц/га.

Допосевное локальное удобрение размещают в почве лентами или сплошным экраном. Под зерновые культуры его вносят зернотуковыми и переоборудованными для этих целей зерновыми сеялками. Удобрение заделывают в почву в виде лент шириной 2-4 см с интервалами между ними 12-17 см. В зависимости от почвенно-климатических условий ленты располагают на глубине от 8-10 до 12-15 см. Ленточное внесение удобрений целесообразно совмещать с паровой или предпосевной обработкой почвы, используя для этого переоборудованный культиватор-растениепитатель КРН-4,2 или почвообрабатывающий агрегат РВК-3,0.

Зерновые культуры высевают в поперечном к лентам внесенного удобрения направлении. Лента локализованного удобрения находится ниже семенного ложа. Допосевное локальное удобрение под зерновые в условиях Западной Сибири и в других районах, подверженных ветровой эрозии, рекомендуют вносить одновременно с плоскорезной обработкой парового поля плоскорезом-удобрителем-глубококорыхлителем. Удобрение располагается сплошным

экраном на глубине 12-16 см. Этим способом рекомендуют вносить фосфорные ( $P_{60-80}$ ) удобрения один раз за ротацию четырех-пятипольного севооборота.

Ленточное внесение удобрения до посадки картофеля менее эффективно, чем при посадке комбинированными сажалками. В Нечерноземной зоне, где картофель высаживают в предварительно нарезанные гребни, удобрение вносят лентой на дно гребня. Допосевное ленточное внесение удобрений под корнеплоды осуществляют переоборудованными культиваторами-растениепитателями на глубину около 15 см с интервалами 20-30 см.

Эффективность допосевого ленточного удобрения зависит от глубины заделки удобрений в почву, ширины лент и расположения их относительно рядов растений. На семена сельскохозяйственных культур при прорастании отрицательно влияет высокая концентрация элементов питания в ленте. Поэтому необходимо предотвращать контакт семян с удобрением. Чрезмерное удаление удобрений от семян также недопустимо, так как в этом случае преимущество локального способа внесения пропадает.

Семена зерновых в зависимости от увлажненности почвы заделывают на глубину 3-4 см в Нечерноземной зоне и 5-8 см в засушливых районах. Поэтому ленты удобрения на суглинистых почвах располагают на глубине 8-10 см, на песчаных и супесчаных почвах на 15 см. Оптимальный интервал между лентами для зерновых составляет 12-17 см, для пропашных – 20-30 см при глубине размещения лент 12-15 см. Эффективность ленточного внесения удобрений при точном их дозировании и равномерности распределения по полю повышается. Неравномерность распределения между сошниками должна быть не более 10%.

Многочисленными опытами доказано преимущество расположения посевных рядков растений поперек лент вносимых удобрений по сравнению с параллельным. Это

позволяет проводить более равномерную заделку семян в почву, разрыхленную сошниками туковой сеялки. Семенное ложе при поперечном размещении рядков более выровнено, и корневые системы растений лучше используют удобрение.

## **1.2. Припосевное внесение удобрения**

Припосевное удобрение вносят одновременно с посевом или посадкой полевых и овощных культур непосредственно в рядки (рядковое удобрение) или заделывают лентами на некотором удалении от них.

Припосевное рядковое удобрение наиболее широко распространено в производстве. Его назначение состоит в усилении минерального питания молодого растения. В период от прорастания семян до образования корневой системы всходы слабо усваивают питательные вещества почвы и основного удобрения. Припосевное удобрение позволяет растениям за короткий срок сформировать хорошо развитую корневую систему, способную усваивать элементы питания почвы и основного удобрения. Припосевное локальное внесение основной дозы удобрения улучшает питание растений в течение всего вегетационного периода.

Припосевное ленточное удобрение из-за отсутствия необходимых машин меньше распространено. Оно имеет преимущество перед допосевным ленточным внесением. Этот прием позволяет размещать ленты удобрений на оптимальных и строго выдержанных расстояниях от рядков семян, снижает неравномерность их распределения. Ленты удобрений располагают ниже и сбоку от рядков семян. Удобрения с семенами не контактируют, они разделены прослойкой почвы. В то же время локальное предпосевное удобрение более эффективно по сравнению с припосевным, а машины для его внесения проще по конструкции.

Виды и формы припосевного удобрения predetermined его назначением. В первые две недели после прорастания семян у растений наступает критический период к недостатку фосфора. Потребность в фосфоре в это время преобладает над потребностью в азоте и калии. Поэтому решающее значение в составе рядкового удобрения имеет фосфорное. Удобрения, используемые при посеве, должны хорошо растворяться и легко усваиваться молодыми растениями. В то же время проростки семян очень чувствительны к высокой концентрации почвенного, раствора. Поэтому непосредственно в рядки вносят в зависимости от культуры небольшие дозы удобрений (5-20 кг/га д.в.). Внесение более высоких доз в зону высева семян нецелесообразно. При посеве зерновых культур в рядки вносят гранулированный простой и двойной суперфосфат (10 кг/га д.в.) или аммофос. При внесении сахарной свеклы в рядки вносят полное минеральное удобрение: N и K<sub>2</sub>O – по 8-10 кг/га, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 10-20 кг/га; при посадке картофеля – N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O по 20-30 кг/га. Для сахарной свеклы и картофеля лучше использовать комплексные удобрения (1-1,5 ц/га нитрофоски). При ленточном припосевном внесении удобрения не контактирует с семенами, поэтому можно использовать не только фосфорные, но и азотные и калийные удобрения.

Припосевное удобрение эффективно во всех почвенно-климатических зонах под большую часть сельскохозяйственных культур. Наибольший и устойчивый эффект от припосевного рядкового удобрения проявляется на почвах невысокого плодородия с низкими запасами элементов питания. По данным опытов, 0,5 ц гранулированного суперфосфата, внесенного на 1 га в рядки с семенами, повышает урожай зерна на 2,5-3,0 ц/га. На хорошо удобренных плодородных почвах эффективность рядкового удобрения снижается. Однако и на этих почвах отказываться от его

применения не следует. Рядковое удобрение уменьшает отрицательное действие пестроты почвенного покрова и неравномерности внесения основного удобрения.

Припосевное рядковое удобрение зерновых эффективно и в условиях засушливого земледелия юго-востока европейской части России и Западной Сибири, где основное удобрение из-за недостатка влаги не применяют. Удобрения вносят зернотуковыми и другими комбинированными сеялками. Припосевное ленточное удобрение может быть и основным, если вносят большую его дозу.

Ленточное припосевное удобрение имеет явные преимущества перед разбросным.

Для получения равных прибавок урожая при ленточном внесении расходуется в 2 раза меньше удобрений, чем при разбросном. Ленточное припосевное внесение повышает эффективность не только малых, но и повышенных доз удобрений (до 100-150 кг/га каждого питательного вещества).

Эффективность ленточного припосевного внесения удобрений зависит от ширины лент, глубины посева и смещения в сторону от семян.

Глубину внесения припосевного ленточного удобрения комбинированными зерновыми сеялками устанавливают с учетом почвенно-климатических условий. На суглинистых почвах Нечерноземной зоны России и других районов достаточного увлажнения ленты удобрений располагают на глубине около 3 см ниже уровня размещения семян, на песчаных и супесчаных почвах в этих районах и в лесостепи удобрения вносят на 3-5 см, а в засушливой степной зоне – на 5-7 см глубже семян. Смещение ленты удобрения в сторону от рядка должно составлять 2-4 см, при узкорядном посеве зерновых (с междурядьями 6-8 см) ленты удобрений размещают посередине междурядья (в каждом или через одно).

При внесении удобрения под пропашные культуры комбинированными сеялками и сажалками ленты должны смещаться в сторону от рядка на 2-10 см, глубина посева их на 2-7 см ниже семян. При больших дозах удобрения его размещают в две ленты, по обе стороны от рядка семян.

### **1.3. Послепосевное внесение удобрения (подкормка)**

Послепосевное удобрение (подкормку) проводят при недостаточном внесении основного удобрения, для усиления питания в наиболее важные периоды, улучшения качества продукции. В большинстве случаев фосфорно-калийные подкормки вследствие мелкой заделки удобрений неэффективны и ими нельзя заменить основное удобрение. Они целесообразны только на слабо обеспеченных этими элементами почвах при отсутствии или недостаточном внесении основного удобрения, когда симптомы голодания растений обнаруживаются по внешним признакам.

Наибольшее распространение в производстве получила ранневесенняя азотная подкормка озимых разбросным и прикорневым способами. Вышедшие из-под зимы растения ослаблены, микробиологическая деятельность в почве в этот период заторможена, растениям недостает азота. При этом внесение мочевины разбросным способом исключается из-за больших газообразных потерь азота при ее разложении.

Наиболее эффективны весенние азотные подкормки озимых, при которых 1 кг азота дает прибавку зерна 12-15 кг. Для повышения эффективности ранневесенних подкормок и уменьшения потерь азота их не следует проводить до полного схода снега и сброса снеговой воды. Вносить азот под озимые следует весной, когда растения тронутся в рост, при этом наиболее эффективна прикорневая подкормка.

Преимущества прикорневой весенней подкормки озимых заключаются в том, что удобрения вносят не по поверхности, а заделывают во влажный корнеобитаемый слой почвы и распределяют их по площади более равномерно. При этом сокращаются газообразные потери азота и повышается использование его растениями. Прибавки зерна от прикорневой подкормки по сравнению с поверхностной составляют 2-3 ц/га. Прикорневая подкормка озимых эффективна во всех почвенно-климатических зонах, но наибольшие преимущества перед поверхностной подкормкой она имеет в засушливой степной зоне. Прикорневую подкормку озимых проводят при помощи зерновых сеялок с дисковыми сошниками поперек рядков растений после схода снега и подсыхания почвы, чтобы не повредить посевы.

Некорневые подкормки озимых азотом в фазе молочной спелости проводят при использовании интенсивных технологий для увеличения урожайности (1-3 ц/га) и повышения содержания белка (0,5-1%) в зерне. Для некорневой подкормки пшеницы используют раствор мочевины, который не дает ожогов листьев даже при концентрации 20-30%. Подкормку необходимо проводить при безветренной погоде или слабом (2-3 м/с) ветре и температуре воздуха 15-20 °С. При ветреной погоде и высокой температуре раствор с поверхности листьев быстро испаряется и эффективность подкормок снижается. В солнечную погоду подкормки проводят утром или вечером, в пасмурную – в течение всего рабочего дня. Для некорневой подкормки используют технологическую колею.

На посевах кукурузы азотную подкормку дают во время первой междурядной обработки, на посевах сахарной свеклы – после прорывки, картофеля – через 10-15 дней после всходов, льна – в фазе елочки. Первую азотную подкормку хлопчатника проводят в фазе 2-3 настоящих листьев, вторую и третью азотно-фосфорные подкормки –

в фазе бутонизации и цветения.

Культуры сплошного посева подкармливают при помощи разбросных туковых сеялок, культуры рядкового посева – сухими или растворенными удобрениями при помощи растениепитателей или специальных орудий при междурядной обработке почвы.

Подкормку переувлажненных лугов не следует проводить до начала отрастания трав, однако и запаздывать с ней нельзя. Азотные удобрения вносят на поверхность почвы наземными машинами.

Фосфорно-калийные некорневые подкормки на посевах сахарной свеклы и картофеля, проведенные за месяц до уборки урожая, способствуют усилению оттока питательных веществ из листьев в корни и клубни. Урожайность сахарной свеклы повышается на 10-15 ц/га, сахаристость – на 1-2%, содержание крахмала в клубнях картофеля – на 1,5-2,5%. Некорневые подкормки широко применяют и в защищенном грунте.

#### **1.4. Запасное внесение удобрения**

Удобрением в запас называется внесение нескольких (2-3) доз удобрений за один прием на 2-3 года. При таком удобрении экономятся трудовые, технические и экономические ресурсы. С агротехнической точки зрения ежегодное и запасное внесение удобрений чаще всего равнозначно.

В запас вносят фосфорные и калийные удобрения. При слабой обеспеченности почв фосфором и калием запасное внесение удобрений имеет преимущество перед ежегодным, так как на определенной площади позволяет быстро повысить в почве содержание их подвижных соединений и улучшить питание растений. На почвах с высоким содержанием фосфора и калия положительного влияния запасного внесения не обнаружено.

В хозяйствах, хорошо обеспеченных удобрениями, запасное внесение фосфора и калия (на 2-3 года) целесообразно под посев многолетних трав, так как ежегодное внесение фосфорных и калийных удобрений по поверхности не всегда эффективно. Эффективность подкормок многолетних трав значительно снижается в годы с сухими веснами, когда внесенные по поверхности удобрения плохо усваиваются растениями. При создании культурных сенокосов и пастбищ запасное внесение удобрений целесообразно на более длительный срок.

В Нечерноземной зоне для коренного улучшения фосфатного режима бедных дерново-подзолистых почв целесообразно запасное внесение фосфорного удобрения в форме фосфоритной муки. Ее вносят в повышенных дозах (до 3 т/га) в пару. Внесение фосфоритной муки в запас в указанных дозах обеспечивает повышение урожаев в течение 7-10 лет. Однако в целом по стране запасное внесение удобрений не получило широкого распространения в производстве из-за дефицита удобрений, особенно фосфорных.

### **1.5. Сочетание разных способов внесения удобрения**

Каждый способ и прием внесения удобрений имеют свое назначение. Отдельно взятый способ внесения удобрений не может способствовать созданию хороших условий питания растений на протяжении всего вегетационного периода и получению высокого урожая хорошего качества. Для наиболее полного обеспечения растений элементами питания на протяжении всей вегетации и повышения плодородия почв необходимо правильно сочетать различные способы внесения удобрений. Характер этих сочетаний определяется особенностями питания культуры, ее агротехникой, почвенно-климатическими условиями, обеспеченностью хозяйства удобрениями. Например, особенности пита-

ния озимых культур требуют сочетания основного, припосевого способов внесения удобрений и подкормок.

В основное удобрение под озимые вносят навоз, фосфорные и калийные удобрения, часть азотных. Озимые культуры имеют длинный вегетационный период и хорошо используют питательные вещества из медленно разлагающихся в почве органических удобрений. В основное удобрение вносят не более 50 % общей дозы азота. Избыточное азотное питание с осени вредно для растений. Оно приводит к уменьшению сахаров в растениях и снижению их зимостойкости. В первые две недели после прорастания у озимых наступает критический период в отношении фосфорного питания. Припосевное внесение фосфорного удобрения (10 кг  $P_2O_5$  на 1 га) способствует удовлетворению озимых в фосфоре в этот период. Ранневесенняя подкормка озимых азотом улучшает развитие ослабленных после перезимовки растений.

Выбор способа внесения удобрений тесно связан с агротехникой культуры. Так, для озимых основное удобрение вносят под глубокую вспашку, припосевное – вместе с семенами. Подкормку пропашных культур сочетают с их междурядной обработкой.

Выбор способа внесения удобрений определяется и почвенно-климатическими условиями. В условиях достаточного увлажнения основное минеральное удобрение можно вносить и под вспашку, и под предпосевную культивацию. В районах недостаточного увлажнения при пересыхании верхней части пахотного слоя основное удобрение необходимо вносить только под глубокую вспашку. В засушливых условиях Западной Сибири и юго-востока европейской части России предпочтение отдают припосевному удобрению. Из-за недостатка влаги основное удобрение там может быть малоэффективным.

Выбор способа внесения удобрения определяется

также плодородием почв и обеспеченностью хозяйств удобрениями. На высокоплодородных почвах эффективность подкормок снижается. На почвах невысокого плодородия и при отсутствии основного удобрения роль подкормок повышается. При наличии специальных машин предпочтительнее локальный прием внесения удобрений. Особенно эффективен он при низком плодородии почв и недостатке удобрений в хозяйстве.

### ***Контрольные вопросы***

1. Какие используют способы внесения удобрений?
2. В чем состоит назначение основного, припосевного и послепосевного удобрения?
3. Каковы сроки основного внесения удобрений в зависимости от климата региона и водного режима почвы?
4. В чем заключаются преимущества локального приема внесения удобрения перед разбросным?
5. В каких случаях, с какой целью и на каких культурах применяют послепосевное удобрение (подкормки)?
6. Назовите сроки проведения подкормок, дозы и виды удобрения в зависимости от сельскохозяйственной культуры.
7. Что такое прикорневая подкормка и какова ее назначение?
8. Что такое некорневая подкормка и какова ее назначение?
9. Какой вид и форму удобрения применяют при некорневой подкормке озимых?
10. От каких факторов зависит выбор способа внесения удобрений?
11. Почему при применении удобрений необходимо сочетать различные способы их внесения?

## Раздел 2

### Условия эффективного применения удобрений

На эффективность удобрений влияют почвенные, климатические, агротехнические и организационно-экономические условия.

#### 2.1. Почвенные условия

Эффективность удобрений зависит от типа, подтипа, вида или разновидности почвы – агрохимических её показателей, видов, форм, сочетания удобрений, а также от сроков и способов их внесения на разных почвах. Наибольшие прибавки урожая от удобрений получают на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах.

Эффективность удобрений на обыкновенных и южных черноземах, каштановых почвах при возделывании сельскохозяйственных культур значительно ниже. В пределах одного почвенного типа и подтипа на эффективность отдельных видов удобрений существенное влияние оказывает гранулометрический состав почвы. В условиях дерново-подзолистых почв он определяет запасы питательных веществ.

Прибавки урожая сельскохозяйственных культур на песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почвах выше от азотных и калийных удобрений, а на среднесуглинистых и тяжелосуглинистых почвах – от фосфорных. Гранулометрический состав во многом определяет размеры вымывания азота. По данным М.А. Бобрицкой, на дерново-подзолистых супесчаных почвах вымывание азота в пару составляло 108 кг/га, а на суглинистых почвах – 57 кг/га. Физиологически кислые удобрения оказывают большее подкисляющее действие на песчаных почвах, чем на суглинистых.

На эффективность удобрений сильное влияние оказывают агрохимические свойства почв, а именно содержание подвижных форм химических элементов питания. По обобщенным данным Н.А. Сапожникова, эффективность суперфосфата на почвах с высоким содержанием подвижного фосфора резко снижается.

Действие органических удобрений в различных районах России неодинаково. Наивысшие прибавки от навоза получают в районах с достаточным увлажнением, где преобладают дерново-подзолистые и серые лесные почвы. В районах с черноземными и каштановыми почвами, характеризующихся небольшим количеством осадков, эффективность органических удобрений снижается.

Азотные удобрения особенно эффективны на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, выщелоченных черноземах северных и западных районов лесостепной зоны. В степных районах юга и востока с обыкновенными и южными черноземами, каштановыми почвами влияние их слабее. Высокое действие азотных удобрений проявляется в Зауралье, Западной, Средней и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке, а также при орошении.

Фосфорные удобрения эффективны на всех почвах. На выщелоченных черноземах лесостепной зоны они повышают урожай сильнее, чем азотные.

Действие калийных удобрений на урожай сельскохозяйственных растений особенно велико на дерново-подзолистых, торфяных и серых лесных почвах; на черноземах, каштановых и сероземных почвах эффективность их ниже.

Растения лучше поглощают азот из нитратных удобрений на кислых дерново-подзолистых, серых лесных почвах и красноземах. Аммонийные формы азотных удобрений, наоборот, лучше используются растениями на нейтральных и карбонатных почвах. На дерново-подзолистых и других почвах с кислой реакцией эффек-

тивны труднорастворимые формы фосфорных удобрений (фосфоритная мука, фосфатшлак).

На черноземах, каштановых и сероземных почвах более эффективны водорастворимые формы фосфорных удобрений (суперфосфат, аммофос). Калийные хлорсодержащие удобрения нельзя использовать под табак, цитрусовые культуры. Под эти культуры целесообразно применять сульфатные формы. Под картофель и лен хлорид калия лучше вносить с осени, чтобы уменьшить неблагоприятное действие хлора. В сухую погоду при подкормках нельзя применять мочевины, так как возможны большие потери азота.

В большинстве районов России органические и минеральные удобрения применяют в сочетании, исходя из доз навоза и коэффициента использования питательных веществ, содержащихся в нем. В связи с низким коэффициентом использования азота органических удобрений эффективность азотных удобрений на фоне навоза на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах высокая, особенно при внесении умеренных доз навоза (15-25 т/га) под картофель, сахарную свеклу и кормовые культуры. Фосфорные и калийные удобрения на фоне навоза менее эффективны.

Эффективность сочетания отдельных видов минеральных удобрений на различных почвах неодинакова. На дерново-подзолистых почвах эффективны все три вида макроудобрений: азотные, фосфорные и калийные. На черноземных почвах основными видами минеральных удобрений являются азотные и фосфорные, на каштановых и сероземах – азотные и фосфорные.

Почвенные условия определяют сроки и способы внесения удобрений. На дерново-подзолистых, красноземных и серых лесных почвах, характеризующихся кислой реакцией среды, фосфорные водорастворимые удобрения лучше вносить весной для уменьшения связывания фос-

фатного иона почвенными частицами. В то же время труднорастворимые фосфорные удобрения (фосфоритная мука) на этих почвах лучше вносить осенью под основную обработку, чтобы повысить подвижность фосфора. На дерново-подзолистых почвах с промывным и периодически промывным водными режимами лучшим сроком внесения азотных удобрений является весенний, в то время как на черноземных и каштановых почвах основное удобрение, в том числе и азотное, целесообразно применять осенью. Глубина заделки удобрений также определяется почвенными условиями. На черноземах и каштановых почвах удобрения необходимо вносить глубже, а на дерново-подзолистых – на меньшую глубину.

В засушливых степных районах добавление к суперфосфату азотных и калийных удобрений неэффективно. В лесостепной зоне азотные и калийные удобрения, внесенные с суперфосфатом в рядки, эффективны при возделывании сахарной свеклы, картофеля, кукурузы.

При разработке системы удобрения необходимо знать свойства почвы. Для этого следует использовать почвенную карту хозяйства. В ней приведены данные о гранулометрическом составе, содержании гумуса, глубине пахотного слоя почвы, емкости поглощения, степени насыщенности основаниями и др. Кроме почвенных карт для установления плодородия почв составляют агрохимические картограммы. На них указывают кислотность и щелочность почвы, содержание в ней подвижных соединений фосфора, калия, микроэлементов. В ряде областей составляют агрохимические паспорта. В паспорт включают усредненные данные для поля севооборота о гранулометрическом составе, кислотности обменной (рН) и гидролитической, степени насыщенности почв основаниями, их окультуренности, содержании гумуса, подвижных соединений фосфора, калия, микроэлементов.

Агрохимические показатели широко используют при расчете потребности в удобрениях на компьютере. Многие агрохимические свойства почвы под действием удобрений быстро изменяются, поэтому агрохимический контроль почвенного плодородия периодически повторяют. Учет изменений свойств почв позволяет вносить соответствующие коррективы в систему удобрения, для того чтобы она более полно отвечала основной задаче – получению высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур и дальнейшему повышению плодородия почв.

## **2.2. Климатические условия**

К климатическим условиям, определяющим эффективность удобрений, относятся: сумма активных температур, сроки наступления весенних и осенних заморозков, количество и распределение в течение года осадков и влагообеспеченность почв основных регионов страны.

Теплообеспеченность основных земледельческих регионов определяют суммой активных температур ( $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в летний период. На Севере, где возделывание сельскохозяйственных культур возможно, сумма активных температур, как правило, колеблется в пределах  $600\text{--}800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в лугово-лесной подзолистой зоне –  $1200\text{--}2200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Теплообеспеченность лесостепных районов, где распространены серые лесные почвы и черноземы, составляет  $2200\text{--}2800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , степной зоны черноземных почв –  $2800\text{--}3400$ , более южных районов –  $3500\text{--}4000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Приведенные данные о наличии тепла в основных земледельческих районах страны показывают, что наиболее продуктивно возделывать сельскохозяйственные растения можно только в южных районах. Основным сдерживающим фактором получения высоких урожаев культур здесь является острый недостаток в почве влаги.

Влагообеспеченность почв основных сельскохозяйственных районов страны уменьшается с севера на юг. Годовое количество осадков в лугово-лесной подзолистой зоне составляет 650-450 мм, уменьшаясь с запада на восток. Лесостепная зона характеризуется значительно меньшим количеством осадков (550-414 мм), еще меньше осадков выпадает в степной зоне (465-374 мм) и зоне сухих степей (360-260 мм). Основные площади посевов находятся в районах с крайне неустойчивой влагообеспеченностью. В связи с тем, что эффективность удобрений определяется в основном количеством осадков, выпадающих в течение года, положительное их влияние на урожай снижается с севера на юг.

Количество атмосферных осадков и равномерность их распределения играют определяющую роль в эффективном использовании растениями питательных веществ удобрений. Даже в условиях Нечерноземной зоны России, по данным И.И. Синягина, условия погоды в критические периоды роста и развития растений остаются важнейшим фактором применения удобрений. Так, по данным опытов, проводимых в МСХА, в засушливые годы эффективность НРК снижалась в среднем на 36%, а во влажные годы возрастала на 52% по сравнению с действием удобрений в нормальные по увлажнению годы. Д.А. Кореньков установил, что в благоприятные по увлажнению годы дозу азотных удобрений под яровые зерновые культуры можно увеличить до 120 кг/га, в то время как в средние по увлажнению годы она может составлять 30-90 кг/га.

В умеренно влажные годы прибавка урожайности яровой пшеницы от применения  $N_{60}$  в Нечерноземной и лесостепной зонах была на 3-3,5 ц/га больше, чем в избыточно влажные. В степной зоне и в сухие годы азотные удобрения не влияют на урожайность, а во влагообеспеченные прибавка достигает 5 ц/га. Действие фосфорных удобрений в зависимости от влагообеспеченности года не такое отчетливое,

как азотных. Фосфорные и калийные удобрения в засушливые годы могут обеспечивать более высокий относительный прирост урожайности, чем во влажные. Это объясняется резким уменьшением подвижности почвенных соединений фосфора и калия в засушливые годы и значительно более высоким в связи с этим поглощением фосфора и калия из легкорастворимых удобрений.

Большое значение при использовании удобрений в различные по увлажнению годы имеет отношение отдельных сельскохозяйственных культур к срокам увлажнения. Если для яровой пшеницы особенно велико значение весенних и раннелетних дождей, то кукуруза и просо хорошо используют осадки в середине и даже в конце лета. При возделывании картофеля недостаток осадков в июне и июле отрицательно сказывается на урожае.

Для урожая озимых зерновых культур критическим в отношении влагообеспеченности является сентябрь. Увеличение осадков в сентябре с 20 до 60 мм по данным 218 опытов с удобрениями приводило к прибавке урожайности озимой ржи на 7,8 ц/га. От недостатка влаги в самые напряженные периоды вегетации сильно страдают сельскохозяйственные культуры, произрастающие на песчаных и супесчаных почвах, подстилаемых песками.

### **2.3. Агротехнические условия**

Агротехнические условия – один из главных, иногда определяющих факторов эффективного применения удобрения. К числу наиболее важных агротехнических условий относятся севообороты, обработка почв, площади питания растений, сроки посева, борьба с вредителями, болезнями и сорняками, отзывчивость сортов на удобрения.

Влияние севооборота на повышение усвояемости питательных веществ почвы и удобрений заключается в не-

одинаковом накоплении продуктивной влаги под различными предшественниками. Максимальные запасы продуктивной влаги накапливаются в чистом пару. Достаточно высоки они в занятом пару (горох, кукуруза и др.). Запасы влаги под озимой пшеницей и кукурузой на силос самые низкие.

При возделывании культур в севообороте создаются лучшие условия для накопления значительной массы питательных веществ в корневых и пожнивных остатках. После их разложения питательные вещества легко усваиваются последующей культурой. По данным Центральной опытной станции ВИУА, в пожнивных и корневых остатках после возделывания многолетних трав азота накапливается 106-194 кг/га, фосфора – 30,0-54,6, калия – 47,3-78,0 кг/га. Значительно ниже эти показатели после возделывания зерновых и зернобобовых культур.

В севообороте создаются лучшие условия для борьбы с сорняками, благодаря чему значительные запасы питательных веществ используются растениями.

Различные предшественники оказывают неодинаковое влияние на эффективность органических и минеральных удобрений. Культуры, сильно снижающие содержание влаги в почве (например, травы, сахарная свекла), в условиях недостаточного увлажнения не обеспечивают высокой эффективности удобрений под последующие культуры. Культуры, идущие по чистому пару, развиваются в лучших условиях увлажнения и меньшей засоренности, в результате чего эффективность удобрений возрастает.

В Нечерноземной зоне эффективность удобрений по занятым парам, как правило, выше, чем по чистым. Эффективность азотных удобрений по чистым парам здесь снижается меньше, чем в Черноземной зоне. На черноземных и каштановых почвах эффективность удобрений по занятому пару в большей степени зависит от условий года.

Пропашные культуры (свекла, картофель) повышают потребность в удобрениях следующих за ними культур, но и оставляют после себя значительное количество неиспользованных питательных веществ. Они подавляют развитие такой вредоносной болезни злаковых культур, как корневая гниль.

Эффективность удобрений при возделывании культур по пласту и обороту пласта снижается в районах недостаточного увлажнения. В то же время травы могут повышать потребность последующих культур в фосфоре, калии, чему способствует улучшение азотного режима после них. Например, хлопчатник после люцерны нуждается в удобрении с преобладанием фосфора.

Однолетние культуры сплошного посева (зерновые и зернобобовые), а также однолетние травы и некоторые технические и масличные культуры (лен) оставляют после себя засоренные поля с пониженной влажностью почвы и невысоким содержанием усвояемых питательных веществ.

Для повышения эффективности удобрений по всем предшественникам необходим высокий уровень агротехники. В севооборотах при систематическом внесении удобрений наблюдается постоянное (от ротации к ротации) повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

При длительном внесении органических и минеральных удобрений в севообороте эффективность их выравнивается. На легких почвах несколько выше эффективность навоза, на тяжелых и среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах – минеральных удобрений. На черноземах прибавки урожая от минеральных и органических удобрений одинаковые. На эффективность удобрения большое влияние оказывает обработка почвы.

На дерново-подзолистых почвах эффективность органических, минеральных и известковых удобрений повышается при глубокой обработке почвы. По данным дли-

тельного опыта в севообороте, на неудобренном фоне обычная вспашка по сравнению с последующими тремя вариантами дала лучший результат. На фоне NPK и навоз + NPK существенное увеличение сбора кормовых единиц и повышение прибавки урожая от удобрений отмечались при глубокой вспашке. То же наблюдалось и при фрезерной обработке как без гербицидов, так и с ними.

На черноземных почвах глубина их обработки имеет второстепенное значение по сравнению с действием удобрений. Удобрения повышают плодородие вовлекаемых в пахотный слой нижележащих горизонтов. Однако в связи с более высоким естественным плодородием черноземов эффективность удобрений на них ниже, чем на дерново-подзолистых и серых лесных почвах. В условиях орошения эффективность от удобрений меньше зависит от глубины обработки. Здесь возможно применение различных вариантов минимальной обработки.

Таким образом, при определяющей роли удобрений в повышении урожая приемами обработки можно несколько усилить или ослабить их действие.

На эффективность удобрений существенное влияние оказывают площади питания растений. Установлено максимально возможное количество растений на 1 га: кукурузы на зеленый корм и силос, обеспечивающее наибольшее использование питательных веществ почвы и удобрений, 200-250 тыс., кукурузы на зерно 50-60 тыс., подсолнечника 60 тыс., сахарной свеклы 100-140 тыс., картофеля 70-80 тыс. Вопрос о площадях питания зерновых культур более сложный. Он определяется сортом, плодородием почвы, склонностью растений того или иного сорта к полеганию.

При разработке технологии возделывания сельскохозяйственных культур и сортов в конкретных условиях необходимо учитывать их реакцию на увеличение доз удобрений и густоты насаждения.

Один из важнейших элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур – срок посева. Нарушение его сильно снижает урожай. При высоком уровне плодородия почв потери урожая при запаздывании с посевом на один день достигают 1,5 ц/га. Особенно строгие требования к срокам посева предъявляют в южных районах нашей страны. Соблюдение оптимальных сроков позволяет растениям лучше противостоять засухе, суховею, избежать неблагоприятного действия ранних осенних и поздних весенних заморозков. Все это в конечном итоге определяет эффективность удобрений.

Удобрения, изменяя химический состав почвы, влияют на развитие насекомых и возбудителей болезней. Минеральные удобрения повышают устойчивость ячменя к шведской и гессенской мухам. Удобрения, особенно фосфорные, резко снижают заболеваемость зерновых культур корневой гнилью, бурой ржавчиной; азотное удобрение, наоборот, способствует развитию этой болезни. Агрессивность возбудителя снежной плесени озимой ржи ослабляют антагонисты (бактерии, грибы, актиномицеты), развитие которых усиливается при использовании удобрений.

Минеральные удобрения, вносимые как отдельно, так и совместно с органическими, значительно снижают поражение растений картофеля фитофторозом, ризоктониозом и паршой обыкновенной. Благоприятное соотношение питательных веществ удобрений, применяемых под картофель ( $N : P : K - 1 : 2 : 1$  или  $1 : 1 : 2$ ), способствует лучшему сохранению картофеля в зимнее время.

Влияние удобрений на снижение поражаемости растений вредителями и болезнями не устраняет необходимости в агротехнических, химических, биологических и других мерах борьбы с ними.

Засоренность почв ослабляет действие удобрений и существенно снижает урожай. Грамотная система мер по

борьбе с сорняками обеспечивает эффективное использование удобрений. Сорные растения конкурируют с культурными растениями в борьбе за элементы питания. Зачастую вынос элементов питания ими выше, чем возделываемой культурой.

Сорняки характеризуются более высокими, чем культурные растения, коэффициентами использования питательных веществ. Так, коэффициент использования азота удобрений в фазе цветения составлял: для яровой пшеницы 53%, овсяга 50, ромашки непахучей 58, мари белой 65, горчицы полевой 61, пикульника 62, редьки дикой 63%. В связи с неодинаковой потребностью различных сорняков в питательных веществах они при внесении удобрений резко изменяют свои популяции. Зная преобладание того или иного удобрения, можно в определенной степени прогнозировать появление отдельных видов сорняков и разрабатывать систему мер борьбы с ними.

Большую роль в борьбе с сорной растительностью и повышении эффективности удобрений играют гербициды. Подавление сорняков гербицидами при внесении их совместно с минеральными удобрениями и инсектицидами не только не уменьшается, но во многих случаях усиливается. Технология совместного применения минеральных удобрений и гербицидов зависит от их свойств и сроков внесения. При глубокой заделке активность гербицидов снижается. Под предпосевную обработку совместно с минеральными удобрениями можно вносить гербициды корневого действия. Обработку гербицидами часто совмещают с подкормкой азотными удобрениями озимых, лугов и с некорневой подкормкой различных культур.

В засушливых районах определяющим условием эффективного использования удобрений является орошение. К важнейшим особенностям удобрения при орошении относятся применение высоких доз минеральных удобрений, ве-

душая роль в питании сельскохозяйственных культур азотных удобрений, внесение больших доз удобрений (особенно азотных и калийных) в несколько приемов, наибольшая эффективность амидных и аммонийных удобрений.

Система удобрения на осушенных почвах резко отличается от таковой на старопахотных почвах. В первый период окультуривания осушаемых земель необходимо применение повышенных доз органических удобрений, а на кислых почвах – больших доз извести.

Использование азотных, фосфорных и калийных удобрений, а также микроудобрений на осушенных почвах определяется длительностью осушения и освоения почв, типом почвы, степенью увлажнения, климатическими условиями региона и динамикой сезонных атмосферных явлений. Возделывание сельскохозяйственных культур на начальных стадиях окультуривания должно сопровождаться применением повышенных доз азотных удобрений, в последующие годы дозы азотных удобрений можно уменьшать.

На осушенных торфяных почвах исключительно велика роль калийных, фосфорных и микроудобрений, особенно медных. Использование азотных удобрений определяется климатическими условиями зоны распространения торфяных почв. В условиях Нечерноземной зоны эффективность их возрастает с юга на север. В Смоленской, Брянской, Рязанской, Московской областях азотные удобрения можно использовать под многолетние травы, кормовые корнеплоды и некоторые овощные культуры в небольших дозах. В республиках Карелия и Коми, Вологодской, Архангельской, Кировской, Мурманской областях, в Сибири азотные удобрения являются определяющими. На кислых почвах можно использовать фосфоритную муку (8-10 ц/га).

Высокий уровень плодородия почв и удобрения способствуют более существенным прибавкам при внедрении новых сортов.

По данным Т.Н. Кулаковской, возделываемые сорта ячменя дают максимальную урожайность при дозах азота 60-90 кг/га, озимой пшеницы 90-100 кг/га. Применение более высоких доз приводит к полеганию и щуплости зерна. В то же время в Швеции, во Франции, в Германии имеются такие сорта, которые хорошо реагируют на дозу азота до 180 кг/га. При возделывании интенсивных сортов ячменя, озимой пшеницы на хорошо окультуренных почвах при внесении 250-300 кг питательных веществ на 1 га можно получить урожайность 40-50 ц/га.

В производственных условиях не исчерпаны возможности новых сортов в основном из-за недостаточного уровня плодородия почв, несбалансированности элементов питания, нарушения агротехники и других причин. Для лучшего использования питательных веществ удобрений и почвы, уменьшения загрязнения окружающей среды и повышения эффективности удобрений необходимо внедрение новых интенсивных сортов зерновых, картофеля, технических и других культур.

#### **2.4. Организационно-экономические условия**

Организационно-экономические условия определяют прежде всего возможные ресурсы производства местных удобрений: изыскание путей сохранения и увеличения выхода навоза и других органических удобрений, закупка органических удобрений на птицефабриках, промышленных животноводческих комплексах, торфопредприятиях. Наряду с выполнением организационных мероприятий, связанных с накоплением и приобретением органических удобрений, изыскивают возможности для покупки и хранения минеральных удобрений. Определяют площади, необходимые для известкования кислых почв и выполнения мелиоративных мероприятий на солонцеватых и солонцовых почвах.

Минеральные удобрения должны храниться на хорошо защищенных от атмосферных осадков складах. Для лучшего использования машин и механизмов при внесении удобрений в хозяйстве необходимо прежде всего определить количество требуемой техники.

В организации применения удобрений в сельском хозяйстве сложились внутривозрастная и межхозяйственная системы. Во внутривозрастной системе имеются три формы организации труда при использовании удобрений: децентрализованная, переходная и централизованная.

Децентрализованная форма действует в хозяйствах с низким уровнем химизации. Она характеризуется отсутствием каких-либо специализированных подразделений по применению удобрений.

Переходная форма организации труда отличается более высоким уровнем использования средств химизации. В помощь производственным бригадам на сельскохозяйственных предприятиях создаются сезонные специализированные подразделения, выполняющие наиболее трудоемкие работы.

Централизованная форма организации труда характеризуется тем, что в хозяйствах с высоким уровнем применения удобрений и средств борьбы с вредителями, болезнями сельскохозяйственных культур и сорняками создаются постоянные специализированные подразделения по химизации производства, имеющие различные названия: механизированные отряды, пункты химизации, тукосмесительные пункты.

Прогрессивные формы организации труда в применении удобрений влияют на рациональное использование их, а также труда и техники, способствуют повышению эффективности химизации.

### *Контрольные вопросы*

1. На каких по генезису и гранулометрическому составу почвах удобрения более эффективны?
2. Какова зависимость сроков внесения удобрений от почвенно-климатических условий?
3. Расскажите о влиянии климатических условий на эффективное использование удобрений.
4. Как необходимо сочетать использование удобрений с технологией возделывания сельскохозяйственных культур?
5. Какую роль играют организационно-экономические условия в эффективном использовании удобрений?

### Раздел 3

## Проектирование системы удобрения

Любая система удобрения пригодна для хозяйства, только если она обеспечивает увеличение урожайности сельскохозяйственных культур и повышение плодородия почв. Систему удобрения разрабатывают с учетом внутрихозяйственной специализации по отделениям, бригадам; определения баланса кормов; структуры посевных площадей; системы севооборотов; урожайности культур; выявления путей и резервов накопления органических удобрений. Так как проектирование системы удобрения должно исходить из реальных перспектив материально-технического вооружения хозяйства, то не менее важно иметь сведения по объему и плану мелиоративных работ.

Для успешного выполнения работ по проектированию системы удобрения необходимо иметь для каждого поля или крупного земельного массива следующие данные: тип, подтип и вид почвы; разновидность, разряд, мощность пахотного слоя, содержание гумуса, подвижных соединений фосфора, калия, основных микроэлементов, сумма обменных оснований, гидролитическая кислотность, рН, для солонцовых почв – содержание обменного натрия. Здесь же должны быть указаны данные о бонитировке почв с определенными для каждой культуры урожайными ценами балла бонитета. Полезны данные о плотности сложения пахотных и подпахотных слоев почв.

После разработки системы удобрения осуществляют взаимную корректировку ее и остальных разделов организационно-хозяйственного плана.

В связи со значительной пестротой почвенного покрова в ряде хозяйств земледельческих регионов страны систему удобрения в прямом понимании этого слова (дозы, сроки, способы внесения удобрений) разрабатывают для сево-

оборота на всю ротацию с учетом особенностей почвенного покрова (агрохимических показателей) каждого поля.

Систему удобрения целесообразно разрабатывать в следующей последовательности:

- разработка плана накопления и размещения органических удобрений;

- составление плана известкования кислых почв и мелиорации солонцеватых и солонцовых почв;

- разработка многолетнего плана применения удобрений (система удобрения) в севообороте и хозяйстве. В этом плане должны найти отражение следующие вопросы: определение потребности в удобрениях для севооборота, выявление наиболее рациональных способов и приемов внесения удобрений в почву, разработка ежегодных планов применения удобрений в хозяйстве и др.;

- составление баланса питательных веществ по данным их выноса и поступления с удобрениями и биологической фиксации азота;

- определение агротехнической и экономической эффективности разрабатываемых систем удобрения;

- определение потребности в рабочей силе, тракторах и автомобилях, машинах по смешиванию и разбрасыванию удобрений для выполнения годового плана применения удобрений.

В соответствии с разработанными системами удобрения ежегодно составляют планы применения удобрений, задачи которых состоят в следующем:

- при наличии в хозяйстве разработанной системы удобрения по одной схеме определить дозы удобрений для сельскохозяйственных культур на каждом поле севооборота;

- уточнить дозы удобрений при замене на поле сельскохозяйственной культуры (например, при замене озимых культур яровыми зерновыми или при замене в кормовом севообороте картофеля кормовыми корнеплодами и т.д.), а

также в зависимости от погодных условий (летом предшествующего года, осенью и зимой);

- откорректировать дозы удобрений при известковании. Дозу фосфора после известкования можно снизить, а калия, наоборот, повысить;

- определить основные формы удобрений. В системе указывают только количество питательных веществ. В плане на основе откорректированной дозы определяют ту или иную форму удобрения. Например, при общей дозе фосфорных удобрений на кислых дерново-подзолистых почвах можно предусмотреть припосевное внесение суперфосфата в дозе 0,05 т/га, а остальную часть внести в виде фосфоритной муки в основное удобрение под зяблевую вспашку. В хозяйстве применяют различные формы органических удобрений. В соответствии с биологией сельскохозяйственной культуры необходимо определить то органическое удобрение, которое обеспечит гарантированную прибавку урожая;

- определить общую потребность в минеральных и органических удобрениях под культуру;

- распределить удобрения по срокам внесения;

- определить способы и приемы внесения удобрений;

- определить основные машины по внесению и заделке удобрений.

Годовой план внесения удобрений в каждом конкретном хозяйстве составляют по определенной форме.

Где указано, какими культурами будут заняты поля, обеспеченность элементами питания и распределение удобрений (в действующем веществе) по культурам и полям. Предусмотрены основные способы внесения удобрений. Недостатком такой формы ежегодного плана является отсутствие данных о внесении конкретных удобрений, а также то, что не указаны сроки и техника внесения удобрений.

Цель составления календарного плана внесения удоб-

рений состоит в том, чтобы определить по основным срокам потребность в удобрениях отдельных культур и полей, а также виды и формы удобрений, количество машин, механизмов и рабочих для выполнения того или иного приема внесения удобрения по севообороту и хозяйству в целом.

При составлении годового плана применения удобрений разрабатывают план организационно-хозяйственных мероприятий по применению удобрений. В этом плане предусматривают полный технологический цикл самых разных работ (включающих дробление и смешивание удобрений, их погрузку на транспорт, перевозку удобрений на поля, рассев минеральных и разбрасывание органических удобрений), определяют потребность в машинах, рабочей силе и транспорте для внесения удобрений, как до посева, так и при посеве и подкормках, а также в транспорте для перевозки органических удобрений в зимний период. Хорошо составленный план организационно-хозяйственных мероприятий позволяет обеспечить выполнение как подготовительных (закупка новой техники, ремонт), так и основных видов работ по рациональному применению удобрений в хозяйстве.

В течение года имеются благоприятные периоды для выполнения работ по известкованию, применению органических удобрений, завозке средств химизации и напряженные периоды. При составлении планов-маршрутов предусматривают выполнение годового объема работ таким образом, чтобы избежать значительных простоев средств механизации.

### ***Контрольные вопросы***

1. Расскажите, как определить общую потребность в удобрениях для севооборота.
2. Как составить годовой и календарный планы применения удобрений?
3. Как составить план организационно-хозяйственных мероприятий?

## Раздел 4

### Системы удобрения в различных почвенно-климатических зонах

Как уже отмечалось, эффективность удобрений в значительной степени определяется почвенно-климатическими условиями агроландшафтов. Обобщение данных полевых опытов с удобрениями, проведенных в системе географической сети ВИУА, позволило установить основные закономерности эффективности удобрений по почвенно-климатическим зонам России.

Наибольшие прибавки урожая от применения удобрений в России получены на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны. Высокая отзывчивость растений на удобрение связана здесь с бедностью почв гумусом и элементами питания, достаточным количеством влаги и умеренным количеством тепла. Прибавки урожая озимых от рекомендованных доз удобрений в Нечерноземной зоне достигают 8,5 ц/га. Если в Нечерноземной зоне оплата 1 кг НРК урожаем озимой пшеницы достигает 8-10 кг зерна, то на черноземах ЦЧЗ – только 4-5 кг. На дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны 1 кг НРК окупается прибавкой 5,4 кг зерна яровой пшеницы, на черноземах ЦЧЗ – 3,2, а на каштановых почвах Южного Поволжья – только 1,8 кг.

Высокая эффективность удобрений и в лесостепной зоне на серых лесных почвах, а также выщелоченных и оподзоленных черноземах, особенно на черноземах Предкавказья в предгорных районах, хорошо обеспеченных влагой.

В степной зоне на обыкновенных и южных черноземах и в зоне сухих степей на каштановых почвах эффективность удобрений резко снижается, что связано с дефицитом влаги. На юго-востоке европейской части России и в Южном Заволжье применение удобрений на богаре неэф-

фективно из-за часто повторяющихся засух. Высокая эффективность удобрений в этом регионе отмечена только в условиях орошаемого земледелия. Общие закономерности действия удобрений в зональном аспекте заключаются в том, что на европейской части России их эффективность снижается с северо-запада на юго-восток, а в Сибири – с востока на запад. Это связано главным образом с уменьшением влагообеспеченности в этом направлении.

#### **4.1. Особенности применения удобрения в Нечерноземной зоне**

По почвенно-климатическим условиям Нечерноземье находится в таежной и лесостепной зонах европейской территории России. Таежная зона делится на подзоны северной, средней и южной тайги. Наиболее распространенными зональными почвами таежной зоны являются подзолистые, дерново-подзолистые, подзолисто-болотные и болотные. В северной подзоне среди пахотных почв преобладают подзолистые, а в средней и особенно южной подзонах – дерново-подзолистые. Кроме того, небольшая часть пахотных почв представлена дерново-карбонатными почвами. В южной части Центрального, Волго-Вятского и Уральского регионов среди пахотных преобладают серые лесные почвы (24-30%) в комплексе с оподзоленными и выщелоченными черноземами (8-17%). Заболоченные почвы занимают от 8% пашни в Уральском и до 30% в Северо-Западном районе. Наиболее плодородные дерново-карбонатные почвы распространены в Северо-Западном районе, но занимают здесь не более 10% общей площади пашни. В Центральном, Волго-Вятском районах значительная площадь пахотных почв (до 40%) подвержена водной эрозии. Это в основном дерново-подзолистые и серые лесные почвы (суглинистые и глинистые).

Для дерново-подзолистых почв характерны небольшая мощность гумусового горизонта, кислая реакция, низкое содержание гумуса (1-2,5%), подвижных соединений элементов питания, неблагоприятный водно-воздушный режим. Самым низким плодородием отличаются подзолистые, дерново-подзолистые супесчаные и песчаные почвы.

Дерново-карбонатные почвы по сравнению с дерново-подзолистыми имеют повышенное содержание гумуса (2-4%). Для них характерны среднее содержание доступных соединений фосфора и калия, слабокислая или нейтральная реакция. Внесение минеральных удобрений на этих почвах способствует получению высоких и устойчивых урожаев.

Серые лесные почвы в отличие от дерново-подзолистых характеризуются повышенным содержанием гумуса (3-4%) и более мощным гумусовым горизонтом (до 30-40 см). Для них характерны слабокислая реакция среды, низкая обеспеченность фосфором и калием.

Выщелоченные и оподзоленные черноземы отличаются более высоким содержанием гумуса (4-5%) и более мощным гумусовым горизонтом (60-70 см). Они наиболее благоприятны для выращивания сельскохозяйственных культур.

По агрохимическим показателям дерново-подзолистые почвы Нечерноземной зоны отличаются повышенной кислотностью и низкой обеспеченностью фосфором и калием. Особенно велик удельный вес кислых почв (85-90%) в Костромской, Калужской, Ивановской, Пермской областях, Республике Коми.

На европейской территории Нечерноземной зоны значительная часть пахотных почв имеет очень низкое и низкое содержание подвижного фосфора. Хуже других обеспечены этим элементом питания почвы Пермской, Кировской, Ивановской и Костромской областей, где около

62-75% занимают почвы с очень низкой и низкой обеспеченностью фосфором. Таких почв несколько меньше в Архангельской, Брянской, Орловской и Калининградской областях, Карелии и Чувашии. В Мурманской области 80 % занимают почвы с высоким и очень высоким содержанием фосфора.

Почвы Нечерноземной зоны обеспечены обменным калием лучше, чем фосфором. Вместе с тем значительная часть пашни бедна калием. Такие почвы имеются в Центральном (40%) и Волго-Вятском (23%) регионах. Почвы Тульской области, а также Карелии и Мордовии характеризуются повышенным и высоким содержанием обменного калия.

На большей территории европейской части Нечерноземной зоны России характерной чертой климата являются достаточная или избыточная (северо-запад) обеспеченность сельскохозяйственных культур влагой и недостаточная или умеренная – теплом.

В западной части Карелии, на западе Смоленской области годовое количество осадков более 600 мм, к юго-востоку от Рязани, Нижнего Новгорода, Ижевска – менее 500, на остальной территории – 500-600 мм. В мае – июле количество осадков, превышающее 250 мм, наблюдается в западных районах, а наименьшее (менее 150 мм) – в восточных (Волго-Вятский регион). Поэтому в целом, несмотря на хорошую обеспеченность культур влагой, в восточных областях Нечерноземной зоны в отдельные годы может быть недостаток влаги в почве.

Сумма активных температур ( $>10^{\circ}\text{C}$ ) на территории европейской части зоны изменяется в широтном направлении, увеличиваясь с севера на юг от  $1250^{\circ}\text{C}$  в Архангельске до  $2500^{\circ}\text{C}$  на юге Смоленской области. В районах с одинаковой суммой активных температур ( $1700-2000^{\circ}\text{C}$ ) продолжительность периода с положительной температу-

рой на северо-западе составляет 7,5-8 мес, а на востоке (Пермская обл.) – всего 6-6,5 мес. Эта разница обуславливается более длинным на западе осенним периодом (55 дней) по сравнению с таковым на востоке (39-40 дней).

Как уже отмечалось, бедность почв Нечерноземной зоны европейской части России элементами питания растений, с одной стороны, и сравнительно хорошая обеспеченность их влагой и теплом, с другой, обуславливают благоприятные условия для эффективного действия удобрений.

В пределах Нечерноземной зоны эффективность удобрений снижается с запада на восток, что связано с уменьшением количества тепла и влаги в этом направлении. Несмотря на это, положительное действие удобрений на продуктивность культур в Нечерноземной зоне проявляется во все годы и даже в годы с недостатком влаги в первый период вегетации растений.

Таким образом, в целом для огромной территории Нечерноземной зоны, несмотря на значительное варьирование условий увлажнения и температуры, характерна не только высокая, но и относительно устойчивая по годам эффективность удобрений.

Как отмечалось, кислотность является одной из важнейших причин низкого плодородия дерново-подзолистых почв и недостаточной эффективности удобрений. Известкование – обязательный прием повышения плодородия кислых почв Нечерноземной зоны.

Количество гумуса и мощность гумусового горизонта – один из главных критериев окультуренности почв Нечерноземной зоны. Гумусовые вещества служат основным источником валового и подвижного азота почвы. До 99% запасов почвенного азота входит в состав гумуса. Оптимальное содержание гумуса в почвах в зависимости от севооборота составляет 2-4%. Между количеством гумуса и урожайностью культур существует прямая зависимость,

как для суглинистых, так и особенно для супесчаных и песчаных почв. По данным Т.Н. Кулаковской, повышение количества гумуса в песчаных дерново-подзолистых почвах с 1 до 2,2% приводит к увеличению урожайности ячменя с 14,7 до 21,6 ц/га, а по фону  $K_{60}P_{60}K_{60}$  – с 20,0 до 35,6 ц/га. При увеличении количества гумуса в дерново-подзолистой почве с 1,5 до 4,5% коэффициент использования фосфора удобрения возрастает с 2-3 до 24-26%. Кроме того, при содержании гумуса 4,5% равновесная плотность почвы обеспечивается в интервале 1,2-1,3 г/см<sup>3</sup>, что повышает эффективность применения минеральных удобрений.

Для поддержания бездефицитного баланса гумуса насыщенность органическими удобрениями 1 га пашни в полевых севооборотах при наличии двух полей многолетних трав для дерново-подзолистых почв суглинистого состава составляет 8-10 т/га, для супесчаных – 14-16, песчаных – 18-20 т/га. Это зависит от типа севооборота, наличия или отсутствия полей многолетних трав, а также применения зеленого удобрения. В среднем из 10 т качественных органических удобрений образуется 0,4-0,5 т гумуса. Поскольку почвы зоны бедны гумусом, то применению органических удобрений придают особое значение. Отсутствие органических удобрений неизбежно приводит к дегумификации почв и истощению их азотом.

**Органические удобрения.** Роль органических удобрений не ограничивается только тем, что они служат источником азота и других элементов питания растений и способствуют поддержанию бездефицитного баланса гумуса в почве. Они улучшают воздушное питание растений за счет выделения в приземный слой  $CO_2$ , повышают биологическую активность почв и осуществляют другие полезные функции в почве.

Эффективность органических удобрений зависит от типа севооборота, в котором их применяют. С органиче-

скими удобрениями в почву поступает значительное количество питательных веществ.

В Нечерноземной зоне оплата навоза дополнительной урожайностью возрастает при увеличении насыщения севооборота пропашными культурами. На этих севооборотах она в 1,5 раза выше, чем в севооборотах без пропашных культур.

Основной причиной снижения эффективности органических удобрений является недостаток влаги в летнее время.

Навоз вносят под наиболее ценные культуры: на севере – в первую очередь под овощные (капуста), пропашные (картофель, кормовые корнеплоды), силосные, озимые, на юге – под сахарную свеклу.

В севооборотах с чистыми парами навоз вносят осенью под вспашку, рано весной при подъеме пара или летом при его перепашке.

Дозы навоза зависят не только от культуры, но и от высоты планируемой урожайности, качества удобрения, возможности накопления его в хозяйстве и почвенно-климатических условий. Чем беднее почва гумусом и питательными веществами, тем при прочих равных условиях должна быть выше доза органического удобрения.

На хорошо окультуренных супесчаных почвах применяют относительно уменьшенные дозы навоза, на тяжелосуглинистых – повышенные. Повышенные дозы органических удобрений вносят и на легких почвах при их коренном улучшении, а также на вновь освоенных почвах. Частота внесения органических удобрений и их дозы зависят от интенсивности севооборота, наличия в нем пропашных культур.

Действие навоза зависит от дозы и его качества, гранулометрического состава почвы, почвенно-климатических условий и многих других факторов. На глинистых почвах навоз разлагается медленнее и его дей-

ствие длится в течение 4-6 лет, на легких – 2-3 года; последствие возрастает с увеличением дозы. Суммарное последствие в севооборотах без пропашных в 1,5 раза выше, чем действие. Действие бесподстилочного навоза и навозных стоков более кратковременное и длится 1-3 года. В первый год внесения его эффективность составляет 80%. Слабое последствие объясняется большим содержанием легкоразлагаемых веществ. Важным показателем качества органических удобрений является соотношение C : N. Если оно около 40 (подстилочный солоmistый навоз), то микроорганизмы используют практически весь азот навоза, что приводит к азотному голоданию растений и снижению урожайности. Оптимальное соотношение C : N в навозе 20. С 40 т качественного навоза в почву поступает 200-220 г В, 150-170 г Cu, 2000-2200 г Mn, 1000 г Zn. Если органические удобрения полноценные, то микроудобрения можно не вносить.

В среднем с каждой тонной качественного солоmistого навоза КРС в почву поступает 5 кг азота, 2,5 кг фосфора, 6 кг калия. Коэффициент использования первой культурой азота из навоза составляет 20-25%, фосфора – 30-40, калия – 60-70%. Коэффициент использования элементов питания из навоза на торфяной подстилке меньше, так как органическое вещество торфа сильно гумифицировано и консервативно. Последствие такого навоза выше, чем солоmistого. Эквивалент подстилочного навоза по азоту составляет 0,62. Это значит, что 1 кг азота, внесенного в виде навоза, равен 0,62 кг N, внесенного в виде минеральных удобрений.

Эквивалент минеральных удобрений используют при определении дозы внесения минеральных удобрений по фону навоза:

В основу рекомендаций по внесению жидкого (бесподстилочного) навоза положено среднегодовое внесение

азота с этим удобрением. Приведем примерные годовые дозы азота, которые вносят с жидким навозом под различные культуры, кг/га: зерновые – 140, озимая рожь на зеленый корм – 140, для подкормки озимой ржи – 100, картофель столовый и фуражный – соответственно 120-180 и 240-280, сахарная свекла – 200-240, кукуруза на зеленый корм и силос – 240-320, однолетние травы – 120-180, многолетние злаковые и бобово-злаковые травосмеси на сено и зеленый корм – 240-320, луга – 200-240, пастбища – 200-240.

Органические удобрения, внесенные в рекомендованных дозах (исключая птичий помет), не создают в почве избыточных концентраций питательных веществ, токсичных для растений.

Таким образом, органические удобрения имеют очень большое значение в повышении плодородия почв и росте урожайности культур. Однако даже систематическое применение одних органических удобрений не позволяет добиться оптимального соотношения элементов питания для растений по фазам их роста и развития, поскольку соотношение N : P : K в удобрении не соответствует требованиям растений.

**Минеральные удобрения.** Все культуры на первых фазах развития (критический период) требуют достаточно количества фосфора, озимые – весенней подкормки азотом, многолетние травы – поукосного удобрения и т.д. Кроме того, действие органических и минеральных удобрений на растение различно. Питательные вещества из минеральных удобрений используются растениями почти сразу после их внесения (особенно азотные и частично калийные), а из органических удобрений – постепенно, по мере минерализации органического вещества. При низких температурах почвы, недостаточной аэрации, избытке влаги или, наоборот, при ее недостатке разложение органического вещества идет медленно и растения в первый период

развития могут страдать от недостатка элементов питания, особенно азота. Коэффициент использования минеральных удобрений по навозу выше, чем без него. Поэтому сочетание органических удобрений с минеральными по эффективности превосходит эквивалентные количества отдельно внесенных только органических или только минеральных удобрений.

**Азотные удобрения.** Дерново-подзолистые и серые лесные почвы бедны азотом. Валовое содержание азота и количество его минеральных соединений ( $\text{NH}_4$  и  $\text{NO}_3$ ) зависят от гранулометрического состава, запасов гумуса, степени окультуренности почв. В почвах Нечерноземной зоны азот является наиболее лимитируемым элементом питания и служит важным показателем их плодородия. Из минеральных удобрений главное значение в повышении урожаев сельскохозяйственных культур в Нечерноземной зоне принадлежит азотным. Они эффективны не только на дерново-подзолистых почвах, но и на серых лесных и выщелоченных черноземах, особенно в западных областях. По данным Северо-Западного научно-исследовательского института, из всех видов удобрений азотные дают наибольшие прибавки урожайности. На почвах с высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия эффективность азотного удобрения увеличивается.

Все культуры, возделываемые в зоне (озимые, яровые зерновые, картофель, корнеплоды, овощные), при внесении азотных удобрений дают стабильные прибавки урожайности. Внесение фосфорных и калийных удобрений без азотных, как правило, не дает существенного эффекта.

На почвах Нечерноземной зоны более 60% общей прибавки урожайности, получаемой от минеральных удобрений, приходится на азотные, а 40% – на фосфорные и калийные (в сумме).

При продвижении с севера на юг и с запада на во-

сток, т.е. в районы недостаточного увлажнения, эффективность азотных удобрений снижается.

Средняя доза азотного удобрения для получения высокого урожая под зерновые культуры составляет 40-60 кг/га д.в., под более требовательные к азотному питанию культуры дозы азота увеличивают до 90-120 кг/га.

Азотные удобрения на мелиорированных торфяных почвах Нечерноземной зоны применяют с учетом географического местоположения торфяника. Эффективность азотных удобрений зависит от скорости разложения азотсодержащих соединений торфа – их перехода в минеральные формы. На севере зоны (Мурманская, Архангельская области, Карелия) из-за недостатка тепла скорость разложения азота азотсодержащих органических соединений торфа низкая, накопление минерального азота в почве не превышает 30-40 кг/га и заканчивается в основном на стадии аммонификации. Азотные удобрения в этих районах высокоэффективны.

К югу зоны действие азотных удобрений минимально и проявляется лишь в холодные и сырые годы. На торфяных почвах России система удобрения предусматривает внесение азотных удобрений только под травы при слабом развитии растений в дозе 30-60 кг/га. На формирование урожая используется в основном азот торфа. Фосфорные и калийные удобрения на торфяниках вносят в рекомендованных дозах, которые не зависят от географического положения торфяника. В первом минимуме среди элементов питания на торфяниках калий.

**Фосфорные удобрения.** Главенствующая роль азота в земледелии Нечерноземной зоны не означает, что обеспеченность растений фосфором и калием здесь имеет меньшее значение. Недостаток этих элементов питания (особенно фосфора) в почвах резко снижает эффективность азотного удобрения. Опыты Н.А. Сапожникова пока-

зали, что при очень низкой обеспеченности дерново-подзолистых слабокультуренных почв фосфором азотное удобрение почти не повышало урожая яровой пшеницы и не усиливало использование растениями питательных веществ из почвы и из удобрения.

На среднекультуренной почве растения больше использовали фосфор почвы и взаимосвязь между действием азотных и фосфорных удобрений слабее. Однако и на этих почвах наибольший эффект получен от азотно-фосфорных удобрений.

Высокая эффективность фосфорных удобрений объясняется бедностью почв зоны подвижными соединениями фосфора. Разница в урожаях зерновых на почвах зоны с очень низким и высоким содержанием фосфора составляет 7-10 ц/га. Низкое содержание фосфора лимитирует урожайность даже при благоприятном сочетании всех других факторов.

Обобщив результаты 2000 полевых опытов, проведенных в Германии, ученые установили, что при внесении азотных и калийных удобрений урожайность увеличивалась по мере обеспеченности почвы фосфором. Т.Н. Кулаковская, обобщив 358 полевых опытов с озимой рожью и ячменем, указывает на устойчивое повышение урожайности зерна при увеличении содержания фосфора в дерново-подзолистых почвах с 3 до 15-25 мг/100 г почвы.

Прибавка урожайности зерна на 1 мг/100 г  $P_2O_5$  почвы составляет 60-80 кг/га. Прирост урожайности наблюдается при увеличении содержания фосфора в почве вплоть до 25 мг/100 г почвы. При более высоком содержании  $P_2O_5$  в почве прибавки урожайности от фосфорного удобрения резко снижаются. Следовательно, оптимальное содержание  $P_2O_5$  для дерново-подзолистых почв в полевых севооборотах зоны составляет 15-25 мг, а для овощных – 25-30 мг/100 г почвы. Дозы фосфорных удобрений под сельско-

хозяйственные культуры определяют по содержанию подвижного фосфора в почве и планируемой урожайности.

Оптимизация свойств почв по содержанию подвижного  $P_2O_5$  – стратегическая задача агропочвоведения, но на это уйдет значительное время. В имеющихся условиях локальное внесение основного фосфорного удобрения, не решая генеральной задачи обогащения почв фосфором, способствует меньшему закреплению фосфора почвой, лучшей его усвояемости растениями, а следовательно, и росту урожайности. Посев зерновых должен проводиться при рядковом внесении фосфорного удобрения ( $10 \text{ кг/га } P_2O_5$ ) вместе с семенами. Удобрение, внесенное в рядки при посеве, дает большую (в 2-3 раза) прибавку зерна по сравнению с внесением такой же дозы разбросным способом.

В связи с дефицитом водорастворимых фосфорных удобрений в Нечерноземной зоне можно использовать фосфоритную муку. Ее вносят как основное удобрение в дозе  $0,3-0,7 \text{ т/га}$ . На кислых бедных фосфором почвах для коренного улучшения фосфатного режима целесообразно внесение повышенных доз – до  $1,5-3 \text{ т/га}$ . Внесение фосфоритной муки в указанных дозах обеспечивает повышение урожайности в течение 7-10 лет. На почвах с очень высоким содержанием фосфора (зафосфаченные почвы) и калия при недостатке фосфорных и калийных удобрений в хозяйстве можно временно отказаться от их применения и перейти на моноазотную или органическую систему удобрения.

**Калийные удобрения.** Обеспеченность почв Нечерноземной зоны подвижным калием несколько лучше, чем подвижным фосфором. Однако в зоне имеется 11,3 млн га пахотных земель с очень низким и низким содержанием подвижного калия. Установлена зависимость между содержанием подвижного калия и урожайностью сельскохозяйственных культур, особенно таких калиелюбивых, как картофель, овощи, лен, силосные, и отзывчивостью их на

калийное удобрение. Дозы калийных удобрений устанавливают в зависимости от содержания подвижного калия в почве и планируемой урожайности. Оптимальное содержание обменного калия в почвах полевых севооборотов составляет 18-20 мг/100 г почвы.

Дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений определяют в зависимости от окультуренности почвы и вида сельскохозяйственной культуры.

**Микроудобрения.** Микроэлементы увеличивают урожайность, содержание белковых веществ, сахаров, витаминов, улучшают вкусовые качества овощей и плодов, повышают устойчивость растений к болезням и неблагоприятным условиям.

В зависимости от обеспеченности почвы доступными формами соединений микроэлементов и потребности в них растений можно применять суперфосфаты, нитрофоски, нитроаммофоски и другие удобрения с добавлением микроэлементов. Способ внесения – припосевное удобрение (кроме многолетних трав) или обработка семенного материала (намачивание, опудривание, опрыскивание) и подкормки. Передозировки микроудобрений более опасны, чем макроудобрений.

Из изложенного видно, что в Нечерноземной зоне система удобрения сельскохозяйственных культур должна базироваться на сочетании органических и минеральных макро- и микроудобрений.

Органо-минеральная система в сочетании с многолетними травами и зеленым удобрением – надежная основа повышения плодородия почв, роста урожайности культур и регулирования качества продукции.

## 4.2. Особенности применения удобрения в Центрально-Черноземной зоне

Центрально-Черноземная зона России включает Курскую, Липецкую, Воронежскую, Тамбовскую, Белгородскую и Орловскую области. Здесь преобладают выщелоченные и типичные черноземы, на долю которых приходится свыше 76% пахотных угодий. В северной части зоны (Тульская, Орловская, Рязанская области) распространены оподзоленные черноземы и серые лесные почвы.

По агрохимическим показателям почвы лесостепной зоны содержат довольно много гумуса (3,5-5,5%), особенно черноземы, что обеспечивает их хорошие физические свойства. Только серые лесные почвы европейской части содержат менее 3% гумуса и приближаются к дерново-подзолистым. Почвы зоны имеют в основном слабокислую и близкую к нейтральной реакцию среды, поскольку подстилаются карбонатными суглинками. В районах распространения серых лесных почв (Тульская, Орловская, Рязанская области) значительную площадь пашни (>60%) занимают почвы с  $pH < 5,5$ . Содержание подвижных форм фосфора в этих почвах не выше, чем в дерново-подзолистых. В Воронежской и Курской областях около 25% пашни имеют низкое содержание подвижного фосфора, в Тамбовской – 42, Белгородской – 55, Липецкой – 70, Тульской – 67, Рязанской – 71, Орловской – 43%. Следовательно, почвы зоны слабо обеспечены фосфором и действие фосфорных удобрений на них достаточно высокое. Обеспеченность почв подвижным калием выше, чем фосфором. Площадей с низким содержанием обменного калия около 5-1%. В связи с этим эффективность калийных удобрений здесь невысокая, но она возрастает от засушливых к увлажненным районам зоны.

Сумма активных температур ( $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) составляет

2200-2600 °С. Количество осадков за год 500-615 мм, за вегетационный период 250-309 мм. Оно уменьшается в направлении с севера на юг зоны. Продолжительность периода с положительными температурами ( $>0$  °С) более 7 мес. В целом климат зоны благоприятен для возделывания сельскохозяйственных культур, особенно сахарной свеклы, озимых, кукурузы, бобовых.

Бедность почв зоны фосфором делает высокоэффективным применение фосфорных удобрений под все сельскохозяйственные культуры. Хотя в целом в этой зоне выпадает достаточное количество осадков, но в летний период, особенно на востоке зоны, наблюдается дефицит влаги в почве. Уменьшение влажности почвы в засушливый период резко снижает подвижность фосфора и его доступность растениям. Поэтому на черноземах зоны удельный вес фосфора в полном минеральном удобрении повышается. Эффективность фосфорных удобрений здесь выше, чем азотных.

Благодаря значительной обеспеченности почв подвижными соединениями калия под зерновые на суглинистых почвах калийные удобрения не применяют. Калий вносят под корне- и клубнеплоды, подсолнечник и многолетние травы при орошении. На бедных калием легких почвах калийные удобрения применяют под все культуры. Эффективность минеральных удобрений в зоне возрастает с востока на запад, где выпадает больше осадков.

К характерной особенности применения удобрений в лесостепной зоне относится внесение почти всех удобрений под основную обработку путем заделки их отвальным плугом с предплужником. Подкормка пропашных культур за счет сокращения доз основного удобрения здесь нерациональна.

Органические удобрения целесообразно использовать в севооборотах с 9-10 полями дважды за ротацию, а в

шести-семипольных – один раз. Вносить их эффективнее в пару, под однолетние травы, кукурузу на зеленый корм. Навоз дают под сахарную свеклу, овощные, картофель и кукурузу.

Минеральные удобрения в зоне в первую очередь применяют под озимую пшеницу, сахарную свеклу, кукурузу на зерно, картофель, подсолнечник, а при орошении – под все сельскохозяйственные культуры. Если не внесено основное удобрение, то обязательно используют припосевное – нитрофоску или нитроаммофоску в дозе 0,5-1 ц/га или гранулированный суперфосфат – 0,3 ц/га.

В полевых севооборотах под пшеницу, не уменьшая дозы основного и припосевного удобрения, дают азотную подкормку в количестве 40-60 кг/га.

В прифермских севооборотах при выращивании растений на зеленые и сочные корма рекомендуют вносить повышенные дозы азотных ( $N_{150}$ ) и калийных ( $K_{120}$ ) удобрений.

В кормовых севооборотах, особенно при орошении, в структуре посевных площадей значительное место отводят многолетним травам (>50%) и однолетним полевым культурам. Для получения высоких урожаев необходима хорошая заправка почв удобрениями. В этих севооборотах азот должен преобладать над другими элементами питания.

Под многолетние травы весной вносят  $N_{60}P_{60}K_{60}$ , а после каждого стравливания –  $N_{30}$  перед поливом или с поливными водами. Под озимую рожь, ячмень и горох вносят основное удобрение в виде навоза и полного минерального удобрения. На 1 га пашни полевого севооборота приходится 3,5-4 т навоза, кормового – до 6 т.

Для черноземов лесостепной зоны оптимальная доза удобрений составляет 151-162 кг/га д. в.

В условиях лесостепной зоны России основными сельскохозяйственными культурами являются озимая пшеница и сахарная свекла. Пшеница лучше всего удается

на хорошо заправленных органическими и минеральными удобрениями почвах с глубоким пахотным слоем при посеве по занятым и чистым парам, а также после зернобобовых, кукурузы на силос, викоовсяной смеси и после многолетних бобово-злаковых трав.

Значительную часть элементов питания удобрений (47-58% азота, 30-50% фосфора и 40-63% калия) озимая пшеница использует в осенний период. Поэтому на паровом поле, служащем предшественником озимых, важно вносить органические удобрения в дозе 20-40 т/га. Навоз (20 т/га) используют и непосредственно под озимые. Внесение навоза обеспечивает прибавку урожайности 3-7 ц/га. Однако в лесостепи навоз лучше давать под парозанимающую культуру, а минеральные удобрения – под озимые в дозе  $N_{30-40}P_{40-50}$ . При небольших дозах навоза (20 т/га) под озимые обязательно внесение азотного удобрения.

На серых и темно-серых почвах лесостепной зоны, богатых подвижным фосфором, действие фосфорных удобрений под озимую пшеницу слабее, чем азотных, а на черноземах, особенно в зоне с недостаточным увлажнением, наоборот. Калийные удобрения под озимую пшеницу на черноземах вносят в дозе 40-50 кг/га, фосфорные – 50-60, азотные – 40-50 кг/га д.в. При размещении озимой пшеницы после многолетних трав дозу азота несколько уменьшают, а после бобовых азот не вносят.

При посеве озимой пшеницы обязательно внесение 0,5-0,8 ц/га суперфосфата, что повышает урожайность на 2-3 ц/га. После занятых паров под озимую пшеницу желательно рядковое удобрение (нитрофоски или нитроаммофоски) в дозе  $N_{20}P_{20}K_{20}$ . При хорошей заправке почвы удобрениями и достаточном количестве элементов питания в ней роль рядкового удобрения снижается.

Ранней весной (в период закладки в узле кущения колоса), когда в почве еще не проходят процессы нитрифи-

кации и нет минерального азота, необходима азотная подкормка озимых в дозе 40-60 кг/га д.в. с помощью дисковых зерновых сеялок на глубину 3-5 см.

На орошаемых землях лесостепи максимальные прибавки урожая получают от полной дозы азотного удобрения до посева – N<sub>90-100</sub>. Если удобрение по какой-либо причине не внесено, то недостающее количество дают в подкормку. Дозы фосфорных и калийных удобрений колеблются от 40 до 60 кг/га д.в.

Вынос питательных веществ сахарной свеклой зависит от количества вносимых удобрений, плодородия почвы и погоды. На почвах лесостепной зоны по сравнению с обыкновенными черноземами количество азота и калия в урожае снижается, а фосфора – возрастает.

Для свеклы наиболее благоприятна реакция среды около рН 7. При рН меньше 6 (серые лесные почвы, оподзоленные и выщелоченные черноземы) необходимо известкование. Известковые материалы можно вносить и под предшествующую культуру. В севообороте сахарную свеклу размещают после озимой пшеницы, следующей по пласту многолетних трав и по занятым парам.

Главная роль в корневом питании сахарной свеклы принадлежит основному удобрению. Под сахарную свеклу 70-80% дозы вносят в качестве основного удобрения. Наибольший урожай получают при совместном применении органических и минеральных удобрений. Основное удобрение дают осенью под глубокую вспашку (сахарная свекла хорошо отзывается на углубление пахотного слоя). Азотные удобрения, особенно их нитратные и нитратно-аммиачные формы, целесообразно вносить весной под предпосевную культивацию или в подкормку.

Дозы азотных удобрений для получения одной и той же урожайности уменьшаются от серых лесных почв к черноземам выщелоченным, а фосфорных удобрений –

увеличиваются. Потребность в калийных удобрениях почти не изменяется. Это объясняется, с одной стороны, уменьшением влажности почвы к югу зоны, а с другой – увеличением содержания гумуса в них.

Для усиления питания в первые периоды роста удобрения вносят при посеве в рядки: на серых лесных почвах  $N_{10}P_{15}K_{10}$ , на черноземах  $N_{10}P_{20}K_{10}$ . Для этого можно использовать и комплексные удобрения в дозе 0,5-1 ц/га д.в. При сочетании основного удобрения с рядковым их эффективность повышается.

Эффективность подкормок зависит от влажности почвы в период вегетации и заправки почвы основным удобрением. При недостаточном внесении удобрений роль подкормки возрастает. Однако даже при перенесении половины общей дозы удобрений в подкормку урожай сахарной свеклы на черноземах зоны снижается на 8-10 % по сравнению с внесением всей дозы удобрений под осеннюю вспашку. На легких серых лесных почвах, где возможно вымывание удобрений, перенесение части общей дозы удобрений в подкормку может быть более эффективно. Роль подкормки при орошении возрастает.

Первую подкормку в дозе  $N_{20-25}P_{20}K_{20}$  проводят после прореживания, вторую – через 2-3 недели после первой в несколько меньших дозах. Для подкормки можно использовать навозную жижу и птичий помет.

Под свеклу вносят и микроудобрения: бор (1,5-2 кг/га), марганец (15-20 кг/га), медь (6-7 ц/га пиритных огарков).

Имея длинный период вегетации, сахарная свекла хорошо потребляет питательные вещества из органических удобрений. Вносят их в дозе 20-40 т/га осенью под глубокую зяблевую вспашку. Хорошее действие оказывают органические удобрения, внесенные под предшествующую культуру.

На черноземах лесостепи европейской части России большие площади заняты такими требовательными к питанию культурами, как сахарная свекла, кукуруза, подсолнечник, озимая пшеница, картофель.

По объемам внесения минеральных удобрений сахарная свекла занимает первое место среди других культур. Огромные площади в зоне отводят озимой пшенице и кукурузе на зерно. Поэтому эти культуры имеют большое значение в севооборотах зоны и повышение их урожайности благодаря применению удобрений является важнейшей задачей.

В зерносвекловичном севообороте, где озимая пшеница идет после занятых паров, навоз вносят в первую очередь под пропашные культуры – осенью под глубокую вспашку. Поскольку навоз обладает значительным последствием, его вносят и под предшественники, т.е. под озимые культуры. Под сахарную свеклу в зоне широко применяют и рядковое внесение удобрений при посеве.

Дозы удобрений и соотношение в них N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O зависят от насыщенности севооборота культурами, требовательными к высокому питательному фону почвы (сахарная свекла, озимые, кукуруза). При слабой обеспеченности культур минеральными удобрениями до посева их вносят в меньших дозах, а под отдельные зерновые яровые культуры дают только в рядки.

### **4.3. Особенности применения удобрения в Поволжье**

Территория Средневолжского и Нижневолжского регионов расположена в лесостепной, степной и полупустынной зонах России.

Лесостепная зона наиболее благоприятна для возделывания сельскохозяйственных культур, годовая сумма осадков здесь колеблется от 400 до 500 мм. В этой зоне

чаще, чем в других районах Поволжья, создаются благоприятные условия для посева озимых по занятым парам и их перезимовки.

В засушливой черноземной степи выпадает 350-400 мм осадков – это неустойчивая зона богарного земледелия.

Сухая степь характеризуется ярко выраженным континентальным и засушливым климатом – за год выпадает 275-350 мм осадков. Здесь возрастает эффективность снегозадержания, плоскорезной обработки почвы с сохранением стерни и других приемов агротехники, способствующих накоплению влаги в почве. Полупустынная степь отличается острозасушливым климатом с годовой суммой осадков 180-280 мм.

Наибольшую опасность для растений в Поволжье в весенне-летний период представляют засухи и суховеи, повторяемость которых за теплый период составляет в лесостепной зоне 15-20 дней, степной – 30-60, полупустынной – 70 дней и более.

Орошение в засушливых районах Поволжья – главный фактор интенсификации, на фоне которого можно эффективно использовать удобрения, получая гарантированные урожаи зерновых, технических, овощных, кормовых и бахчевых культур.

Поволжье весьма неоднородно по почвенным условиям. Почвенный покров лесостепи представлен серыми лесными почвами и оподзоленными, выщелоченными, обыкновенными и типичными черноземами. Серые лесные почвы содержат 3-6,5% гумуса, мощность перегнойного горизонта 20-40 см, рН 6,0-6,5. Мощность перегнойного горизонта оподзоленных и выщелоченных черноземов достигает 60 см, содержание перегноя – 7-8%, рН 6,0-6,5. Обыкновенные черноземы делят на мощные, средне- и маломощные. Мощность перегнойного горизонта 36-78 см, содержание перегноя 6,5-8,5%, рН 7,1-7,3. Кроме того,

почвенный покров Поволжья представлен южными черноземами, каштановыми почвами, а также солончаками, солонцами и солодами.

Основные типы почв Поволжья слабо обеспечены подвижным фосфором (более половины пахотных земель), а обменным калием – гораздо лучше (70-90% пашни содержат обменного калия выше среднего уровня).

В Самарской, Ульяновской и Пензенской областях имеются значительные площади почв с гидролитической кислотностью более 2,5 мг экв/100 г почвы. На этих почвах эффективно применение фосфоритной муки.

В северных районах Поволжья все культуры, возделываемые на серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах, нуждаются в первую очередь в азотных удобрениях, эффективность фосфорных удобрений здесь значительно слабее и проявляется на фоне азотных. Калийные удобрения необходимо применять лишь в составе полного минерального удобрения, а также на почвах легкого гранулометрического состава и под калиелюбивые культуры.

В южной части лесостепи и черноземной степи на типичных, обыкновенных, южных черноземах и каштановых почвах требуется дополнительное внесение фосфорных удобрений.

В Поволжье почвы отличаются сравнительно высоким уровнем плодородия. Особое значение приобретают условия увлажнения, определяющие действие удобрений.

Важное место в системе удобрения принадлежит навозу, который вносят в чистом пару в дозе 20-25 т/га и под пропашные культуры – 30-40 т/га. Этот прием повышает урожайность озимых хлебов на 2,5-5 ц/га, зеленой массы кукурузы, картофеля и сахарной свеклы – на 30-50 ц/га.

Органические удобрения необходимо использовать в первую очередь под плодово-ягодные и овощные культу-

ры, орошаемые севообороты, внося ежегодно на каждый гектар в среднем не менее 10-15 т. В полевых неорошаемых севооборотах с небольшим количеством полей навоз следует давать один раз за ротацию, а в 8-10-польных – 2 раза за ротацию.

Органические и минеральные удобрения сочетают различными способами: при одновременном внесении с заделкой под вспашку; навоз вносят под вспашку зяби, а минеральные удобрения – под весеннюю культивацию или в рядки, а также в подкормку; навоз применяют в пару или под пропашные культуры, а минеральные удобрения – под последующие культуры.

Особенно важно вносить обычные дозы навоза (30-40 т/га) под картофель, сахарную свеклу, кукурузу на силос, кормовые корнеплоды и овощные культуры.

На почвах со средним содержанием подвижного фосфора основное удобрение следует применять под наиболее ценные культуры (озимую пшеницу по чистому пару, сильную яровую пшеницу, пропашные, кукурузу, сахарную свеклу), а на остальных площадях – рядковое удобрение (суперфосфат – 1 ц/га, нитрофоску и нитроаммофос – 1,5-2 ц/га).

Нередко в сухие годы из-за слабого действия удобрений сильнее проявляется их последствие в последующие годы.

В засушливые годы лучше действуют фосфорные и калийные удобрения, а в благоприятные – азотные.

В засушливых южных районах Поволжья эффективность удобрений на богаре низкая и нестабильная по годам. Ведущими культурами в сухостепной зоне являются зерновые: озимая и яровая пшеницы, озимая рожь, ячмень, кукуруза и просо.

Роль фосфорных удобрений возрастает по мере усиления континентальности климата и перехода от серых

лесных почв к обыкновенным черноземам и каштановым почвам, т.е. с северо-запада на юг и юго-восток, где ощущается нехватка подвижного фосфора.

При разработке системы удобрения в Поволжье следует учесть, что при недостаточном и неустойчивом количестве осадков особенно важна глубокая заделка органических и минеральных удобрений, когда они попадают в увлажненные слои почвы.

К средним дозам фосфорных и калийных удобрений вводят поправочные коэффициенты в зависимости от обеспеченности почв подвижным фосфором и обменным калием. При очень низком и низком содержании этих элементов в почве дозу удобрений увеличивают на 1/2, 1/3, а при повышенном и высоком содержании применяют припосевное внесение суперфосфата ( $P_{10-15}$ ), дозу калия уменьшают на 1/3 или калий не применяют.

Основное внесение минеральных удобрений под яровую пшеницу эффективно во всех районах Поволжья. Наибольшие прибавки урожая дает полное или азотно-фосфорное удобрение, внесенное под зяблевую вспашку. Полное минеральное удобрение ( $N_{30-60}P_{60-90}K_{30-45}$ ) обеспечивает прибавку урожайности зерна пшеницы в среднем 2,5 ц/га.

В засушливые годы возрастает эффективность фосфорных удобрений, во влажные – азотных. Основное удобрение (NPK) действует сильнее в западной и юго-западной части Поволжья, где осадков выпадает 400-450 мм и больше.

Яровая пшеница, размещаемая после удобренных озимых и кукурузы, хорошо использует последствие основного удобрения, внесенного под предшественники. В этом случае под яровую пшеницу нередко применяют только припосевное рядковое удобрение в виде гранулированного суперфосфата ( $P_{10}$ ).

Эффективность основного удобрения можно повысить дополнительными приемами снегозадержания.

Наибольшую отдачу от удобрений получают при локально-ленточном способе их внесения.

После неудобренных предшественников под пшеницу вносят по 30-45 кг/га NPK, а на серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах возрастает роль азотных удобрений, которые применяют в дозе 45-60 кг/га совместно с 30-45 кг/га РК.

Улучшение питания азотом и фосфором особенно необходимо при удалении в севообороте яровой пшеницы от озимых хлебов, идущих по черному пару.

Для улучшения качества зерна в период колошения – начала налива зерна целесообразно проводить дополнительную подкормку азотом в дозе 30 кг/га д.в.

Кукуруза в Поволжье при орошении способна давать с 1 га до 60-80 ц зерна и 600-800 ц зеленой массы. Она очень отзывчива на органические удобрения (30-40 т/га), внесенные совместно с минеральными.

При возделывании кукурузы на постоянных участках (вблизи ферм) ее следует удобрять навозом и фосфором (30 т/га + P<sub>40</sub>), органические удобрения вносят один раз в 3-4 года.

Фосфорные и калийные удобрения, а также навоз запахивают с осени: азотные вносят под зябь, под предпосевную культивацию или дробно – до посева, перед первым и вторым поливами культиватором растениепитателем в дозе 50-70 кг/га д.в. При посеве вносят 15 кг/га фосфора.

В засушливой зоне Поволжья необходимо широко внедрять орошение в сочетании с полными дозами органических и минеральных удобрений – это обязательное условие эффективного использования земель. Целесообразно возделывать интенсивные сорта, способные более продуктивно использовать влагу и питательные вещества почвы и удобрений.

Удобрения при орошении следует применять дифференцированно, с учетом диагностики питания растений и анализа почв. Урожайность резко снижается при недостатке питания, а при избытке – в результате сильного полегания.

Орошение в сочетании с удобрением позволяет интенсивно использовать пахотные земли путем применения пожнивных посевов: кукурузы на силос, проса, гороха на зеленый корм, гречихи на зерно и др.

Припосевное удобрение и подкормки, несмотря на их эффективность, не заменяют основного удобрения.

В орошаемых условиях систему применения удобрений сочетают с влагозарядковыми и другими поливами.

При мелкой заделке удобрений (под культивацию) и снижении влажности в верхнем (0-10 см) слое почвы до влажности завядания обеспеченность растений питательными элементами уменьшается на 30-40%. В таких случаях чаще проводят поливы, не допуская пересыхания верхнего слоя почвы.

Высокая урожайность сельскохозяйственных культур возможна при рациональном сочетании водного режима почвы и питания растений. Особое внимание следует уделять улучшению азотного питания.

Повышение урожайности только благодаря дополнительному обеспечению влагой влечет за собой излишние затраты. В свою очередь, при внесении больших доз удобрений недостаток влаги определяет уровень урожайности.

В новых районах орошаемого земледелия большая часть почв (более 50%) слабо обеспечена подвижным фосфором и для получения на них высоких урожаев следует вносить повышенные дозы фосфора с равным или большим соотношением P: N.

Почвы в основных зонах орошения, как правило, хорошо обеспечены калием. Поэтому эффективность калийных удобрений здесь проявляется при длительном исполь-

зовании орошаемых земель, особенно на легких почвах, а также при возделывании калиелюбивых культур: картофеля, овощей, корнеплодов, подсолнечника, люцерны. На засоленных почвах с высоким содержанием подвижного калия применять калийные удобрения не следует, так как это может снизить урожай.

На фоне высоких доз удобрений и орошения нередко требуется дополнительное внесение микроэлементов: бора, марганца, кобальта, цинка, молибдена и др.

Органические удобрения в дозе 20-40 т/га при орошении вносят под овощные культуры, картофель и кукурузу, предшествующую озимой пшенице. Для улучшения физических свойств солонцеватых почв применяют органические удобрения в дозе 40-60 т/га и более.

Недостаток навоза можно восполнить зеленым удобрением, выращивая повторно чину, пажитник, горох, донник. Первый укос используют на корм, а отаву запахивают в почву на глубину 25-27 см.

В орошаемом севообороте большое значение имеет люцерна с ее глубоко уходящей корневой системой, которая способствует окультуриванию как верхних, так и нижних слоев почвы благодаря накоплению органического вещества.

В районах Нижнего Поволжья часть посевных площадей занята рисом. В этом регионе при возделывании риса рекомендуют вносить по зяби органические удобрения (навоз) в дозе не менее 20 т/га, а также фосфорные и калийные удобрения  $P_{40-60}K_{30-40}$ . При возделывании риса по пласту многолетних трав (люцерны) вносят полные дозы фосфорно-калийных удобрений  $P_{60-80}K_{50-60}$ , а также небольшие дозы азотных удобрений  $N_{30-40}$ . Подкармливать посеvy риса рекомендуют сразу после появления полных всходов и в фазе кущения. При этом вносят полное минеральное удобрение –  $N_{20-25}P_{20-25}K_{10-15}$ . При использовании

только минеральных удобрений с учетом основного внесения и подкормок их дают в дозе  $N_{100-150}P_{80-100}K_{60-80}$ .

При возделывании риса на бедных малоплодородных или легких по гранулометрическому составу почвах рекомендуемые дозы азотных и фосфорных удобрений увеличивают на 20-30%.

#### **4.4. Особенности применения удобрения в Западной Сибири**

Этот регион является крупным производителем зерна, здесь сосредоточены значительные посевы яровых зерновых культур, особенно яровой пшеницы.

Пахотные угодья Западной Сибири в основном (более 80%) сосредоточены в лесостепной и степной зонах с черноземными и серыми лесными почвами. В западной части этого региона (Зауралье) эффективность азотных удобрений ( $N_{30-60}$ ) высокая, особенно на посевах яровой пшеницы, идущей после зерновых хлебов и кукурузы. После бобовых предшественников эффективность азотных удобрений резко снижается. После небобовых предшественников в Зауралье на выщелоченном черноземе под яровые хлеба вносят 80-90 кг/га азота, а под кукурузу – 80-100 кг/га.

Для большинства почв Зауралья наиболее эффективна доза фосфорных удобрений  $P_{60-90}$ , особенно высока их эффективность на выщелоченных черноземах.

Калийные удобрения увеличивают урожайность яровых зерновых культур в Западной Сибири слабее, чем фосфорные и азотные.

Органические удобрения лучше вносить на паровом поле или под пропашные культуры. При посеве яровых зерновых по пару надо вносить полную дозу фосфорных удобрений. В связи с тем, что в паровом поле накапливается значительное количество нитратов, применение азота

под пшеницу, как правило, прибавок не дает. Поэтому под яровую пшеницу ограничиваются внесением фосфора в рядки в дозе 10-20 кг/га или под основную обработку в дозе 60-80 кг/га, а на песчаных почвах применяют калий – 40-60 кг/га.

При посеве пшеницы по зерновым, кукурузе и многолетним травам влияние азота тем существеннее, чем дальше в севообороте поле с пшеницей удалено от пара. Высокие дозы азота более эффективны при посеве пшеницы по пшенице.

Следует выделить выщелоченные черноземы Западной Сибири, где под яровую пшеницу вносят несколько меньше азота и калия –  $N_{20-40}P_{60}K_{20-30}$ . На черноземах Зауралья последствие фосфорных удобрений в первый год равноценно их первоначальному действию.

Высокая эффективность азотных удобрений, по данным ВИУА, отмечена в Западно-Сибирской провинции лесостепной зоны на светло-серых и серых лесных почвах, где прибавка урожайности зерна яровой пшеницы составляет 11,1 ц/га.

#### **4.5. Особенности применения удобрения в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке**

В Восточной Сибири широко распространены выщелоченные и оподзоленные глубокопромерзающие черноземы и серые лесные почвы, для степной зоны этого региона характерны глубокопромерзающие обыкновенные и южные черноземы. Длительная сезонная мерзлота, с одной стороны, играет положительную роль как аккумулятор влаги для растений, что особенно важно для засушливых районов. С другой стороны, мерзлота ухудшает температурный режим почв. Из-за нее в первой половине лета сдерживается интенсивность нитрификационного процесса

в почвах, а также замедляется развитие растений. Это делает высокоэффективными азотные удобрения.

Ведущей культурой Восточной Сибири является яровая пшеница, поскольку из-за бесснежья и очень низких зимних температур озимые хлеба вымерзают.

На Дальнем Востоке зерновые культуры сосредоточены в основном в Амурской области, их предшественником является соя, и на лугово-черноземовидной почве по фону  $P_{60}$  наиболее эффективна под ячмень доза  $N_{90}$ .

Эффективность фосфорных удобрений зависит от зоны возделывания яровых зерновых культур. На выщелоченном и обыкновенном черноземах под яровую пшеницу вносят  $P_{30-40}$ , а в Красноярском крае на выщелоченном черноземе –  $P_{60}$ , на серой лесной почве Иркутской области –  $P_{80-90}$ . На легких каштановых и серых лесных почвах Бурятии фосфорные удобрения имеют невысокую эффективность.

Калийные удобрения в Сибири действуют слабее, чем фосфорные и азотные, и доза  $K_{40}$  оказывается достаточной.

Зона сухих степей располагается в основном на каштановых почвах. Под зерновые здесь эффективны фосфорные и фосфорно-азотные удобрения, а под пропашные при орошении вносят полное минеральное удобрение.

Припосевное внесение суперфосфата ( $P_{10-20}$ ) под зерновые хлеба эффективно так же, как и в других почвенно-климатических зонах страны.

На каштановых почвах действие фосфорных удобрений слабее, чем азотных, но эффективность их возрастает при совместном внесении. В этих почвах повышенное содержание калия, поэтому его применение малоэффективно.

В лесостепи Восточной Сибири на серых лесных почвах и выщелоченных черноземах более эффективны азотные удобрения, прибавка урожая от которых в дозе  $N_{40-60}$  составила 5-6 ц/га, а от полного минерального удобрения – 7-7,5 ц/га.

В севооборотах с люцерной ее часто выводят в выводное поле на 5-6 лет. Навоз в полевые севообороты с многолетними травами не вносят.

В более интенсивных прифермских севооборотах в лесостепной зоне органические удобрения используют после уборки парозанимающей культуры в августе, а азотные – весной в период предпосевной обработки почвы.

В условиях влажного климата Дальнего Востока, где преобладают относительно бедные почвы, эффективность удобрений близка к их действию в Нечерноземной зоне.

В этом регионе значительные посевные площади заняты соей. При правильном применении удобрений на окультуренных почвах она способна формировать высокую урожайность – до 20-25 ц/га.

На дерново-подзолистых почвах Дальнего Востока в первом минимуме находится фосфор, во втором – азот, затем калий. В связи с этим обязательно внесение фосфорных и фосфорно-азотных удобрений. Наибольшие урожаи сои получают здесь при полном (NPK) внесении удобрений.

Дозы удобрений под сою на легких почвах с низким и очень низким содержанием подвижного фосфора и обменного калия составляют  $N_{30}P_{60}K_{45}$ , при средней обеспеченности –  $N_{30}P_{60}K_{30}$  (такую же дозу применяют на тяжелых почвах с низкой обеспеченностью фосфором и средней – калием). При повышенном и высоком содержании калия вносят  $N_{30}P_{60}$ . Обязательно припосевное удобрение: в Приморье  $P_{15-20}$ , в Хабаровском крае  $N_{10}P_{10}$ .

По данным ВНИИ сои, ее урожайность на большей части почв Дальнего Востока существенно возрастает при внесении минеральных удобрений. Оптимальными дозами удобрений под сою следует считать: для условий Амурской области –  $N_{30}P_{60}K_{30}$ , Приморского края –  $N_{45}P_{60}K_{30}$  и Хабаровского края –  $N_{45}P_{60}K_{45}$ .

Соя хорошо отзывается на органические удобрения,

которые в условиях Дальнего Востока вносят как непосредственно под культуру, так и под предшественник. Прибавка семян от дозы навоза 30-40 т/га составляет до 4 ц/га. Максимальная эффективность отмечена при внесении полного минерального удобрения на фоне известкования, действия или последействия органических удобрений.

Дозы минеральных удобрений зависят как от региона, его климатических условий, так и от почв. Так, в Амурской области под сою рекомендуют вносить на лугово-бурых оподзоленных и подзолисто-бурых лесных почвах  $N_{30}P_{60-90}K_{30}$ , на лугово-черноземовидных –  $N_{30}P_{60-90}$ , на пойменных аллювиальных, бурых лесных –  $N_{30}P_{60-90}$ . В Хабаровском крае лучшими почвами для возделывания сои являются бурые подзолистые. Здесь целесообразно вносить  $N_{30-40}P_{60-90}$  и  $N_{30-40}P_{60-90}K_{30-45}$ . В Приморском крае на буро-подзолистых, лугово-бурых оподзоленных и луговых глеевых почвах рекомендуют вносить  $N_{30-40}P_{60-90}K_{30-45}$ , на аллювиальных наносных –  $N_{30-40}P_{60}K_{45-60}$ .

Припосевное внесение состоит либо из одного простого суперфосфата в дозе 15-20 кг/га, либо на бедных гумусом почвах к нему добавляют азот в дозе 10-15 кг/га. Эффективно внесение аммофоса в дозе 20-25 кг/га.

Подкормки в зависимости от показаний листовой диагностики проводят азотом или азотом и фосфором. Перед посевом семена сои обрабатывают ризоторфином или молибденом.

### ***Контрольные вопросы***

1. С какими факторами связана высокая отзывчивость сельскохозяйственных культур на удобрение в Нечерноземной зоне России?

2. Назовите общие закономерности влияния удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур в зональном аспекте на территории России.

3. Какова взаимосвязь между кислотностью почвы, ее гумусированностью и эффективностью удобрений?

4. Под какие сельскохозяйственные культуры вносят органические удобрения?

5. Расскажите об условиях эффективного применения органических удобрений.

6. С чем связана ведущая роль азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры в Нечерноземной зоне?

7. Каковы условия эффективного применения азотных удобрений?

8. Каковы условия эффективного применения фосфорных удобрений?

9. Каковы условия эффективного применения калийных удобрений?

10. Почему в системе удобрения Нечерноземной зоны необходимо сочетание органических и минеральных удобрений?

11. Какова эффективность удобрений в различных почвенно-климатических зонах России?

12. Назовите условия, определяющие эффективность удобрений.

13. Каковы особенности применения органических и минеральных удобрений в районах достаточного увлажнения и в засушливых условиях?

14. Какова зависимость действия удобрений от типа, подтипа и гранулометрического состава почвы?

15. Каковы особенности удобрения ведущих культур по основным регионам России?

16. Расскажите об особенностях применения и эффективности удобрений при орошении и на богаре.

17. Каковы особенности удобрения риса?

18. Каковы особенности удобрения сои?

## Раздел 5

### Эффективность применения удобрений

#### 5.1. Основные показатели эффективности применения удобрений

Агрономическая эффективность удобрений – результат действия их на выход основной продукции (зерна, клубней, плодов, волокна и т.д.), выраженной прибавкой урожая с гектара или на единицу удобрения. Выражают ее и в зерновых или кормовых единицах. Величина прибавки зависит от почвенно-климатических условий, вида и сорта сельскохозяйственной культуры и организационно-хозяйственных факторов.

Эффективность удобрений определяют в полевых, производственных и стационарных опытах в типичных для данного района условиях. Из-за сильного различия почвенно-климатических и других условий по отдельным районам страны она значительно колеблется. В Нечерноземной зоне эффективность удобрений наиболее высокая, если прибавки урожайности с 1 га от внесения оптимальной дозы минеральных удобрений составляют: зерна 7-16 ц, картофеля 50-80, сена многолетних трав 12-15, кормовых корнеплодов 90-100, зеленой массы культурных пастбищ 40-50 ц. Применение навоза в дозе 20-30 т/га обеспечивает прибавку урожайности зерновых до 5 ц, картофеля 40-50, овощей 50-60 ц/га. По данным полевых опытов бывш. Ленинградского филиала ЦИНАО, оплата 1 кг действующего вещества удобрений (NPK) на северо-западе России составляет: зерна 4-4,3 кг, льна (солома) 8,9, картофеля 26,9, капусты 49,9, моркови 40,3, сена многолетних трав 31,1 кг.

По нормативам в среднем по стране 1 кг питательных веществ удобрений должен окупаться прибавкой урожайности: зерна 4,3 кг, сахарной свеклы 29,2, льна (волокно)

1,2, подсолнечника 2,4, овощей 26,6, силосных 42,6, кормовых корнеплодов 37,2, трав многолетних и однолетних (сено) 11,6, трав с лугов и пастбищ (сено) 13, многолетних насаждений (плодовые и ягодные) 14,1кг.

При определении экономической эффективности удобрений исходят не из натуральных показателей, а из сопоставления стоимости произведенной продукции с затратами, выраженными в рублях. Экономическая эффективность – результат действия удобрений в стоимостных показателях в форме стоимости в средних ценах реализации дополнительной продукции, чистого дохода (за вычетом издержек, связанных с применением удобрений), окупаемости затрат, повышения производительности труда и снижения себестоимости.

В хозяйствах, интенсивно использующих удобрения, затраты на них в себестоимости продукции растениеводства составляют не менее 20-25%. Применяя удобрения, необходимо знать их фактическую эффективность, выявить имеющиеся резервы и экономически обосновать направление и уровень химизации сельского хозяйства на перспективу.

Агрономическая и экономическая эффективность не всегда совпадают.

Урожайность может расти более быстрыми темпами, чем дополнительные затраты на применение удобрений. В этом случае эффективность химизации высокая: увеличивается производительность труда, снижается себестоимость продукции, растет рентабельность производства.

Рост урожайности совпадает с увеличением затрат на применение удобрений – эффективность химизации хорошая. Увеличивается дополнительный доход с 1 га, происходит расширенное воспроизводство.

Рост урожайности отстает от увеличения затрат на применение удобрений – эффективность химизации падает.

Выбор показателей для полной и точной оценки экономической эффективности применения удобрений определяется конкретными задачами исследования. Например, при установлении экономически обоснованных доз внесения минеральных удобрений обычно ограничиваются учетом выхода дополнительной продукции на единицу действующего вещества удобрения на 1 руб. затрат, связанных с применением удобрений и величиной условного чистого дохода с 1 га удобряемой площади. Эти показатели, являются основными в агрономической практике.

При определении действия средств химизации на производство продукции растениеводства учитывают увеличение объема сельскохозяйственного производства в стоимостной оценке валовой и товарной продукции. Валовую продукцию оценивают в хозяйстве по закупочным ценам, а товарную – по фактическим ценам реализации в хозяйстве.

Накладные расходы устанавливают в процентах от затрат на оплату труда в хозяйстве или как заработную плату, связанную с применением удобрений. Проценты же принимают в размере всех общепроизводственных и общехозяйственных расходов в целом по хозяйству, от всей заработной платы, начисленной в хозяйстве на прямую оплату труда на все виды работ. Экономическую эффективность удобрений определяют: по данным полевых, стационарных и производственных опытов, проведенных в типичных хозяйствах районов; по нормативам прибавок урожая и усредненным затратам на 1 т удобрений, разработанным зональными научно-исследовательскими учреждениями; по материалам экономико-статистического анализа.

## **5.2. Экономическая эффективность удобрений отдельных культуры**

Экономическую эффективность удобрений в полевых, производственных и стационарных опытах определяют прибавкой урожая, которая получена от внесения удобрений. В опытах необходимо иметь контрольный вариант без удобрений.

В краткосрочных полевых и производственных опытах экономическую эффективность удобрений под отдельные культуры определяют за 1 год, а также в среднем за 2-3 года. Важным показателем эффективности удобрений является условный чистый доход с 1 га от применения удобрений (разность между стоимостью дополнительной продукции, полученной в результате применения удобрения, и расходами на ее получение).

Чистый доход с 1 га, полученный от применения удобрений, определяют по разности между стоимостью прибавок урожайности, полученных от применения удобрений, и затратами на удобрение, уборку и доработку дополнительной продукции.

Стоимость дополнительной продукции рассчитывают по реализационным (товарная продукция) и закупочным ценам, если она остается в хозяйстве. Закупочные цены на основные сельскохозяйственные культуры колеблются по зонам страны, поэтому их необходимо брать применительно к природно-экономической зоне, в которой проводился опыт. Если в опыте возделывают несколько культур, то продукцию всех культур переводят в эквивалентные зерновые единицы.

Зная закупочную цену 1 ц зерновых культур и выход зерновых единиц от применения удобрений, можно определить стоимость прибавки.

Для определения экономической эффективности

необходимо установить затраты, связанные с применением удобрений. Все прямые затраты на выращивание сельскохозяйственных культур определяются технологией и учитываются в себестоимости продукции. Дополнительные затраты средств на приобретение и перевозку удобрений в хозяйство вычисляют по действующим прейскурантам.

К затратам на приобретение удобрений относятся расходы хозяйства по их перевозке на склад хозяйства. Затем определяют внутривозхозяйственные затраты на хранение, подготовку, погрузку и разгрузку, перевозку на поле, развозку по агрегатам, заправку туковых машин и внесение удобрений в почву.

Производственные затраты на уборку и доработку дополнительно полученного урожая полностью относят на отчетный период. Их размер определяется средней себестоимостью уборки урожая с 1 га в контрольном и удобренном вариантах. Обычно пользуются укрупненными показателями: себестоимостью уборки урожая с 1 га, себестоимостью 1 ткм на транспортных работах и себестоимостью подработанной 1 т зерна на току, средней себестоимостью работ по реализации 1 т продукции.

После того как все статьи для определения экономической эффективности найдены, делают ее расчет.

Кроме чистого дохода определяют рентабельность применения удобрения как отношение чистого дохода к затратам, связанным с использованием удобрений.

При установлении рентабельности применения навоза, навозно-фосфорных, торфонавозных и других компостов расходы на доставку и внесение следует распределять условно на два года, труднорастворимых форм удобрений – на 3-4 года.

Экономическая эффективность удобрений по отдельным культурам сильно колеблется.

### **5.3. Экономическая эффективность систем удобрения по севообороту и хозяйству**

Эффективность удобрений в севообороте зависит от его типа, насыщенности органическими и минеральными удобрениями, отзывчивости различных культур на удобренность предшественников и последствие удобрений.

Экономическую эффективность устанавливают по каждой культуре в течение всей ротации (по тем же показателям, что и под отдельную культуру). Вследствие того, что в севооборотах применяют не только минеральные, но и органические удобрения, эффективность системы удобрения определяют с учетом их действия.

В среднем по Нечерноземной зоне 1 т навоза за ротацию севооборота дает прибавку урожайности, эквивалентную 1 ц зерн. ед.

Фактическую экономическую эффективность от применения удобрений по хозяйству определяют на основе количества удобрений, внесенных под отдельную культуру, и данных статистического и бухгалтерского учета себестоимости продукции в ценах реализации, затратах труда и др.

Экономические показатели растениеводческой отрасли во многом определяются дозами применения удобрений в хозяйстве. Хозяйства, применяющие повышенные дозы удобрений, как правило, имеют и лучшие экономические показатели.

Многочисленные опыты с удобрениями, проведенные по единой программе, позволили выявить ряд закономерностей их действия в зависимости от типа почв, содержания гумуса, обеспеченности подвижными элементами питания, сорта и особенностей агротехники. Эти закономерности нашли отражение в нормативах затрат удобрений на единицу прибавки урожайности и окупаемости удобрений. Нормативы различаются по экономическим

районам. Они разрабатываются зональными научно-исследовательскими организациями.

Зная урожайность культуры в хозяйстве без удобрений, нормативы затрат удобрений на 1 ц или 1 т урожая, окупаемость удобрений прибавкой урожайности, можно рассчитать величину прибавки от применяемой или проектируемой дозы удобрений. Урожайность без удобрений устанавливают по опытным данным, полученным в хозяйстве. Так, при урожайности зерновых без удобрений 15 ц/га и нормативной окупаемости 1 кг NPK 5,7 кг зерна при внесении 75 кг/га д.в. урожайность должна составить 19,3 ц/га.

При изучении экономической эффективности проектируемых и существующих систем удобрения возникают значительные трудности в получении данных об урожайности без применения удобрений, так как во многих хозяйствах трудно найти неудобренные участки. В этом случае урожайность без удобрений может быть определена по балльной оценке почв. Например, земля под зерновыми оценена в 50 баллов, цена 1 балла – 0,3 ц/га. Следовательно, урожай без удобрений должен быть 15 ц/га; фактически получено 19 ц/га, прибавка от удобрений составила 4 ц/га. Для получения этой прибавки израсходовано 75 кг/га д.в. Фактическая окупаемость 1 кг NPK – 5,3 кг зерна, нормативная окупаемость 1 кг NPK – 5,7 кг. Значит, окупаемость удобрений составила 93% нормативной.

Если в хозяйстве не проведена бонитировка почв, урожайность без удобрений может быть исчислена другим способом. Например, в условиях хозяйства запланировано получить урожайность ячменя 40 ц/га, для этого используют 270 кг NPK (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>). Известно, что на каждый килограмм NPK получают 6,4 кг зерна. В данном примере прибавка составила 17,3 ц/га, следовательно, на неудобренной почве урожайность получается 22,7 ц/га.

Фактическая эффективность удобрений в производ-

ственных условиях может быть ниже, чем в полевых опытах или рассчитанная по нормативам. Причины снижения фактической эффективности – организационно-хозяйственные или агротехнические (несоблюдение севооборотов или чередования культур, нарушение сроков выполнения работ, засоренность полей, несбалансированность N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O и др.).

#### **5.4. Экономическая эффективность известкования**

Экономическую эффективность известкования определяют в многолетних стационарных и полевых севооборотных опытах. Она может быть установлена и по нормативам.

Экономическая эффективность известкования на сильнокислых почвах выше, чем на среднекислых. Несмотря на большие затраты на известкование сильнокислых почв, на них получают высокий чистый доход за ротацию в расчете на 1 год и большую окупаемость 1 руб. затрат, связанных с известкованием. Это объясняется тем, что прибавка урожайности от известкования на сильнокислых почвах выше, чем на среднекислых.

В среднем в полевых севооборотах Северо-Западной зоны России 1 руб. затрат, связанных с известкованием, окупается 1,6-2,5 руб. чистого дохода. В полевых севооборотах без льна и картофеля окупаемость известкования выше. В кормовых и овощных севооборотах окупаемость известкования самая высокая вследствие большей чувствительности этих культур к кислой реакции почвы.

Известкование значительно повышает экономическую эффективность применения минеральных удобрений. Наиболее экономичным является совместное применение извести и минеральных удобрений.

### *Контрольные вопросы*

1. Назовите основные показатели, характеризующие агрономическую эффективность удобрений.
2. Назовите основные показатели, характеризующие экономическую эффективность удобрений.
3. Как рассчитать экономическую эффективность удобрений под отдельные культуры?
4. Как определить экономическую эффективность за ротацию севооборота и по хозяйству?
5. Как определить экономическую эффективность удобрений по нормативам?

## Раздел 6

### Действие удобрений на качество продукции растениеводства и окружающую среду

#### 6.1. Удобрения и качество продукции

Качество урожая сельскохозяйственных культур тесно связано с биохимическим составом растений: содержанием белков, углеводов, жиров, витаминов и минеральных веществ. Кроме того, качество урожая оценивают специфическим для каждой культуры комплексом показателей, включающих товарные, питательные, технологические и гигиенические свойства. Большое значение в оценке качества урожая имеют внешний вид и товарность. Эти показатели особенно важны для овощных, плодовых культур и картофеля, на которые имеются ГОСТы. Внешние и физические показатели качества, такие, как цвет, масса, форма, натура зерна, учитывают при оценке товарности зерновых культур. К категории качества относятся лежкость урожая и его потери при хранении, особенно для овощных, плодовых культур и картофеля. Гигиенические показатели качества урожая оценивают по содержанию веществ, оказывающих отрицательное или вредное влияние на человека и животных при использовании в пищу или на корм растениеводческой продукции: нитраты, нитриты, остатки пестицидов, тяжелые металлы, радионуклиды и др.

Качество продукции зависит от многих факторов: климата, почвы, предшествующей культуры, сорта, доз, видов и форм удобрений, соотношения в них элементов питания, сроков внесения и др.

Удобрения являются ведущим фактором внешней среды, оказывающим влияние на качество урожая. Минеральное питание растений улучшается при внесении научно обоснованных доз удобрений. Поэтому оптимальные

дозы удобрений разрабатывают не только на основе прибавок урожайности, но и по их действию на качество продукции. Улучшение питания способствует мобилизации физиологических ресурсов растения и повышению урожайности. Однако для каждого сорта существует предел биологических возможностей роста урожайности. Внесение удобрений в количествах, превышающих физиологическую потребность растений, не ведет к дальнейшему увеличению урожайности и сопровождается ухудшением качества продукции. Это связано не только с повышенными дозами удобрений, но и с несбалансированностью элементов минерального питания, неправильным подбором форм макроэлементов, а также применением микроэлементов без учета содержания их в почве и требований культуры.

**Зерновые культуры** отличаются достаточно высоким содержанием белка и очень высоким количеством крахмала. Питательную ценность белков зерновых культур определяют по содержанию аминокислот. Если питательная ценность животного белка (мяса, молока, яиц) принять за 100, то питательная ценность белка пшеницы составит 62-68, ржи – 68-75, овса – 78, риса – 83-86, кукурузы – 52-58.

**Пшеница.** Главным показателем качества пшеницы является биохимический состав зерна: количество белков, их аминокислотный состав, содержание крахмала и витаминов. Количество белка в зерне определяет пищевую ценность пшеницы и колеблется от 9 до 26%. Содержание крахмала 60%, жира 1,9, клетчатки 2,8, Сахаров 4,3, золы 2,2%. Для выпечки хлеба хорошего качества белка в зерне должно быть не меньше 14%. На хлебозаводах качество зерна пшеницы определяют по количеству и качеству клейковины и результатам лабораторной выпечки хлеба. Клейковина представляет собой белковый сгусток отделяющейся от крахмала муки в процессе замешивания теста.

Этот сгусток обладает эластичностью, упругостью, связностью, от которой зависит качество хлеба. Высокобелковые сорта пшеницы в зависимости от плодородия почвы, сорта и удобрения содержат 35-40% сырой клейковины, низкобелковые – 15-20%. Основная масса клейковины представлена проламинами (глиадин) и глутаминами (глутамин). В пшенице, выращенной в степных районах, соотношение между глутамином и глиадином является лучшим и составляет 1 : 1. В зависимости от содержания белка, клейковины (и ее свойства) и стекловидности зерно пшеницы делят на сильное, среднее и слабое.

Содержание белка в зерне пшеницы зависит главным образом от климатических условий ее выращивания и увеличивается с запада на восток и с севера на юг европейской части страны. Решающая роль в биосинтезе белка в растениях принадлежит влажности и температуре почвы и почвенного воздуха. Зерно пшеницы, выращенной в условиях засушливого климата, отличается повышенным содержанием белка по сравнению с зерном пшеницы, выращенной в условиях гумидного климата. Наибольшее количество белка имеют пшеницы, выращенные на юго-востоке европейской части России – в Центральном и Южном Поволжье, а также в Оренбургской области и на Алтае.

В сухие годы урожай пшеницы может снижаться, а содержание белка – увеличиваться, во влажные – наоборот. При возделывании пшеницы на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны в зерне на 3% больше белка, чем у тех же сортов пшеницы, выращенной на плохо окультуренных почвах в аналогичных погодных условиях.

Из удобрений наибольшее влияние на качество урожая оказывают азотные. Использование всей дозы азота, особенно больших его количеств в основное удобрение, может вызвать полегание пшеницы, снижение урожайно-

сти и ухудшение качества зерна. Для повышения урожайности и улучшения качества зерна азотные удобрения применяют дробно: во время ранневесенней корневой подкормки –  $N_{30-60}$  и летней некорневой – 20-30%-ным раствором мочевины в фазе колошения – молочной спелости. Летние подкормки применяют в основном на высокопродуктивных сортах сильных пшениц, возделываемых по современным технологиям. Летние подкормки увеличивают содержание белка в зерне на 0,5-1%. При умеренных дозах азота (менее 90 кг/га) дробное внесение его не имеет преимуществ перед основным разовым внесением.

Внесение навоза повышает урожайность пшеницы, но не всегда положительно сказывается на качестве зерна. Минеральные удобрения вызывают хороший рост и развитие вегетативной массы, а навоз как медленно разлагающееся удобрение обеспечивает нормальное питание растений в момент налива зерна. Действие фосфорных и калийных удобрений на содержание белка в пшенице неустойчиво, однако при правильно подобранном соотношении  $N : P : K$  в удобрении они положительно влияют на качество зерна.

**Озимая рожь.** Качество зерна озимой ржи зависит от почвенно-климатических условий. Зерно озимой ржи, выращенной на черноземах и каштановых почвах, содержит 12,4-14,3% белка, на дерново-подзолистых – 9,4-11,5%. Содержание белка в зерне озимой ржи меньше, чем у пшеницы, однако озимая рожь содержит незаменимых кислот (лизина, валина, треонина, а также витамина  $B_2$ ) в 1,5-2 раза больше, чем пшеница. При совместном применении навоза и минеральных удобрений содержание белка в зерне озимой ржи увеличивается на 0,5-1,5%. Высокие прибавки урожайности и сбора белка получают от некорневых подкормок ржи азотом в фазе колошения – молочной спелости.

**Ячмень.** Он является важной кормовой и крупяной

культурой, а также широко используется в пивоварении. Средний химический состав зерна ячменя (% на сухое вещество) составляет: крахмал – 45-70, белок – 7-26, пентозаны – 7-11, сахароза – 1,7-2, целлюлоза – 3,5-7, жир – 2-3, зольные элементы – 2-3. Шестирядные ячмени используют на корм скоту и их называют фуражными, а двухрядные – преимущественно в пивоварении. Требования к качеству зерна ячменя определяются способом его использования. Важнейшим показателем качества зерна является содержание белка. При использовании ячменя в качестве кормовой и крупяной культуры содержание белка должно быть высоким, а клетчатки – низким. При использовании ячменя на пивоваренные цели содержание белка не должно превышать 12%. Содержание белков в зерне связано с количеством крахмала – чем больше крахмала, тем меньше белков.

Качество зерна зависит от сорта, почвенно-климатических условий и удобрений. Лучшие по качеству зерна ячмени произрастают в условиях умеренного количества света, тепла и осадков в Центрально-Черноземной и Нечерноземной зонах России. Все пивоваренные ячмени являются яровыми. В пивоваренном ячмене содержание крахмала составляет 56-70%, а экстрактивность – 72-83%.

Азотные удобрения оказывают наибольшее влияние на содержание белка в зерне ячменя, особенно при его выращивании на бедных дерново-подзолистых почвах. Умеренные дозы азота ( $N_{60}$ ) повышают урожай ячменя, а повышенные ( $N_{120}$ ) – и качество зерна. Действие азота сильно зависит от погодных условий. Во влажные годы азот удобрений повышает урожайность ячменя, а в сухие годы – содержание белка. Применение подкормки ячменя, возделываемого по современным технологиям, в фазе колошения приводит к увеличению количества белка на 4-5%. При использовании ячменя на пивоваренные цели вносить азотные удобрения не рекомендуют, особенно на богатых

гумусом почвах.

**Гречиха и просо.** Содержание белка в зерне гречихи и проса составляет 12-14%. Применение минеральных удобрений повышает содержание белка в зерне на 0,7-1,5%. Гречиха и просо хорошо отзываются на внесение микроэлементов, которые повышают урожай и улучшают его качество.

**Кукуруза.** Она является важной кормовой и продовольственной культурой. Зерно кукурузы в зависимости от сорта и почвенно-климатических условий выращивания содержит 68-73% крахмала, 5-20% белка, 3,5-7% жира. Белки кукурузы отличаются низкой биологической ценностью, так как они представлены малоценной в биохимическом отношении фракцией – зеином и почти не содержат лизина и триптофана. Однако высоколизиновые гибриды кукурузы содержат больше лизина и триптофана по сравнению с обычной кукурузой. Применение азотных удобрений по фону РК повышает содержание белка в зерне на 0,8-2% в основном за счет малоценной в биохимическом отношении зерновой фракции. Использование марганцевых и цинковых микроудобрений повышает урожайность и увеличивает содержание белка в зерне. При этом содержание зеиновой фракции уменьшается.

**Рис.** Пищевая ценность зерна очень высокая. Она определяется содержанием белка, переваримость которого достигает 98%, а также очень большим количеством крахмала высокой питательной ценности. Продукты из рисового зерна обладают ценными диетическими свойствами. Культура риса очень требовательна к условиям азотного питания в течение всего периода вегетации. Азотные удобрения значительно повышают урожайность риса и существенно влияют на химический состав зерна. Низкие дозы азота (до 90 кг/га) не изменяют биохимического состава зерна, и дробное внесение этой дозы не имеет преимуществ перед вне-

сением всей дозы в основное удобрение. Увеличение дозы до 120-150 кг/га, внесенной дробно (2/3 дозы до посева, 1/3 – в фазе выхода в трубку), повышает содержание белка в зерне на 0,9-1%. При совместном применении NPK количество белка в зерне увеличивается до 10%.

**Зернобобовые культуры** по белковости превосходят зерновые в 2-4 раза. Белок зернобобовых по сравнению с белком злаковых отличается повышенным содержанием аминокислот и лучшей переваримостью, т.е. является биологически более ценным. Зернобобовые различаются по аминокислотному составу белка. Среди них особой биологической ценностью отличается белок сои, богатый незаменимыми аминокислотами: лизином, метионином, глицином, триптофаном, аргинином, фенилаланином, треонином, глутаминовой кислотой, но беден аспарагиновой кислотой. По биологической ценности он почти не уступает белку животного происхождения. Соя является одновременно зернобобовой и масличной культурой, так как в семенах ее наряду с высоким содержанием белка имеется до 30% жира. В соевом масле много незаменимой для организма человека линоленовой кислоты.

Содержание белка в семенах зернобобовых зависит от вида растения, почвенно-климатических условий выращивания. Общая закономерность состоит в том, что количество белка увеличивается с запада на восток и с севера на юг страны. При этом содержание белка в семенах фасоли и сои сильнее зависит от условий произрастания, чем в семенах гороха, нута, чечевицы и др. Все бобовые растения, кроме люпина, для осуществления азотфиксации требуют нейтральной реакции почвенной среды. Клубеньковые бактерии на корнях этих культур даже при инокуляции семян бактериальными препаратами не развиваются на почвах с кислой реакцией, и фиксации атмосферного азота не происходит. Бобовые растения способны фиксировать

азот атмосферы, обогащают почвы азотом и слабо отзываются на азотные удобрения.

Применение азотного удобрения на хорошо окультуренных почвах приводит к снижению накопления биологического азота. Однако внесение азота в дозе  $N_{30-45}$  под сою повышает содержание белка в зерне и снижает содержание жира. Использование фосфорно-калийных и молибденовых удобрений способствует не только повышению урожая, но и увеличению содержания белка в семенах бобовых. Молибден усиливает фиксацию атмосферного азота.

**Картофель** является ценной продовольственной, кормовой и технической культурой. Пищевая и кормовая ценность его определяется высоким содержанием легкоусвояемого крахмала, а также Сахаров, органических кислот, минеральных веществ и особенно витамина С. Азотистые соединения клубней картофеля представлены белками, свободными аминокислотами, амидами. Содержание сырого протеина в клубнях картофеля составляет в среднем 2% на сырую массу или 8-10% на сухое вещество. Небелковые соединения азота составляют от 1/3 до 1/2 общего азота в клубнях и представлены свободными аминокислотами и амидами.

Требования к качеству картофеля определяются его использованием. При выращивании картофеля на технические цели высокое содержание азотистых соединений затрудняет его переработку и снижает выход крахмала, в то время как ценность картофеля, выращенного для пищевых целей, определяется не только количеством крахмала, но и содержанием белка и свободных аминокислот. Для производства спирта лучшим считается картофель, содержащий не менее 16% крахмала и большое количество амилозы, при этом крахмал быстро сбраживается в спирт.

Содержание крахмала в клубнях в зависимости от сорта, почвенно-климатических условий выращивания и

удобрения колеблется от 8 до 29%. Раннеспелые сорта картофеля содержат меньше крахмала, чем позднеспелые. Картофель, выращенный в северных районах страны, содержит меньше крахмала, чем в южных районах. В северных районах накоплению крахмала препятствуют низкие температуры, переувлажненность почв, ранние заморозки, а также длинный световой день, а картофель относится к растениям короткого светового дня.

Растения картофеля хорошо отзываются на применение органических и минеральных удобрений. Органические удобрения способствуют повышению урожайности, но применение их в высоких дозах приводит к снижению содержания крахмала в клубнях. При повышенных дозах азотных удобрений содержание крахмала снижается и в клубнях накапливается нитратный азот. Несбалансированность между N : P : K, т.е. при сужении оптимального соотношения белка к крахмалу (1 : 16), клубни плохо развариваются и приобретают вязкую консистенцию. Фосфорные удобрения способствуют не только повышению урожайности, но и увеличению содержания крахмала.

Картофель является калиелюбивой культурой, поэтому калийные удобрения также способствуют увеличению урожайности и накоплению крахмала в клубнях. Содержание крахмала значительно снижается при использовании хлорсодержащих калийных удобрений, так как хлор повышает оводненность клубней, активизирует действие фермента амилазы, осуществляющего гидролитическое расщепление крахмала. Использование хлорсодержащих удобрений приводит не только к снижению содержания крахмала, но и потемнению клубней при варке. Для ослабления отрицательного действия хлорсодержащих калийных удобрений их вносят с осени.

Выращивание картофеля на бедных калием дерново-подзолистых песчаных и особенно на осушенных торфяных

почвах не позволяет получить урожай хорошего качества, поэтому на этих почвах необходимо вносить повышенные дозы калийных удобрений. Картофель, выращенный на торфяных почвах, при недостатке калийных удобрений малопродуктивен для пищевых целей и может использоваться на семена. Рациональное сочетание органических и минеральных удобрений приводит не только к повышению урожайности картофеля, но и к улучшению его качества.

Важное значение для картофеля имеют устойчивость клубней к механическим повреждениям при уборке и способность к длительному хранению. Преобладание в системе удобрения азота над фосфором и калием уменьшает устойчивость клубней к механическим повреждениям, ухудшает их сохранность и увеличивает потери при хранении.

**Корнеплоды.** Сахарную, кормовую и столовую свеклу, морковь и другие корнеплоды используют в кормовых, продовольственных целях, а также для промышленной переработки.

Корнеплоды сахарной свеклы состоят в среднем из 75% воды, 17,5% Сахаров, 7,5% несахаров, из которых 5% составляет мякоть, а 2,5% – нерастворимые в воде сахара. Среди углеводов сахарной свеклы преобладает сахароза – 14-21%. В редких случаях ее содержание может составлять 23-24 и даже 25-26%. Содержание пектиновых веществ до 2,5%. Азотистые вещества представлены белками (0,7%), аминокислотами (0,1%), нитратами и пуриновыми основаниями. Эффективность действия минеральных удобрений на урожай и качество сахарной свеклы зависит от почвенно-климатических условий ее возделывания. Внесение повышенных доз азота приводит к усилению роста листьев, затягиванию созревания корнеплодов, оттоку углеводов из корней в листья и, как следствие, к снижению сахаристости корнеплодов и ухудшению их технологических свойств.

Высокое содержание в корнеплодах «вредного» азота (нитратный азот, азот аминокислот и бетанина) затрудняет их переработку и уменьшает выход сахара. Наиболее значительное снижение сахаристости наблюдается при избыточном азотном питании во второй период вегетации растений. Фосфорное и особенно калийное удобрения, внесенные в оптимальных дозах (с учетом их содержания в почве), приводят к повышению сахара в корнеплодах.

Систематическое применение органических удобрений увеличивает урожайность и снижает сахаристость. На почвах, где органические удобрения ранее не применяли, их внесение способствует повышению не только урожайности, но и сахаристости корнеплодов. Совместное применение органических и минеральных удобрений в рекомендованных дозах положительно влияет на урожайность и качество сахарной свеклы. На почвах с недостаточным содержанием микроэлементов применение В, Мп, Сu, Мо, Zn способствует увеличению сахаристости на 0,3-1,2%.

**Лен-долгунец.** Волокно льна отличается высоким качеством: оно длинное, прочное, гибкое, тонкое, по крепости на разрыв превосходит волокно хлопчатника, джута и других лубяных культур. Льняные ткани гигроскопичны и обладают ценными гигиеническими свойствами. Качество льна-долгунца определяется по состоянию соломы, тресты, волокна и пряжи. Семена льна содержат 35-37% жира, из которого получают льняное масло, идущее на производство высококачественной олифы, лаков и красок. Из семян льна получают жмых, который является ценным кормом для животных, так как содержит до 9% жира и 34% сырого протеина.

Наиболее благоприятными для выращивания льна почвами являются дерново-подзолистые легкосуглинистые непереизвесткованные. Избыток кальция снижает качество льна. Тяжелосуглинистые, избыточно увлажненные, пес-

чаные, а также осушенные торфяные почвы менее пригодны для прядильного льна из-за плохого качества льноволокна. Недостаток азота снижает содержание и качество волокна, а его избыток приводит к полеганию льна и резкому снижению его качества. Обычно доза азота под лен в зависимости от плодородия почвы и предшественника составляет 20-45 кг/га. Фосфорные удобрения способствуют повышению качества льна, но главная роль в его улучшении принадлежит калийным удобрениям. Применение хлорсодержащих калийных удобрений снижает качество льна. Оптимальным соотношением элементов питания N : P : K для получения урожая хорошего качества является 1 : 2 : 3. Из микроудобрений наиболее эффективны борные, особенно на переизвесткованных почвах.

**Подсолнечник.** Ядро подсолнечника содержит в среднем на сухую массу: жира 56%, белка 26, клетчатки 6, других углеводов 6, зольных веществ 3,8%. Подсолнечное масло является основным растительным маслом в России. В его состав входят следующие жирные кислоты: пальмитиновая – 3-6%, стеариновая – 2-5, олеиновая – 25-35, линолевая – 50-70%. Высокое содержание незаменимой для организма человека линолевой кислоты, а также наличие физиологически активных веществ – фосфатидов и витаминов А, D, Е определяют его высокие пищевые качества. По содержанию линолевой кислоты подсолнечное масло намного превосходит оливковое.

Урожайность семян подсолнечника, содержание в них жира зависят от почвенно-климатических условий и агротехники. Азотные удобрения (N<sub>60-80</sub>), увеличивая урожайность подсолнечника, снижают содержание в нем жира, а также линолевой кислоты, что ухудшает качество масла. Это связано с физиологической ролью азота в жизни растений. Азот способствует усилению биосинтеза белка, а подсолнечник относится к растениям углеводного ти-

па обмена веществ, поэтому применение азота приводит к снижению содержания жира.

Фосфорные удобрения способствуют повышению урожайности и увеличению масличности семян.

Подсолнечник относится к калиелюбивым культурам и по выносу калия превосходит большинство сельскохозяйственных культур. Калийные и микроудобрения (В, Мп, Сu, Zn) увеличивают масличность семян.

**Овощные культуры.** При оценке качества овощных культур большое значение имеют их товарные свойства (цвет, форма, плотность, вкус, стандартность), а также биохимические показатели (содержание витаминов, сухое вещество, ферменты, сахара, минеральные соли, азотистые соединения и т.д.). Высокое содержание в овощных культурах витаминов С, В<sub>1</sub> В<sub>2</sub>, РР, каротина, микроэлементов и минеральных веществ делает их незаменимыми для питания человека. Наибольшим содержанием аскорбиновой кислоты характеризуются салат, петрушка, цветная и белокочанная капуста. Некоторое влияние на содержание витамина С оказывают минеральные удобрения.

К качеству овощной продукции относятся также способность к продолжительному хранению и устойчивость к различным заболеваниям. Минеральные удобрения наряду с химическими свойствами почвы, обеспеченностью ее элементами питания и водой оказывают значительное влияние на качество овощной продукции.

Повышение доз азота под капусту в полном минеральном удобрении увеличивает ее белковость и выход белка с урожаем. Однако чрезмерное, особенно одностороннее, увеличение доз азота – более 300 кг/га, по данным НИИОХ, приводит к накоплению нитратов в урожае капусты и других овощных культур. Нитраты в овощных культурах могут содержаться в больших количествах не только при избыточном азотном питании, но и при несбалансиро-

ванном удобрении. Недостаток калия или фосфора также приводит к чрезмерному накоплению нитратов.

Так, недостаток калия в удобрении капусты больше способствовал накоплению нитратов в ней, чем дозы полного удобрения, увеличенного в 2-3 раза. Высокий уровень калийного питания повышает содержание сахаров в капусте, улучшает ее вкусовые качества и лежкость при хранении. Повышенный азотный фон наряду с высоким накоплением нитратов усиливает поражаемость капусты точечным некрозом, уменьшает плотность кочанов и увеличивает потери при хранении.

Морковь и столовая свекла одинаково реагируют на применение удобрений. На синтез каротина в моркови и бетанина в свекле положительное влияние оказывают умеренные дозы азотных удобрений ( $N_{90-110}$ ). Наиболее благоприятное для них соотношение  $N : P : K = 1 : 1 : 1,7$ . Удобрение этих культур свежим навозом вызывает ветвление корнеплодов. При этом ухудшаются товарность продукции и ее лежкость при хранении. Завышение доз азота и недостаток фосфора в полном удобрении способствуют накоплению значительных количеств нитратов в корнеплодах. Морковь и столовую свеклу лучше возделывать при умеренных дозах азота и усиленном калийном питании.

Практически все овощные культуры обладают характерной особенностью накапливать в товарной продукции значительное количество нитратов без всякого вреда для себя. Это является спецификой их природы. По содержанию нитратов в растениях можно судить об обеспеченности их азотом. На этом основана диагностика азотного питания. Накопление нитратов различными сельскохозяйственными культурами носит наследственно закрепленный характер и является одним из показателей качества.

Накопление нитратов свыше определенных предельно допустимых концентраций (ПДК) в сельскохозяйственной

продукции может негативно отразиться на здоровье человека и животных. ПДК нитратов в растениеводческой продукции имеет региональный характер и существует в пределах конкретного региона, что объясняется неодинаковым количеством ее потребления. Продукция, содержание нитратов в которой превышает ПДК, непригодна в пищу.

В организме человека и животных нитраты, попадая в кровь, переводят двухвалентное железо гемоглобина в трехвалентное. Образующийся при этом метгемоглобин красных кровяных телец теряет способность переносить кислород от легких к тканям. Кроме того, нитраты в организме человека и животных могут превращаться в нитриты. В результате этого возможно образование нитрозосоединений, снижающих устойчивость организма к воздействию канцерогенных и мутагенных факторов.

Доступное безопасное поступление нитратов в организм человека составляет 5 мг на 1 кг массы тела в сутки. Суточная доза нитритов ( $\text{NO}_2$ ) для человека не должна превышать 9 мг/сут.

В различных странах имеются свои ПДК содержания нитратов. Они могут корректироваться органами здравоохранения в зависимости от различных региональных условий поступления нитратов в организм человека с пищей и питьевой водой. Ниже приводятся допустимые уровни (ПДК) содержания нитратов (мг/кг сырой массы) для растительной продукции открытого грунта России: картофель – 250, капуста белокочанная поздняя – 500, ранняя – 900, морковь поздняя – 250, ранняя – 400, свекла столовая – 1400, томат – 150, огурец – 150, листовые овощные культуры (салат, шпинат, сельдерей и т. д.) – 2000, перец сладкий – 200, кабачок – 400, яблоки – 60, груши – 60, овощи консервированные – 50. ПДК для растительных продуктов защищенного грунта значительно выше и составляют (мг/кг): для томата 300, огурца 400, лука на перо

800, зеленных 2000, перца сладкого 400, кабачка 400.

Особую опасность для людей и животных представляет накопление в продукции тяжелых металлов – Pb, Hg, Cd, которые в значительных количествах содержатся в городском мусоре, используемом для набивки парников в качестве биотоплива, городских сточных водах и некоторых отходах химической промышленности, а также искусственных радионуклидов – Sr, Cs, которые появились во внешней среде в результате испытания ядерного оружия и аварий на ядерных реакторах. Таким образом, использование научно обоснованных доз удобрений в правильно выбранном соотношении между макро- и микроэлементами с учетом их содержания в почве и требований растений не только повышает урожайность, но и улучшает качество растениеводческой продукции.

## **6.2. Удобрение и среда обитания**

Неправильное применение химических мелиорантов, удобрений и пестицидов нарушает экологическое равновесие природных систем, что приводит к нежелательным изменениям в окружающей среде. Окружающая среда считается загрязненной, если в результате деятельности человека она становится менее благоприятной по сравнению с ее естественным состоянием или существование в ней угрожает здоровью человека и животных. Далее рассматривается роль химических мелиорантов и удобрений как источников воздействия на окружающую среду.

Известкование почвы благоприятно изменяет ее кислотно-щелочные свойства, активизирует почвообразовательные процессы, жизнь почвенной биоты и растений. Уровень реакции ( $pH_{КС1}$  5,5-6,0) улучшает экологическое состояние почвы за счет изменения ее микробного ценоза, резкого снижения подвижности и, как следствие, токсич-

ности алюминия, марганца и железа. Если в кислых почвах преобладает грибная микрофлора, то в известкованных увеличивается число бактерий и актиномицетов.

В известкованных почвах увеличивается количество микроорганизмов, использующих органический и минеральный азот почвы, а также аммонификаторов. В известкованных почвах увеличивается минерализация органического вещества почвы и возрастает интенсивность кругооборота азота. Однако вымывание нитратов за пределы пахотного слоя может происходить только при избыточном обеспечении растений азотом. При умеренной и низкой обеспеченности увеличения нитратов в почве не наблюдается из-за лучшего использования азота растениями.

Исследованиями СЗНИИСХ с  $^{15}\text{N}$  установлено, что на известкованных дерново-подзолистых почвах коэффициент использования азота из минеральных удобрений увеличивается в 1,4-2 раза. При известковании уменьшается количество фосфатов, связанных с железом, и увеличивается группа фосфатов кальция. Это приводит к лучшему использованию фосфора почвы и фосфора удобрений растениями. Так, на сильнокислых почвах коэффициент использования фосфора удобрений не превышает 5%, тогда как на известкованных он достигает 20% и более.

Экологическая роль известкования заключается в уменьшении подвижности токсичных соединений железа, марганца, алюминия, солей тяжелых металлов (Cd, Pb, Ni), а также радионуклидов ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), что особенно важно для почв, подвергшихся загрязнению тяжелыми металлами и радионуклидами. Некоторые известковые материалы содержат тяжелые металлы и другие токсиканты, поэтому на их применение вводят ограничения по группам материалов:

- 1 – известковые материалы, применение которых разрешено без ограничений (известковая мука, мел, дефекал);
- 2 – известковые материалы, применение которых раз-

решено один раз в 5 лет в дозе не более 7 т/га (феррохромовые шлаки, отходный мел, угольная зола);

3 – известковые материалы, применение которых разрешено один раз в 10 лет в дозе не более 7 т/га с обязательным контролем изменения фонового содержания потенциально опасных элементов в почве;

4 – запрещено применение при известковании кормовых угодий.

Особую опасность для окружающей среды представляет применение непроверенных нетрадиционных химических мелиорантов (конверсионный мел, содержащий  $^{90}\text{Sr}$ , и др.).

Известкование не приводит к увеличению непродуцируемых потерь фосфора и калия из почвы. Однако потери Ca и Mg на известкованных почвах достигают больших величин. Количество вымываемого Ca и Mg из профиля зависит от уровня применения минеральных удобрений и их химического состава.

Исследования показывают, что потери Ca и Mg могут быть значительно уменьшены за счет применения новых экологически безопасных удобрений, полученных на основе фосфатов аммония, калия и др.

Органические удобрения способствуют уменьшению дегумификации почвы, а в сочетании с посевом многолетних трав – созданию бездефицитного баланса гумуса в почве. Количество гумуса в почве является интегральным показателем ее плодородия и устойчивого функционирования агроэкосистемы. Рациональное применение хорошо подготовленных твердых органических удобрений (подстилочный навоз, торфонавозные компосты, а также зеленое удобрение) не приводит к значительному загрязнению почвы, воды и воздуха. Главными источниками загрязнения являются удобрения из хозяйственно-бытовых и промышленных отходов (коммунальные стоки, осадки сточных вод, твердые бытовые отходы по переработке город-

ского мусора и стоки животноводческих комплексов). Многие из этих отходов содержат патогенные микроорганизмы и соли тяжелых металлов. Если на мелких животноводческих фермах утилизация навоза достигает 70%, то на крупных животноводческих комплексах – всего лишь 40%. Один свиноводческий комплекс на 108 тыс. голов дает ежегодный сток, по содержанию биогенных веществ соответствующий городу в 350 тыс. человек. Более 60% стоков от комплексов попадает в гидросферу.

Азотным удобрениям принадлежит ведущая роль в повышении урожайности. Оставляя в почве большое количество корневых остатков, они способствуют обогащению почвы органическим веществом, разрыхлению и улучшению ее водно-физических свойств. Исследованиями с  $^{15}\text{N}$  установлено, что коэффициент использования азота из минеральных удобрений в полевых условиях не превышает 40%. Последствие азотных удобрений незначительно (2-3%). Не усвоенный растениями азот в год внесения удобрения частично иммобилизуется почвенными микроорганизмами, входит в состав гумусовых веществ. Значительная часть его (20%) теряется из почвы в виде газообразных потерь ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}$ ) в результате процесса денитрификации.

В условиях гумидного климата или при орошаемом земледелии нитратная форма азота может вымываться в дренажные и грунтовые воды и попадать в водоисточники, вызывая их эвтрофикацию. Потери азота при внесении умеренных доз удобрений на суглинистых почвах, как правило, невелики и составляют около 3-4 кг/га. Применение азотных удобрений в больших дозах, превышающих биологические потребности культур, приводит к увеличению потерь, связанных с вымыванием. Вымывание достигает максимума на почвах легкого гранулометрического состава, при паровании полей, возделывании пропашных культур и минимально на полях, занятых многолетними

травами. Его размеры зависят также от количества осадков, выпадающих за теплый период года.

Рабочей группой по охране окружающей среды Европейского сообщества разработана директива, предусматривающая введение ограничений на сельскохозяйственную деятельность в зонах, наиболее подверженных нитратному загрязнению. В этих зонах установлены максимально допустимые дозы внесения азотных удобрений, ограничивающие их применение в полевых севооборотах: на почвах легкого гранулометрического состава в зависимости от сельскохозяйственной культуры – от 80 до 120 кг/га азота, на почвах тяжелого гранулометрического состава – от 90 до 150, на пастбищах – от 160 до 200 кг/га. Для предотвращения эвтрофикации водоемов необходимо строго соблюдать водоохранную зону, где применение азотных удобрений должно быть исключено. По данным ФАО, ПДК азота в питьевой воде составляет 22 мг/л.

Фосфор минеральных удобрений, заделанный в почву, практически не передвигается в ней и прочно закрепляется почвенными коллоидами за счет химического или обменного поглощения. Опытами с  $^{32}\text{P}$  показано, что при заделке фосфора в суглинистую почву максимальное его передвижение в глубь почвенного профиля не превышает 3-5 см. Вынос фосфора с инфильтрующимися водами незначителен и составляет от 0,05 до 0,3 кг/га в дерново-подзолистых супесчаных почвах и от 0,05 до 0,07 кг/га в глинистых. Даже при поверхностном внесении удобрения вымывание фосфора незначительно и не превышает 1 % внесенной дозы. Однако значительная часть фосфора все же попадает в водоемы с твердыми почвенными частицами в процессе эрозии почв, вызывая еще более усиленную эвтрофикацию водоемов, чем азот.

ПДК фосфора в воде составляет 10 мг/л. Главная ответственность за загрязнение водоемов фосфором лежит не

на фосфорных удобрениях, а на промышленных, бытовых стоках и стоках животноводческих комплексов, в которых фосфор мигрирует в форме фосфорорганических соединений. Предметы бытовой химии (моющие средства) содержат до 10%  $P_2O_5$  в водорастворимой форме.

На зафосфаченных почвах наблюдаются снижение доступности микроэлементов растениям и загрязнение их фтором, стронцием и естественными радионуклидами: ураном, торием, радием. По данным Ю.В. Алексева, 1 ц суперфосфата из апатитов содержит 20-70 г кадмия, 0,12 г урана, 3,2 г тория; из фосфорита Каратау – 0,44 г урана, 2,5 г тория; из фосфоритов Кингисеппа – 3,5 г урана, 1,45 г тория. С 1 ц суперфосфата в почву вносится от 0,5 до 3,3 кг стронция. Эти элементы являются сопутствующими фосфорным рудам.

Длительные полевые опыты, проведенные ВИУА, свидетельствуют о том, что применение стандартных минеральных удобрений не способствует существенному загрязнению почв тяжелыми металлами. Сам же фосфат-ион, аккумулированный растением, нетоксичен для человека и животных.

Калий удобрений сильно поглощается коллоидами суглинистых почв и не оказывают вредного влияния на окружающую среду; он вымывается только из грубопесчаных и торфяных почв. Калий не вызывает эвтрофикации водоемов. Однако практически все калийные удобрения, применяемые в России, являются хлорсодержащими, а присутствие большого количества хлора в почве нежелательно из-за возможного образования хлорорганических соединений. При осеннем внесении калийных удобрений в гумидных районах хлор вымывается из почвы.

Подводя итоги, следует отметить, что удобрениям принадлежит не только главная роль в увеличении урожайности и повышении плодородия почв, но и важная эко-

логическая функция, связанная с устойчивостью высокопродуктивных агроэкосистем. Правильное научно обоснованное применение удобрений улучшает качество растениеводческой продукции и не сопровождается сколько-нибудь значительным загрязнением окружающей среды остатками агрохимикатов.

### ***Контрольные вопросы***

1. Каковы главные показатели качества пшеницы?
2. Назовите требования, предъявляемые к качеству зерна ячменя в зависимости от способа его использования.
3. Перечислите главные показатели качества зерна бобовых культур.
4. Каковы требования к качеству картофеля в зависимости от способа его использования?
5. Назовите основные показатели качества сахарной свеклы.
6. Каковы главные показатели качества льна-долгунца?
7. Каковы основные показатели качества овощных культур?
8. Каково влияние удобрений на качество зерновых культур?
9. Каково влияние удобрений на качество зернобобовых культур?
10. Каково влияние удобрений на качество картофеля?
11. Каково влияние удобрений на качество сахарной свеклы?
12. Каково влияние удобрений на качество льна-долгунца?
13. Каково влияние удобрений на качество овощных культур?
14. Какова роль удобрений в накоплении нитратов овощными культурами?

15. В чем заключается опасность для человека и животных высокого содержания нитратов в продукции?

16. В чем заключается экологическая роль известкования кислых почв?

17. В чем заключается экологическая роль органических удобрений?

18. В чем заключается экологическая роль азотных удобрений?

19. В чем заключается экологическая роль фосфорных удобрений?

20. В чем заключается экологическая роль калийных удобрений?

## Литература

1. Агрономическая химия: учебное пособие / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, О.В. Мельникова, Г.П. Малявко, Д.Г. Кротов. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2015. 139 с.
2. Бабкин В.В. Агрохимический бизнес России: справочное пособие. М., 2003. 444 с.
3. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия: учеб. для вузов. М.: Мир, 2003. 584 с.
4. Духанин Ю.А. Агрохимия, биология и экология песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почв / под ред. В.Г. Минеева. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.
5. Агрохимия: классический университетский учебник для стран СНГ / В.Г. Минеев, В.Г. Сычѳв, Г.П. Гамзиков, А.Х. Шеуджен, Е.В. Агафонов, Н.М. Белоус и др.; под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
6. Воропаев В.Н. Агроэкологическое обоснование применения удобрений в земледелии. М.: ЦИНАО, 2003. 232 с.
7. Белоус Н.М., Воробьева Л.А., Белоус И.Н. Оптимальные параметры плодородия почвы для производства нормативно чистой сельскохозяйственной продукции на территориях загрязненных радионуклидами: монография. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2012. 92 с.
8. Белоус Н.М., Драганская М.Г., Бельченко С.А. Системы удобрений и реабилитация песчаных почв: монография. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2010. 224 с.
9. Белоус Н.М., Малявко Г.П., Шаповалов В.Ф. Справочник агрохимика. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2012. 50 с.
10. Зернобобовые культуры и однолетние бобовые травы: биология и технология возделывания: монография / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, И.Я. Моисеенко, О.В. Мельникова. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2010. 151 с.
11. Минеев В.Г., Лебедева Л.А. История агрохимии

и методологии агрохимических исследований: учеб. пособие для вузов. М.: МГУ, 2003. 328 с.

12. История развития агрохимических исследований в ВИУА. К 70-летию Всероссийского научно-исследовательского института удобрений и агропочвоведения им. Д. Н. Прянишникова. М.: Агроконсалт, 2001. 400 с.

13. Картофель: биология и технологии возделывания: монография / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, М.В. Котиков, А.В. Богомаз, О.А. Богомаз. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2010. 111 с.

14. Крупяные культуры: биология и технологии возделывания: монография / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, О.В. Мельникова, М.И. Никифоров, А.С. Юдин. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2010. 73 с.

15. Кукуруза и сорго: биология и технологии возделывания: монография / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, А.В. Дронов, В.В. Дьяченко. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2010. 128 с.

16. Малякко Г.П., Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф. Агрохимическое обоснование технологий возделывания озимой ржи на юго-западе России: монография. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2010. 247 с.

17. Методические рекомендации по производству биологически безопасной продукции овощеводства и цветочной продукции в условиях защищенного грунта / В.Е. Ториков, Н.М. Белоус, С.М. Сычев, И.В. Сычева, О.В. Мельникова, В.М. Рыченкова, А.А. Осипов. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2017. 118 с.

18. Многолетние бобовые и злаковые травы: биология и технологии возделывания: монография / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, И.Я. Моисеенко, О.В. Мельникова. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2010. 149 с.

19. Озимые зерновые культуры: биология и технологии возделывания: монография / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, Н.С. Шпилёв, О.В. Мельникова, Г.П. Малякко, М.П. Наумова, О.М. Нестеренко, О.М. Михайлов. Брянск: Изд-

во Брянская ГСХА, 2010. 138 с.

20. Производство биологически безопасной продукции растениеводства: метод. пособие / В.Е. Ториков, Н.М. Белоус, О.В. Мельникова, Г.П. Малявко, С.А. Бельченко. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2016. 76 с.

21. Эффективность отдельных видов минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры для почв Российской Федерации: нормативы. М.: Росинформагротех, 2003. 388 с.

22. Эффективность технологий возделывания сельскохозяйственных культур в севооборотах юго-запада Нечерноземной зоны России: монография / Н.М. Белоус, М.Г. Драганская, И.Н. Белоус, С.А. Бельченко. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2012. 241 с.

23. Яговенко Г.Л., Белоус Н.М., Яговенко Л.Л. Люпин в земледелии центрально региона России: влияние на агрохимические свойства серой лесной почвы и продуктивность севооборотов: монография. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2011. 182 с.

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	3
<b>Раздел 1</b>	
<b>Основные способы внесения удобрения</b> .....	12
1.1. Допосевное (основное) внесение удобрения.....	12
1.2. Припосевное внесение удобрения.....	16
1.3. Послепосевное внесение удобрения (подкормка)..	19
1.4. Запасное внесение удобрения.....	21
1.5. Сочетание разных способов внесения удобрения..	22
Контрольные вопросы.....	24
<b>Раздел 2</b>	
<b>Условия эффективного применения удобрения</b> .....	25
2.1. Почвенные условия.....	25
2.2. Климатические условия.....	29
2.3. Агротехнические условия.....	31
2.4. Организационно-экономические условия.....	38
Контрольные вопросы.....	40
<b>Раздел 3</b>	
<b>Проектирование системы удобрения</b> .....	41
Контрольные вопросы.....	44
<b>Раздел 4</b>	
<b>Системы удобрения в различных почвенно-климатических зонах</b> .....	45
4.1. Особенности применения удобрения в Нечерноземной зоне.....	46
4.2. Особенности применения удобрения в Центрально-Черноземной зоне.....	59
4.3. Особенности применения удобрения в Поволжье..	65
4.4. Особенности применения удобрения в Западной Сибири.....	73
4.5. Особенности применения удобрения в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке.....	74
Контрольные вопросы.....	77

<b>Раздел 5</b>	
<b>Эффективность применения удобрений.....</b>	<b>79</b>
5.1. Основные показатели эффективности применения удобрений.....	79
5.2. Экономическая эффективность удобрений отдельных культур.....	82
5.3. Экономическая эффективность систем удобрения по севообороту и хозяйству .....	84
5.4. Экономическая эффективность известкования.....	86
Контрольные вопросы.....	87
<b>Раздел 6</b>	
<b>Действие удобрений на качество продукции растениеводства и окружающую среду.....</b>	<b>88</b>
6.1. Удобрения и качество продукции.....	88
6.2. Удобрение и среда обитания.....	103
Контрольные вопросы.....	109
Литература.....	111

Учебное издание

Смольский Евгений Владимирович

# СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В АГРОЛАНДШАФТАХ

Учебное пособие для студентов  
обучающихся по направлению подготовки  
35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение

Редактор Лебедева Е.М.

---

Подписано к печати 31.10.2019 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Усл. п. л. 6,74. Тираж 50 экз. Изд. № 6514.

---

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