

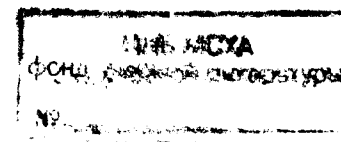


УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ  
СРЕДНИХ СПЕЦИАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Э. А. МУРАВИН

# АГРОХИМИЯ

Рекомендовано Министерством сельского хозяйства  
Российской Федерации в качестве учебника для сту-  
дентов средних специальных учебных заведений по  
агрономическим специальностям



МОСКВА «КолосС» 2003

УДК 631.8(075.8)  
ББК 40.4я73  
М30

Редактор *А. С. Максимова*

Рецензент — доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
академик РАСХН *Г. П. Тамзиков* (Новосибирский ГАУ)

**Муравин Э. А.**

М30 **Агрохимия.** — М.: КолосС, 2003. — 384 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов средн. учеб. заведений).  
ISBN 5—9532—0036—6

Изложены основы питания растений, агрохимические свойства почвы и показатели ее плодородия, методы химической мелиорации почв. Рассмотрены минеральные и органические удобрения, их транспортировка, хранение и внесение, а также агроэкологические требования, предъявляемые к их использованию. Приведены методы агрохимических исследований и система удобрения.

Для студентов средних специальных учебных заведений по агрономическим специальностям.

УДК 631.8(075.8)  
ББК 40.4я73

ISBN 5—9532—0036—6

© Издательство «КолосС», 2003

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие сельского хозяйства, повышение его продуктивности неразрывно связаны с интенсификацией отрасли, ростом эффективности производства. Один из важнейших факторов интенсификации — применение удобрений и других средств химизации земледелия.

При внесении удобрений не только сохраняется плодородие почв, но и осуществляется расширенное его воспроизводство. Правильное использование удобрений должно быть экономически выгодным, обеспечивать получение большего количества качественной продукции при относительно меньших дополнительных затратах средств производства и труда в сельском хозяйстве, т. е. снижать себестоимость и увеличивать производительность труда при обязательном условии экологической безопасности. Так, мировой и отечественный опыт развития сельского хозяйства свидетельствуют о том, что научно обоснованное применение минеральных удобрений — основной путь увеличения урожайности и валовых сборов возделываемых культур, создания прочной кормовой базы для животноводства, сохранения и повышения почвенного плодородия. Развитые страны Западной Европы благодаря интенсивному применению минеральных удобрений в течение более 150 лет в сочетании с высоким уровнем культуры земледелия превратились в экспортеров сельскохозяйственной продукции.

Эффективность «зеленой революции» в 60-е годы XX в. в развивающихся странах была обусловлена сочетанием рационального применения орошения земель, химизации и механизации, а также внедрением новых высокоурожайных сортов зерновых культур (пшеница, рис) с целью резкого увеличения продовольственных ресурсов. В нашей стране за счет применения минеральных удобрений в 80—90-е годы было получено более половины всего прироста урожайности сельскохозяйственных культур. Поставка минеральных удобрений сельскому хозяйству России в 1985—1990 гг. в количестве 12,8 млн т действующего вещества (около 100 кг/га пашни) обеспечивала ежегодный прирост продукции, для получения которого без химизации потребовалось бы расширение посевов на 12—15 млн га.

Использование минеральных удобрений позволило значитель-

но повысить урожайность зерновых и важнейших технических культур, ослабить влияние неблагоприятных погодных условий. Среднегодовое производство зерна превысило 100 млн т при окупаемости каждого килограмма д.в. удобрений 3,5—4 кг зерна. Каждый рубль затрат на применение минеральных удобрений в сельском хозяйстве окупался в 2,3 раза.

В последнее десятилетие применение минеральных удобрений в России упало до уровня 1965 г. (8—12 кг/га), резко сократились внесение органических удобрений (до уровня 1966—1970 гг. — 210 млн т) и масштабы известкования кислых почв. Снижение урожайности зерновых культур и валовых сборов зерна (до 66 млн т в 1996—2000 гг.), общей продуктивности пашни явилось следствием прежде всего лишения сельского хозяйства государственной поддержки, отсутствия у производителей из-за диспаритета цен оборотных средств и доступных кредитов. По экспертным оценкам, снижение продуктивности земледелия произошло в равной степени по социально-экономическим причинам и в результате уменьшения применения удобрений.

В современных условиях особо остро стоит вопрос о наиболее эффективном, экономически выгодном и ресурсосберегающем применении достаточно ограниченных количеств органических и минеральных удобрений. В обозримом будущем широкому применению минеральных удобрений для интенсификации сельскохозяйственного производства альтернативы нет. Минеральные удобрения — важная составная часть современных адаптивно-ландшафтных систем земледелия, определяющая их интенсивность. Разработка системы удобрения должна осуществляться также с учетом требований технического обеспечения и экологических ограничений, производственно-ресурсного потенциала товаропроизводителя и уровня его квалификации.

Вспомним высказывание основоположника отечественной научной школы агрохимии академика Д. Н. Прянишникова о том, что никакой избыток удобрений не может заменить недостаток агрохимических знаний у работников сельского хозяйства. Первоочередную роль в применении удобрений, интенсификации сельского хозяйства играют агрономические кадры среднего звена — непосредственные организаторы производства. Они должны четко представлять функции и возможности агрохимической службы, творчески внедрять достижения научно-технического прогресса в области химизации земледелия.

Перед агрохимической службой стоят ответственные задачи, от ее деятельности зависят практическое осуществление программ по повышению плодородия почв и продуктивности земледелия, обеспечение рационального и экологически безопасного применения удобрений и других средств химизации при возделывании сельскохозяйственных культур по современным технологиям, проведение природоохранных мероприятий.

## 1.1. ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ АГРОХИМИИ

Агрохимия изучает круговорот питательных веществ в земледелии и питание растений, а также способы их регулирования для повышения урожая и улучшения его качества путем рационального и экологически безопасного применения удобрений.

Внесение минеральных удобрений позволяет вводить в круговорот веществ в земледелии новые количества элементов питания растений, а внесение навоза и других отходов животноводства и растениеводства — повторно использовать часть питательных веществ, уже входивших в состав предыдущих урожаев (рис. 1). Применение удобрений дает возможность восполнять вынос урожая питательных веществ и непроизводительные потери их из почвы (вследствие ветровой и водной эрозии, выщелачивания, улетучивания в атмосферу и т.д.) и, таким образом, не только поддерживать, но и повышать плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур без ущерба для окружающей среды и здоровья людей.

Главная цель применения удобрений — повышение урожая и качества за счет улучшения питания растений. Изучение питания сельскохозяйственных растений всегда было одной из важнейших задач агрохимии. Она исследует также обмен веществ в растениях в связи с условиями питания, которые определяют не только величину, но и качество урожая. Изучение этих вопросов связывает агрохимию с физиологией и биохимией растений. В задачи агрохимии входят, кроме того, изучение и разработка наиболее эффективных приемов оптимизации питания и обмена веществ в растениях с помощью удобрений.

Первый объект исследования в агрохимии — *растение*. При изучении питания растений и разработке способов его регулирования с помощью удобрений необходимо учитывать также особенности биологии и технологии возделывания отдельных культур. Всегда прослеживается связь агрохимии с растениеводством.

Второй объект исследования агрохимии — *почва*. Изучение содержания и динамики питательных веществ в почве, их доступности растениям, разнообразных процессов превращений удобрений, их действия на свойства и плодородия почвы — важный раз-

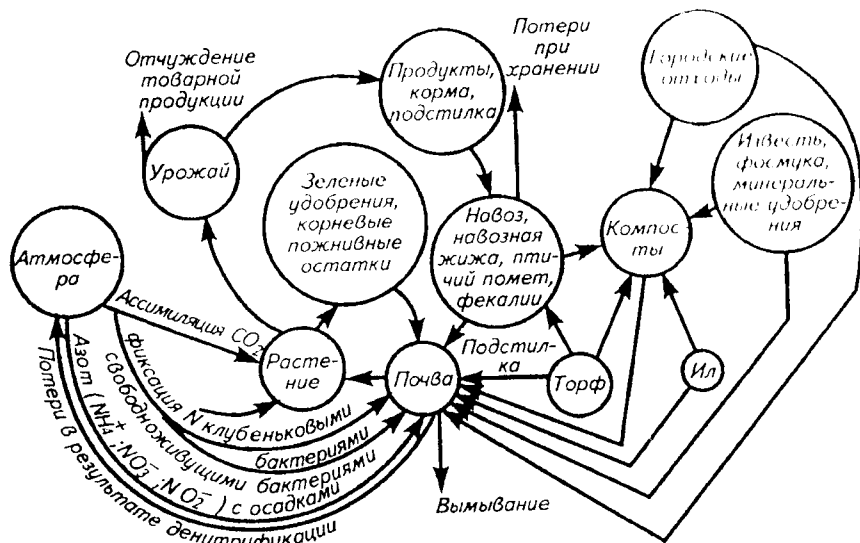


Рис. 1. Круговорот веществ в земледелии

дел агрохимии. По этому направлению агрохимия связана с почвоведением и почвенной микробиологией, земледелием.

И наконец, третий объект агрохимии — *удобрения и средства химической мелиорации почв*; изучая их состав, свойства и эффективность, агрохимия связана не только с сельскохозяйственным производством, но и с химической промышленностью, ибо обоснование потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях и оптимального их ассортимента, а также оценка новых видов и форм выпускаемых удобрений входят в задачу агрохимии.

Три основных объекта, изучаемые агрохимией, — растение, почва и удобрения — находятся в тесной взаимосвязи и взаимодействии.

Д. Н. Прянишников отмечал, что изучение взаимоотношений между растением, почвой и удобрением всегда было главной задачей агрохимиков, причем только агрохимия в целях регулирования питания растений внесением соответствующих удобрений для повышения плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур занимается синтезом знаний по трем перечисленным объектам. В этом состоит ее отличие от других смежных наук. Диалектическую систему связей, которые изучает агрохимия, Д. Н. Прянишников изобразил в виде треугольника, три вершины которого обозначают растение, почву и удобрение, а двойные

стрелки — взаимное влияние каждого из этих объектов на остальные (рис. 2).

Изучение питания растений и взаимодействия между растением, почвой и удобрением составляет теоретические основы агрохимии. Знание их позволяет творчески решать многие практические задачи применения удобрений. Это вопросы о наиболее эффективных формах, дозах и соотношениях удобрений, рациональных сроках и способах их внесения под различные культуры на разных почвах, о правильном сочетании внесения удобрений с системой обработки почвы, севооборотом, орошением и другими агротехническими приемами.

Агрохимия тесно связана с общим земледелием и мелиорацией, с экономикой и организацией сельскохозяйственного производства, так как любые приемы использования удобрений обусловлены агротехникой и должны оцениваться с точки зрения их экономической эффективности. Применение удобрений и химических мелиорантов почвы должно быть экологически безопасным и, более того, являться важным элементом природоохранных мероприятий против загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами.

Агрохимия тесно взаимодействует с агроэкологией в достижении общих целей — обеспечении устойчивого производства качественной сельскохозяйственной продукции, рационального использования природного биоэнергетического потенциала агроэкосистем, сохранения и воспроизводства основного природного ресурса аграрного сектора — почвенного плодородия, исключения или минимизации негативного воздействия на окружающую среду. С этих позиций агроном с высоким уровнем агрохимической подготовки является важнейшим участником решения всего комплекса экологических проблем, возникающих при использовании органических, минеральных удобрений и химических мелиорантов почв, других средств химизации сельского хозяйства.

Методы агрохимических исследований могут быть разделены на две группы: биологические и лабораторные, используемые совместно и взаимно дополняющие друг друга.

**Биологические методы.** Включают полевой опыт, вегетационный и лизиметрический методы.

**Полевой опыт.** Это метод исследования, проводимого в природной (полевой) обстановке на специально выделенном участке для определения воздействия условий или приемов возделывания (отдельно взятых или в сочетании).

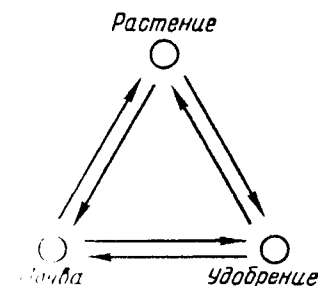


Рис. 2. Схема взаимодействия объектов, изучаемых агрохимией (треугольник Д. Н. Прянишникова)



нии) на урожай сельскохозяйственных растений. В полевых опытах с удобрениями определяют действие удобрения на величину урожая и его качество, а также на плодородие почвы. Полевой опыт — основной метод изучения эффективности удобрений (отдельных их видов и сочетаний, форм, доз и т. д.) в различных почвенно-климатических условиях в зависимости от агротехнических и других факторов.

*Стационарные опыты* проводят на специально приспособленных постоянных участках. Эти опыты, как правило, сопровождаются дополнительными наблюдениями и лабораторными исследованиями для объяснения выявленных различий в действии удобрений и других факторов. В стационарных опытах изучают систематическое внесение удобрений в севообороте в течение ряда лет. Чаще всего такие опыты бывают многолетними. Результаты стационарных опытов служат надежной основой для разработки рекомендаций по применению удобрений в зоне их проведения.

*Производственные опыты*, закладываемые непосредственно в хозяйствах, позволяют установить действие удобрений на урожай и его качество в производственных условиях. Они служат для проверки и уточнения результатов, полученных в стационарных опытах, применительно к конкретным условиям хозяйства и используются для определения не только агрономической, но и экономической эффективности удобрений. Такие опыты в широких масштабах проводят агрохимические центры и станции химизации в хозяйствах, имеющих типичные в пределах зоны обслуживания природные и организационно-экономические условия.

**Вегетационный метод.** Позволяет выделить и исследовать воздействие отдельных факторов на рост, развитие, обмен веществ, питание и урожай растений. В вегетационных опытах растения выращивают в специальных стеклянных вегетационных домиках или под сеткой на искусственных средах в сосудах с водой, песком или почвой. Вегетационные опыты дают возможность строго контролировать и регулировать условия питания растений и в определенной мере условия внешней среды — режим увлажнения, освещенности, температуры и т. д.

**Лизиметрический метод.** Позволяет в природных условиях с помощью специальных устройств — лизиметров — изучать передвижение и просачивание воды сквозь слой почвы. В агрохимических исследованиях лизиметрический метод используют для изучения водного режима в опытах с удобрениями, размеров выщелачивания минеральных солей из почвы и удобрений, количественной оценки баланса питательных веществ в почве — сопоставления их поступления с выносом растениями и потерями.

**Лабораторные методы агрохимического анализа растений, почв и удобрений.** Включают химические, биохимические и микробиологические методы, а также метод изотопных индикаторов (стабиль-

ные и радиоактивные изотопы). Ведущая роль среди лабораторных методов принадлежит химическому анализу агрономических объектов.

*Агрохимический анализ растений* проводят в целях:

- оценки качества урожая сельскохозяйственных культур, сертификации продукции растениеводства и кормов;

- оценки изменений химического состава, питательной, кормовой и технологической ценности растениеводческой продукции в зависимости от условий выращивания, в том числе применения удобрений;

- определения размеров выноса элементов питания с урожаем и динамики их потребления в течение вегетации;

- диагностики питания растений и определения потребности в удобрениях;

- изучения использования культурами питательных элементов из удобрений.

*Агрохимический анализ почв* позволяет:

- оценить обеспеченность растений элементами питания и, следовательно, потребность в удобрениях;

- осуществить мониторинг плодородия и сертификацию почв земельных участков и грунтов;

- изучить свойства почв, которые определяют принципиальные положения применения удобрений и проведения химической мелиорации, такие, как поглотительная способность, реакция почвенной среды и буферность (т. е. способность противостоять изменению реакции), засоленность и т. д.;

- выявлять изменения содержания питательных веществ в почве и их доступности растениям в зависимости от приемов возделывания и применения удобрений;

- изучать взаимодействие удобрений с почвой.

*Агрохимический анализ удобрений* дает возможность:

- оценить качество местных органических удобрений и его изменение в зависимости от условий накопления, хранения и применения;

- определить содержание действующего вещества в минеральных удобрениях и мелиорирующих материалах для проверки их соответствия установленным стандартам и требованиям;

- установить агроэкологическую безопасность органических удобрений, производить сертификацию минеральных удобрений;

- определить доступность питательных веществ из удобрений и изучить процессы их превращения в почве.

Агрохимический анализ растений, почв и удобрений позволяет изучить баланс питательных веществ в земледелии и дать научное обоснование регулированию питания сельскохозяйственных культур с помощью удобрений.

В агрохимических исследованиях широко используют математические методы для оценки точности опытов и достоверности

полученных результатов, выявления зависимости между удобрениями и урожаем, моделирования процессов поглощения растениями, превращения в почве и потерь питательных веществ из почвы и удобрений, прогнозирования изменений почвенного плодородия и потребности в удобрениях, для энергетической и экономической оценки применения удобрений с использованием современной вычислительной техники.

На основе результатов полевых и производственных опытов с обязательной агроэкологической и экономической оценкой изучаемых удобрений и приемов их внесения даются практические рекомендации производству, которые позволяют эффективно использовать разнообразные местные и промышленные удобрения.

Агрохимия — научная основа интенсификации земледелия с помощью удобрений, которая наряду с комплексной механизацией и мелиорацией земель определяет научно-технический прогресс в сельском хозяйстве, служит одним из основных путей повышения плодородия почвы и продуктивности культур.

## 1.2. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АГРОХИМИИ

Разнообразные местные удобрительные материалы — навоз, бытовые отходы, золу, мергель (известковую породу) и другие — земледельцы использовали задолго до разработки научных знаний о питании растений. Причины положительного действия этих материалов на урожай возделываемых культур оставались неизвестными, что ограничивало применение и совершенствование существовавших приемов удобрения и улучшения почв, повышение продуктивности растений.

В средние века любые новые суждения о явлениях природы считали ересью и жестоко подавляли. С наступлением эпохи Возрождения стали развиваться промышленность и сельское хозяйство, искусство и науки (прежде всего математика, астрономия, география и медицина). Начали высказывать новые взгляды на питание растений, роль удобрений в повышении урожаев и почвенного плодородия.

Французский естествоиспытатель Бернар Палисси писал в 1563 г.: «Навоз, который вывозится на поля, не имел бы никакого значения, если бы не содержал соли, которые остаются от разложения сена и соломы...» и «если кто засекает поле несколько лет подряд, не унаваживая, то посевы извлекают из земли соль, необходимую для своего роста; земля, таким образом, обедняется солями и отказывается давать урожай, поэтому нужно ее удобрять». В 1640 г. немецкий химик Иоганн Рудольф Глаубер высказал мысль, что «соль и азотная кислота являются единственным началом роста, порождающим все растительное, животное и минеральное».

Однако эти взгляды еще долго — на протяжении почти двух столетий — оставались невостребованными. Ведь развитие знаний

о химии и питании растений происходило постепенно, по мере накопления идей и экспериментальных исследований, проводившихся по методу проб и ошибок. Так, опубликованные лишь в 1699 г. результаты опытов английского ученого Джона Вудворда закончили с водной теорией питания растений, выдвинутой голландским естествоиспытателем Яном Баптистом ван Гельмонтом в 20-х годах XVII столетия на основании такого, казалось бы, наглядно установленного в опыте с ивой факта, что за 5 лет масса выросшего при поливе дождевой водой дерева возросла на 77 кг, а масса почвы уменьшилась всего на две унции (38 г). В опытах Дж. Вудворда масса растения мяты, выращенной на дождевой и водопроводной воде, через 77 сут оказалась на порядок меньше, чем на водопроводной воде с добавлением садовой земли. Из этого был сделан следующий якобы объективный вывод, что «земля, а не вода есть тот материал, из которого строятся растения». Ведь тогда химия как наука еще не существовала и оставалось загадкой, откуда растения берут углерод, составляющий почти половину их сухого вещества.

Еще в 1753 г. первым русским ученым-естествоиспытателем М. В. Ломоносовым была высказана мысль о «впитывании» листьями веществ из воздуха, но только к концу XIX в. благодаря исследованиям английского химика Джозефа Пристли, голландского ученого Яна Ингенхауза, швейцарских естествоиспытателей Жана Сенебье и Теодора Соссюра были разработаны основы воздушного — углеродного питания растений. Было экспериментально доказано, что зеленые листья на свету усваивают из воздуха диоксид углерода, выделяя кислород и оставляя себе углерод для построения органических веществ. Этот процесс в 1897 г. получил название «фотосинтез».

Выдающийся вклад в дальнейшее развитие углеродного питания растений внес русский естествоиспытатель К. А. Тимирязев, представивший результаты своих экспериментальных и теоретических исследований о зависимости интенсивности фотосинтеза от качественного состава солнечного луча в лекции «Космическая роль растений» на заседании Лондонского королевского общества в 1903 г.

В области же корневого питания растений длительное время — до 40-х годов XIX в. — господствовали неверные представления. Особенно ярко они проявились в «гумусовой» теории питания растений, связанной с именем немецкого ученого Альбрехта Теера (1752—1828), который способствовал широкому ее распространению. Суть этой теории А. Теер сформулировал в книге «Основы рационального сельского хозяйства» так: «Плодородие почвы зависит собственно целиком от гумуса, так как кроме воды он представляет единственное вещество, могущее служить пищей растениям». Роль минеральных веществ сводилась к тому, что они способствуют переводу гумуса в удобоусвояемую форму.

Однако постепенно накапливались экспериментальные материалы, свидетельствующие о важном значении минеральных солей в питании растений. В начале XIX в. Т. Соссюр на основании своих экспериментов сделал заключения, что «малое содержание солей не служит доказательством их бесполезности» и, поскольку фосфор был обнаружен во всех исследованных растениях, «нет ни малейшего повода утверждать, что они могут обойтись без него». Опытами французского химика Жана Батиста Буссенго (1802–1887) с топинамбуром было доказано отмеченное еще Н. Р. Глаубером усиление роста этого растения при внесении в почву азота в виде селитры. Испанцы в 1830 г. начали вывоз в Европу чилийского гуано (помета морских птиц, содержащего азот и фосфор), а затем чилийской (натриевой) селитры естественных месторождений, применение которых способствовало значительному повышению урожаев возделываемых культур. В 1937 г. Буссенго в лаборатории на своей ферме начал изучение круговорота и баланса питательных веществ в земледелии. На основании полевых опытов он установил разницу между злаковыми и бобовыми растениями по отношению к азоту, а также улучшение азотного баланса благодаря наличию клевера в севообороте, выращивание которого повышало урожай других культур.

Решающий поворот во взглядах на питание растений произошел после выхода в свет в 1840 г. книги немецкого химика Юстуса Либиха «Химия в приложении к земледелию и физиологии растений». В ней Либих в наглядной форме подверг резкой критике гумусовую теорию и сформулировал теорию минерального питания растений, согласно которой «первым источником пищи для растений служит исключительно неорганическая природа». Либих объяснил причину истощения почвы при однообразной культуре возврата элементов питания, извлеченных растениями из почвы. Он считал необходимым в первую очередь возвращать в почву те вещества, которые извлекаются из почвы в наибольших количествах и находятся в первом минимуме.

Таким образом, Либихом впервые была выдвинута идея о сознательном направленном регулировании круговорота питательных веществ в земледелии и сформулирован закон минимума. К. А. Тимирязев писал, что учение о необходимости возврата является, как бы ни пытались ограничить его значение, одним из величайших приобретений науки.

Работы Либиха сыграли важную роль в дальнейшем развитии агрохимии. Они пробудили интерес к вопросам питания растений и применения удобрений, активизировали исследования по выяснению необходимости элементов минерального питания для жизни растений. В полевых опытах с навозом и золой после его сжигания английский ученый Джон Баннет Лооз (на организованной вблизи Лондона, в имении Ротамстед, в 1843 г. опытной станции)

доказывал необходимость растениям не только зольных элементов, но и содержащегося в навозе азота.

В опытах с выращиванием растений на бесплодных средах — платиновых стружках (Фридрих Вигман и Луис Полсторф), пропеченном песке (Сальм Горстмар) и воде (опыты Ю. Сакса и В. Кнопа) при добавлении или ступенчатом исключении минеральных веществ в 40—60-х годах XIX в. доказана необходимость азота, фосфора, серы, кальция, калия, магния и железа для питания растений. Позднее немецкий агрохимик Герман Гельригель установил причастность желвачков-клубеньков, развивающихся на корнях бобовых растений, к «собираанию» азота клевером и горохом. В 1888 г. голландский ученый Мартин Бейерик выделил чистую культуру клубеньковых бактерий, а в 1901 г. — свободноживущего азотфиксатора — азотобактера.

Параллельно с развитием теории питания растений в сельскохозяйственной практике стали использовать минеральные удобрения. Уже к середине XIX в. кроме чилийской селитры в странах Западной Европы применяли суперфосфат, размолотые шлаки (томасшлак, получаемый при выплавке стали) в качестве фосфорного удобрения и калийные соли, производимые из природных залежей калийных руд.

Поскольку залежи чилийской селитры и гуано быстро истощались, были разработаны способы связывания молекулярного азота с кислородом под влиянием тихого электрического заряда (в 1902 г. был построен в США завод по производству азотной кислоты вблизи Ниагарского водопада), получения кальциевой («норвежской») селитры электродуговым способом, а также цианамидным методом (в Германии и Италии в 1905—1906 гг.).

Однако все эти способы были дорогостоящими и только после открытия в 1913 г. метода получения аммиака из молекулярного азота и водорода началось быстрое наращивание мощностей по производству из аммиака всех известных ныне азотных удобрений из числа солей азотной кислоты и аммония. Позднее из аммиака, оксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) и воды начали производить синтетическую мочевины — карбамид. Уже во второй половине XIX — начале XX в. промышленно развитые страны мира приступили к широкой химизации сельскохозяйственного производства.

В развитии агрохимии выдающаяся роль принадлежит русским ученым. Начало разработки вопросов питания растений и применения удобрений в нашей стране относится к концу XVIII — началу XIX в. Передовые представители русской агрономической науки того времени И. М. Комов, А. Т. Болотов и А. П. Пошман уделяли большое внимание применению навоза, компостов, золы, извести и других местных удобрений для восстановления плодородия почвы, указывали на необходимость развития опытного дела с удобрениями.

А. П. Пошман в начале XIX в., задолго до Ю. Либиха, указывал на значение для питания растений минеральных солей, образу-

щихся в почве при разложении навоза. В своей книге «Наставление о приготовлении сухих и влажных туков, служащих к удобрению наших полей», изданной в 1809 г., он писал: «В удобрении действующим началом являются щелочно-соляные вещества, содержащиеся в навозе и золе, т. е. минеральные вещества служат пищей для растений».

Значительно раньше Гельригеля русский ученый М. С. Воронин обнаружил бактерии, развивающиеся на корнях бобовых культур. Он сообщил в 1866 г., что «в клубеньках бобовых растений селятся одноклеточные живые существа и наличием их определяется особое отношение бобовых к атмосферному азоту».

С 60-70-х годов XIX в. в нашей стране начинаются систематические научные исследования в области питания растений и применения удобрений. Особенно большое значение имели работы А. Н. Энгельгардта, Д. И. Менделеева, П. А. Костычева, К. А. Тимирязева. А. Н. Энгельгардт (1832—1893) — автор широко известных «Писем из деревни» и «Химических основ земледелия» — был яростным пропагандистом применения минеральных удобрений, навоза, извести, сидератов. Им впервые в России была доказана высокая эффективность фосфоритной муки на подзолистых почвах и разработаны основы ее использования.

Уже в 1868—1869 гг. в России заработали первые заводы по производству фосфоритной муки из Тамбовских и Курских месторождений фосфоритов.

Для развития отечественной агрохимии многое сделал русский химик Д. И. Менделеев (1834—1907). Под его руководством в различных районах страны были проведены первые полевые опыты с минеральными удобрениями. Д. И. Менделеев считал удобрения мощным средством повышения урожая.

П. А. Костычев (1845—1895) внес большой вклад в развитие учения о плодородии почв. В своей книге «Учение об удобрениях» он отмечал, что плодородие почвы зависит не только от содержания питательных веществ, но и от ее структуры, физических свойств. Ученый считал, что для полной характеристики почвы недостаточно одного химического анализа, и критиковал агрикультурхимический подход к почве.

Научной основой агрохимии послужили классические исследования К. А. Тимирязева по фотосинтезу и минеральному питанию растений, методику которых он внедрил в практику вегетационных опытов.

Дальнейшее развитие агрохимии связано с именем Д. Н. Прянишникова и его учеников. Научная деятельность Д. Н. Прянишникова приобрела особый размах после 1917 г. Им опубликовано более 400 работ, многие из которых получили мировую известность. Особое значение имели его классические исследования по азотному питанию растений и применению азотных удобрений.

Д. Н. Прянишников и основанная им научная школа агрохимии осуществляли исследования на широкой физиологической и биохимической основе в тесной связи с решением практических задач химизации сельского хозяйства. Трудами Д. Н. Прянишникова, П. С. Коссовича, К. К. Гедройца, А. Н. Лебедевича, Д. А. Сабина и многих других ученых был закреплен приоритет отечественной науки в решении многих актуальных проблем агрохимии.

После 1917 г. агрохимия стала плодотворно развиваться, а ее достижения широко использоваться в практике. В 1918 г. был организован специальный Научный институт по удобрениям — НИУ (ныне Научно-исследовательский институт удобрений и инсектофунгицидов — НИУИФ), а затем в 1931 г.

Всесоюзный научно-исследовательский институт удобрений, агрохимии и агропочвоведения — ВИАУ (ныне Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения имени Д. Н. Прянишникова — ВИУА). Были созданы агрохимические отделы в зональных и отраслевых научно-исследовательских институтах и на опытных станциях, кафедры агрохимии в сельскохозяйственных вузах.

В 20—30-е годы под руководством НИУ и с 1941 г. под руководством ВИАУ проведены тысячи опытов с различными культурами в разных районах страны по изучению эффективности удобрений, доз и способов их внесения. Этими опытами доказан высокий эффект удобрений во многих районах страны и созданы научные основы для развития промышленного производства минеральных удобрений, широкого применения их в сельском хозяйстве.

Агрохимические исследования в нашей стране особенно широко проводили в последние 30—35 лет. Были созданы новые научно-исследовательские агрохимические институты, в том числе Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИАНО), Институт химизации сельского хозяйства Сибирского отделения ВАСХНИЛ. Организована Государственная агрохимическая служба (см. главу 8) и создана серьезная материально-техническая база для сервисного обслуживания сельхозпроизводственных товаропроизводителей.



Академик Д. Н. Прянишников  
(1865—1948)

В настоящее время на основе новых экономических отношений развивается производственная инфраструктура химизации земледелия, разрабатываются и внедряются приемы наиболее эффективного и экологически безопасного применения органических и минеральных удобрений, химической мелиорации и других средств химизации.

### 1.3. ЗНАЧЕНИЕ УДОБРЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Важное значение удобрений в повышении плодородия почв и урожаях сельскохозяйственных культур доказано практикой земледелия. Длительное время единственным удобрением, по существу, был навоз. Использование минеральных удобрений началось только во второй половине XIX в. Однако и сейчас, когда мировое производство их достигло огромных масштабов — около 150 млн т питательных веществ (в сумме N, P и K), навоз остается важнейшим удобрением. Навоз содержит все необходимые растениям питательные элементы, и его внесение в почву повышает урожайность сельскохозяйственных культур. Он оказывает также многофакторное положительное влияние на агрохимические, агрофизические свойства и плодородие почв. Применение навоза обеспечивает повторное использование в хозяйстве значительного количества ранее усвоенных растениями питательных веществ из почвы и удобрений.

Д. Н. Прянишников отмечал, что небрежное отношение к навозу в то же время является и небрежным отношением к промышленным минеральным удобрениям. Систематическое применение навоза и других органических удобрений способствует окультуриванию почвы и создает предпосылки для более эффективного использования других средств химизации, в том числе минеральных удобрений. Однако за счет применения одних органических удобрений обеспечивается лишь частичная компенсация выноса из почвы питательных веществ с урожаями сельскохозяйственных культур. Только при концентрации органических удобрений на ограниченных площадях (как на огородных участках и при мелко-товарном «биологическом» земледелии) можно поддерживать бездефицитный баланс питательных веществ в агроценозах при относительно низкой продуктивности посевов.

Вся история развития мирового сельского хозяйства свидетельствует о том, что применение минеральных удобрений является решающим фактором интенсификации земледелия и обеспечения продовольствием постоянно растущего населения нашей планеты. Число земель возрастает ежедневно на 250 тыс. человек. Это равноценно появлению в течение года новой страны с населением почти 100 млн, которое необходимо накормить. После 1970 г. для

увеличения численности земель на 1 млрд требовалось одно десятилетие, и к 2020 г., по имеющимся прогнозам, население Земли возрастет до 8,3 млрд человек.

В странах Западной Европы до конца XVIII в. урожай пшеницы составил 0,7—0,8 т/га и увеличился за последующее столетие за счет введения плодосмена и клеверосеяния вдвое — до 1,6—1,7 т/га. В первой половине XX в. урожайность поднялась до 2,5—3,0 т/га прежде всего благодаря росту применения удобрений, а во второй половине века — до 4,0—6,0 т/га благодаря использованию новых сортов и комплекса средств химизации — удобрений и пестицидов. Возросла также продуктивность других продовольственных и технических культур: картофеля — до 40—45 т/га, сахарной свеклы — 50—60 т/га.

Средний уровень применения удобрений в расчете на 1 га пашни в странах Европейского союза (ЕС) составляет 350—360 кг д. в. при уборочной площади около 70 млн га (с колебаниями от 160 кг в Италии до более 400 кг в ФРГ). В странах Северной Европы дозы минеральных удобрений на 1 га посевной площади составляют 100—200 кг при урожайности зерновых 4,5—5,0 т/га.

Япония использует около 400 кг/га д. в. удобрений, а урожайность зерновых, прежде всего риса, превышает 5 т/га.

В США, имеющих близкую с Россией площадь пашни (135 млн га), применение минеральных удобрений за 1995—2000 гг. достигло 150 кг/га, а урожайность зерновых, включая кукурузу, превысил 5 т/га (средний урожай зерна кукурузы на площади около 30 млн га превысил 8 т/га). В Канаде, где пары составляют 1/3 площади пашни, обеспеченность минеральными удобрениями на 1 га пашни и 1 га посевной площади составляет соответственно около 70 и 110 кг д. в. при урожае зерна кукурузы около 7 т/га и пшеницы 2,54 т/га.

В середине XX в. в развивающихся странах произошла «зеленая революция», обеспечившая резкий рост производства сельскохозяйственной продукции за счет возделывания новых сортов интенсивного типа и создания необходимых условий для реализации их высокой продуктивности. Решающую роль сыграли ирригация и улучшение агротехники, включающее значительное увеличение доз удобрений. Валовые сборы зерна в развивающихся странах за 1963—1993 гг. возросли пропорционально масштабам использования минеральных удобрений (рис. 3).

В развивающихся странах Азии применение удобрений с 60-х годов до конца XX в. увеличилось почти в 15 раз и составило 140—200 кг/га, за это время валовые сборы зерна возросли с 310 до 140 млн т, т. е. утроились. В Китае уровень применения удобрений возрос до 270 кг/га при увеличении урожайности зерновых с 4 т/га. Урожай пшеницы в Индии достиг уровня США, Китая и среднемирового уровня (2,5 т/га). Мексика и Египет по урожаям зерна пшеницы достигли уровня ЕС.

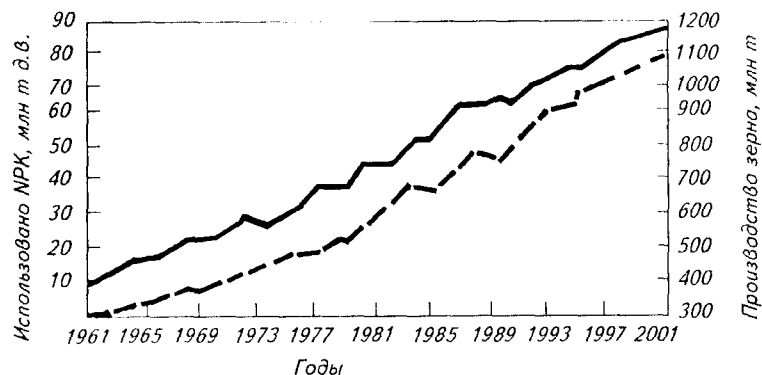


Рис. 3. Динамика применения удобрений (верхняя кривая) и производства зерна (нижняя кривая) в развивающихся странах (по данным ФАО)

Мировое потребление минеральных удобрений перед Второй мировой войной составляло около 7,5 млн т. С 1960 по 1990 г. оно увеличилось с 27 до 146 млн т, или в 5,4 раза. Однако в среднем на 1 га пашни и на 1 га сельскохозяйственных угодий в 1990 г. приходилось небольшое их количество — соответственно около 100 и 35 кг NPK. Больше всего производят и применяют азотных удобрений — столько же, сколько в сумме фосфорных и калийных.

За последнее десятилетие масштабы применения минеральных удобрений в развитых странах мира стабилизировались и имеют тенденцию к снижению, а в развивающихся странах продолжают нарастать со средним темпом прироста около 5 % в год.

До 2020 г. прогнозируют дальнейший рост производства и применения минеральных удобрений до 208 млн т. При этом потребность для производства необходимых количеств растениеводческой продукции с учетом увеличения народонаселения оценивается в более чем 260 млн т. В развивающихся странах применение минеральных удобрений в 2020 г. превысит 120 млн т, что составит около 60 % мирового потребления.

Отец «зеленой революции» лауреат Нобелевской премии и иностранный член РАСХН Норман Борлауг считает, что не менее 50 % увеличения урожаев в XX в. является следствием применения удобрений. Он отмечал, что одним из наиболее важных факторов, ограничивающих урожай сельскохозяйственных культур в мире, и в следующем столетии будет плодородие почвы.

В бывш. СССР темпы развития химической промышленности по производству минеральных удобрений значительно опережали мировые. В 1940 г. было произведено всего 0,75 млн т (10 % мирового производства). За период с 1960 по 1990 г. выпуск удобрений увеличился с 3,3 до 35 млн т, или более чем в 10 раз, и составил 24 % мирового производства. Уже в начале 70-х годов Россия

заняла на первое место в мире по валовому производству удобрений и третье место (после США и Канады) по их экспорту. Отечественному сельскому хозяйству поставлялось 3/4 произведенных удобрений, что составило в 1990 г. на 1 га пашни 96 кг д. в. и соответствовало среднемировому уровню. На рисунке 4 показаны масштабы поставок минеральных удобрений сельскому хозяйству России с начала интенсификации земледелия страны (1965 г.) по настоящее время.

В начальный период химизации земледелия страны при неограниченных объемах производства минеральных удобрений их прежде всего поставляли в регионы с относительно благоприятными природно-климатическими условиями или производящие особо ценные сельскохозяйственные культуры. За счет минеральных удобрений в короткий срок резко повысилась урожайность чая, хлопчатника, сахарной свеклы. Увеличение поставок и применения удобрений под ведущие технические, овощные и бахчевые культуры с 1966 по 1985 г. повысило среднегодовое валовое производство хлопчатника почти в 2 раза, сахарной свеклы — в 1,6, картофеля и овощей — 1,5—1,8 раза. Уровень применения минеральных удобрений под хлопчатник и сахарную свеклу достиг более 400—450 кг д. в. на 1 га, картофель, овощные и бахчевые культуры — свыше 250, а под лен — свыше 200 кг.

Для получения планируемых урожаев полностью обеспечивались удобрениями посевы на мелиорированных землях с регулируемым водным режимом, так как в этих условиях удобрения дают высокую эффективность и, кроме того, необходимо быстрее оку-

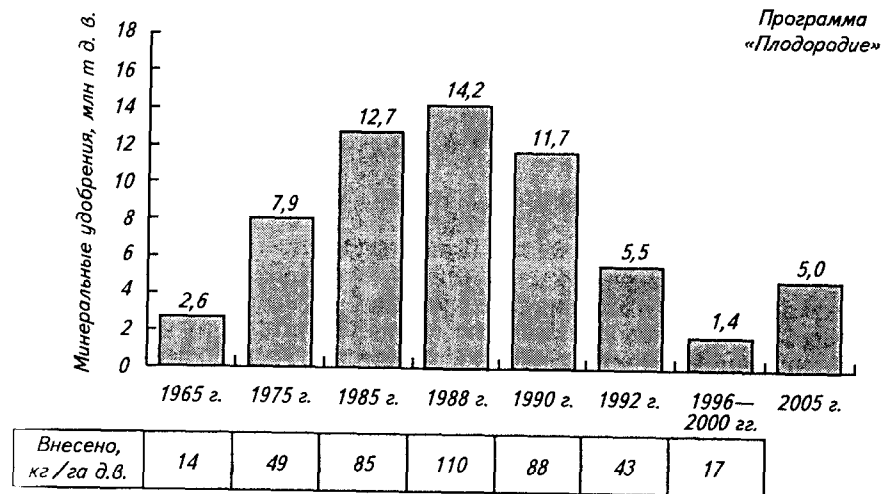


Рис. 4. Поставки минеральных удобрений сельскому хозяйству России

пать значительные капитальные вложения на мелиорацию. Больше удобрений применялось в районах достаточного увлажнения, где обеспечивалось стабильное производство сельскохозяйственной продукции и высокая окупаемость затрат на удобрения.

С ростом производства минеральных удобрений появилась возможность использовать их на больших площадях и в более высоких дозах не только под технические, но и под зерновые и кормовые культуры.

Применение удобрений имело огромное значение в решении важнейшей народнохозяйственной задачи — увеличении производства зерна, особенно сильной и ценной пшеницы, а также в создании прочной кормовой базы для развития животноводства.

В 1986—1990 гг. в России минеральные удобрения применяли на 2/3 посевов сельскохозяйственных культур при средней обеспеченности на 1 га пашни 99 кг д. в., что в сочетании с применением навоза и других органических удобрений обеспечило положительный баланс питательных веществ в земледелии. За счет использования минеральных удобрений значительно увеличилась урожайность возделываемых культур, в том числе зерновых (табл. 1). В 1990 г. валовой сбор зерна в России составил 117 млн т при средней урожайности по стране 1,85 т/га.

**1. Применение удобрений в России и отдельных областях (кг д. в. на 1 га пашни) и урожайность зерновых культур, т/га**

Страна, регион	1966—1970 гг.		1986—1990 гг.		1999 г.	
	NPK	урожайность	NPK	урожайность	NPK*	урожайность
Россия	28	1,3	99	1,5	8	0,9
Московская область	166	1,8	296	2,5	26	1,3
Орловская область	46	1,2	175	1,9	34	1,5
Белгородская область	45	1,9	198	2,7	19	1,8
Краснодарский край	59	2,8	296	4,1	20	2,4
Ростовская область	13	1,6	76	2,4	4	1,2

\* На 1 га посевной площади.

Представленные в таблице 1 данные показывают, что хотя применение минеральных удобрений в бывш. СССР и России осуществлялось высокими темпами, оно так и не вышло на уровень развитых стран Западной Европы, а ныне отстало от большинства развивающихся государств. Обеспеченность удобрениями на 1 га пашни даже в лучшие годы не превысила среднемировой уровень и сильно различалась как по культурам, так и по регионам страны. Резкое уменьшение (в 10 раз) масштабов потребления удобрений сельскохозяйственными производителями России в 90-е годы поставило земледелие страны на грань катастрофы. Совершенно очевидно, что предстоит вновь, используя мировой и отечествен-

ный опыт, решать проблему интенсификации сельскохозяйственного производства, важнейшим фактором которой является применение удобрений. Приведем еще одно яркое высказывание американского ученого Нормана Борлоуга: «... мир на земле не может быть построен на пустой желудок. Ограничьте доступ фермерам к современным факторам интенсификации земледелия — новым орнам, удобрениям и средствам защиты растений — и мир будет обречен, но не отравлением, как некоторые говорят, но голодом и социальным хаосом».

Россия, располагая 13 % земельной площади, 35 % мировых запасов природных ресурсов, с населением, составляющим ныне 14 % (а к 2020 г. не более 2 %) населения земного шара, не может отставать от мирового развития общества и производства, тем более сельскохозяйственного, в первую очередь определяющего благосостояние людей.

Исходя из реально складывающихся возможностей страны и в соответствии с основными направлениями аграрной политики Правительства Российской Федерации, разработана и утверждена 8 ноября 2001 г. Федеральная целевая программа «Повышение плодородия почв России на 2002—2005 гг.». Целями программы являются обеспечение сохранения и воспроизводства плодородия почв, рациональное использование природных ресурсов, в том числе сельскохозяйственных угодий, и создание на этой основе условий роста производства сельскохозяйственной продукции для укрепления продовольственной безопасности страны.

Программа предусматривает оказание государственной поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей при проведении единой технологической политики по созданию необходимых условий для интенсификации земли — основного средства сельскохозяйственного производства. В качестве первоочередных мер по преодолению спада производства в сельском хозяйстве намечается проведение комплекса агрохимических мероприятий, определены конкретные сроки и механизмы их реализации, объемы и источники финансирования.

Наряду с максимальным использованием имеющихся ресурсов органических удобрений и сидератов, других средств биологизации земледелия, предусматривается постепенный рост применения минеральных удобрений до 5 млн т в действующем веществе в год, а общий объем их использования в сельском хозяйстве за 2002—2005 гг. предполагается увеличить до 14,7 млн т д. в. За этот же период намечается провести известкование 8 млн га кислых почв (для чего потребуется 42,6 млн т известковых удобрений в расчете на  $\text{CaCO}_3$ ), фосфоритование 1,2 млн га кислых почв с низким содержанием подвижного фосфора, а также гипсование соленцовых почв на площади 140 тыс. га.

Предусматривается выделение средств на проведение фундаментальных научных исследований, агрохимическое и эколого-



токсикологическое обследование земель на площади 100 млн га, а также на субсидирование части затрат сельскохозяйственных товаропроизводителей на применение минеральных удобрений. Определена потребность в технических средствах для применения удобрений и сельскохозяйственных машин общего назначения на 2002—2005 гг. Предусматривается финансовое, материально-техническое, научно-информационное и кадровое обеспечение всего комплекса технических, организационных, технологических, агрохимических, мелиоративных и экологических мероприятий, направленных на эффективное использование земли и повышение плодородия почв.

Успешная реализация принятой Программы на 2002—2005 гг., а также дальнейших долговременных планов сохранения и воспроизводства почвенного плодородия возможна только при условии подготовки квалифицированных агрономических, агрохимических, инженерных и научно-педагогических кадров. Особое внимание обращается на подготовку специалистов среднего звена по соответствующим специальностям. На базе средних сельскохозяйственных учебных заведений и учебных кабинетов Программой предусматривается организация подготовки рабочих кадров в количестве 100 тыс. человек за счет средств, выделяемых на подготовку специалистов, для выполнения агрохимических и мелиоративных работ.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Что изучает агрохимия? В чем заключается роль органических и минеральных удобрений в круговороте питательных веществ в земледелии? 2. Чем агрохимия отличается от других наук, изучающих те же объекты? С какими науками и дисциплинами связана агрохимия? 3. Расскажите о методах исследований, применяемых в агрохимии. 4. С именами каких зарубежных ученых связано развитие учения о питании растений и применении удобрений? 5. Расскажите о вкладе русских ученых в становление агрохимии. 6. Как давно применяют минеральные удобрения в развитых странах мира? Каков уровень применения удобрений в развитых и развивающихся странах? Есть ли связь между уровнем применения удобрений и продуктивностью сельскохозяйственных культур? 7. Как развивалась промышленность по производству удобрений и их применение в сельском хозяйстве СССР и России? 8. Почему применение удобрений — один из важных факторов интенсификации земледелия?

### **2.1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ**

#### **2.1.1. СОДЕРЖАНИЕ В РАСТЕНИЯХ СУХОГО ВЕЩЕСТВА И ОСНОВНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

В состав растений входят вода и сухое вещество, представленное органическими и минеральными соединениями. Соотношение между количеством воды и сухого вещества в растениях, их органах и тканях изменяется в широких пределах. Так, содержание сухого вещества в плодах овощных и бахчевых культур может составлять до 7 % их массы, в зеленных культурах, кочанах капусты, корнеплодах редиса и турнепса — 7—10, свеклы столовой, моркови и луковицах лука — 10—15, в вегетативных органах большинства полевых культур — 15—25, корнеплодах сахарной свеклы и клубнях картофеля — 20—25, в зерне хлебных злаков и бобовых культур — 85—90, семенах масличных культур — 90—95 %.

**Вода.** Содержание воды в тканях растущих вегетативных органов растений колеблется от 70 до 95 %, а в запасающих тканях семян и в клетках механических тканей — от 5 до 15 %. По мере старения растений общий запас и относительное содержание воды в тканях, особенно репродуктивных органов, снижается.

Вода не просто наполнитель растительных клеток, она неотделимая часть их структуры и участник жизненных процессов. Обводненность клеток растительных тканей обуславливает их тургор (гидростатическое давление внутри клетки, вызывающее напряжение клеточной оболочки), интенсивность и направленность разнообразных физиологических и биохимических процессов. При участии воды происходит огромное число биохимических реакций синтеза и распада органических соединений в растениях.

Особое значение вода имеет в энергетических преобразованиях в растениях, прежде всего в аккумуляции солнечной энергии в виде химических соединений при фотосинтезе. Вода обладает способностью пропускать лучи видимой и близкой к ней ультрафиолетовой части света, необходимой для фотосинтеза, но задерживает определенную часть инфракрасной тепловой радиации. Она также обладает высокой удельной теплоемкостью и благодаря



способности испаряться при любой температуре предохраняет растения от перегрева.

Содержание воды в растениях зависит не только от их вида, возраста, условий водоснабжения, транспирации, но и в определенной степени от условий минерального питания.

Влагообеспеченность наряду с другими факторами внешней среды оказывает значительное влияние на величину и качество урожая сельскохозяйственных культур, а также на эффективность удобрений.

Термином «влажность» обозначают физико-химически и механически связанную с тканями растений воду, удаляемую в стандартных условиях определения — при высушивании растительного материала до постоянной массы при температуре 100—105 °С.

В соответствии с техническими требованиями на заготавливаемую и поставляемую растениеводческую продукцию, содержащиеся в Государственных стандартах, регламентируются *базисная норма влажности*, на основании которой производят расчеты при закупке или поставке, и *ограничительная норма влажности* как показатель качества, обуславливающий пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Так, для зерна пшеницы, ржи, ячменя и овса базисная норма влажности установлена на уровне 14,5 %, а ограничительная в зависимости от условий выращивания составляет 17 или 19 %. Для зерна кукурузы базисная норма влажности 14 %, ограничительная — не более 25 %, для поставляемого для крупяной и пищевых концентратной промышленности — не более 15 %, а подвергнувшегося принудительной сушке зерна — не менее 13 %. Для зерна гороха базисная норма влажности 15 %, а ограничительная — не более 20 %, семян подсолнечника — соответственно 7 и не более 8 %. Для сена и соломы базисная влажность 16 %.

**Сухое вещество растений.** На 90—95 % оно представлено органическими соединениями — белками и другими азотистыми веществами, углеводами и жирами, содержание которых определяет качество урожая (табл. 2).

## 2. Средний химический состав урожая растений, %

Культура	Вода	Белки	Сырой белок	Крахмал, сахара и другие углеводы (кроме клетчатки)	Клетчатка	Жиры	Зола
Пшеница (зерно)	14	16	18	62	2,5	2,0	2,0
Рожь (зерно)	14	12	13	67	2,0	2,0	2,0
Овес (зерно)	14	11	12	55	10,0	4,5	3,5
Ячмень (зерно)	14	9	10	65	5,5	2,0	3,0
Рис (зерно)	14	7	8	60	10,0	2,0	5,0
Кукуруза (зерно)	14	9	10	65	2,0	5,0	1,5
Гречиха (зерно)	14	9	11	60	9,0	3,0	2,0
Горох (зерно)	14	20	23	53	5,5	1,5	3,0

Продолжение

Культура	Вода	Белки	Сырой белок	Крахмал, сахара и другие углеводы (кроме клетчатки)	Клетчатка	Жиры	Зола
Рисоль (зерно)	14	20	22	54	4,0	1,2	4,0
Соя (зерно)	12	30	35	23	5,0	20,0	5,0
Подсолнечник (семена)	12	22	25	7	5,0	50,0	3,5
Лен (семена)	12	23	26	16	8,0	35,0	4,0
Картофель (клубни)	78	1,3	2,0	17	1,0	0,1	1,0
Сахарная свекла (корнеплоды)	75	1,0	1,6	20	1,0	0,1	0,8
Листовая свекла (корнеплоды)	87	0,8	1,5	9	1,0	0,1	1,0
Морковь (корнеплоды)	86	0,7	1,3	9	1,0	0,2	1,0
Лук репчатый	85	1,5	1,6	12	0,8	0,1	0,5
Капучер (зеленая масса)	75	3,0	3,6	10	6,0	0,8	3,0
Трава сборная (зеленая масса)	70	2,1	3,0	10	10,5	1,2	2,9

Сбор сухого вещества с товарной частью урожая основных сельскохозяйственных культур может колебаться в очень широких пределах — от 1,0—1,5 до 10,0—15,0 т/га и более.

Ценность отдельных органических соединений в зависимости от вида и характера использования растениеводческой продукции может быть различной. Основные вещества, определяющие качество урожая зерна хлебных злаков, — белки и крахмал. Среди зерновых культур наибольшим содержанием белка отличается пшеница, а крахмала — рис и пивоваренный ячмень. Качество последнего ухудшается при повышенном содержании в его зерне белка.

Бобовые культуры (зернобобовые и травы) содержат повышенное количество белков и меньше — углеводов, качество их урожая определяется прежде всего размерами накопления белка. Качество урожая картофеля оценивают по содержанию углевода — крахмала, а сахарной свеклы — сахарозы. Увеличение содержания белка и особенно небелковых азотистых соединений в корнеплодах сахарной свеклы, выращиваемой для производства сахара, нежелательно. Масличные культуры возделывают для получения жиров — растительных масел, используемых как для пищевых, так и для промышленных целей. При выращивании прядильных культур — льна, конопли, хлопчатника — важно получить более высокий урожай волокна, состоящего из клетчатки. При повышенном количестве клетчатки в зеленой массе и сене однолетних и многолетних трав их кормовые достоинства ухудшаются.

Неравноценны по своему качеству и отдельные группы органических соединений, содержащихся в урожае различных сельскохозяйственных культур.

Качество урожая сельскохозяйственных культур может зави-

сесь и от содержания органических соединений, которых в растениях относительно немного, — витаминов, алкалоидов, гликозидов, органических кислот, эфирных и горчичных масел и т. д.

**Белки и другие азотистые соединения.** Белки — основа жизни организмов; они играют решающую роль во всех процессах обмена веществ. Белки выполняют структурные и каталитические функции, а также служат одним из основных запасных веществ растений.

Содержание белков в вегетативных органах растений обычно составляет 5—20 % их массы, в семенах хлебных злаков — 6—20, а в семенах бобовых и масличных культур — 20—35 %. Белки имеют довольно стабильный элементный состав (%): углерод — 51—55, кислород — 21—24, азот — 15—18, водород — 6,5—7, сера — 0,3—1,5.

Основная структурная единица всех белков — аминокислоты. Они представляют собой органические кислоты жирного или ароматического ряда, содержащие кроме карбоксильных групп ( $-\text{COOH}$ ), одну или две аминогруппы — ( $\text{NH}_2$ ).

Растительные белки построены из 20 аминокислот и двух амидов. Особое значение имеет содержание в белках растений незаменимых аминокислот (валина, лейцина и изолейцина, треонина, метионина, гистидина, лизина, триптофана и фенилаланина), которые не могут синтезироваться в организме человека и животных. Эти аминокислоты человек получает только с растительными пищевыми продуктами, а животные — с кормами.

Качество растениеводческой продукции оценивается не только по содержанию, но и по переваримости, полноценности белков, которые устанавливают на основе изучения их фракционного и аминокислотного состава.

Аминокислотный состав определяет биологическую питательную ценность белков. Если принять за 100 % ценность белка молока или яйца, то биологическая ценность белков зерна риса составит 83—86 %, овса — 70—78, ржи — 68—75, пшеницы — 62—68, кукурузы — 52—58 %. Более низкая биологическая ценность белка зерна кукурузы обусловлена тем, что он беден незаменимыми аминокислотами лизином и триптофаном.

В составе белков находится подавляющая доля азота семян (не менее 90 % общего количества в них азота) и вегетативных органов большинства растений (75—90 %).

В то же время в клубнях картофеля, корнеплодах и листовых овощах на долю азотистых небелковых соединений приходится до половины общего количества азота. Они представлены минеральными (нитраты, аммоний) и органическими (среди которых преобладают свободные аминокислоты и амиды) соединениями, хорошо усвояемыми человеком и животными. Нитраты — обычный компонент азотного фонда растений, после восстановления до аммония они используются на синтез органических азотсодер-

жащих соединений. Однако повышенное содержание нитратов в растениеводческой продукции, особенно в свежих овощах и кормах, неблагоприятно для теплокровных и регламентируется соответствующими нормативами при сертификации продукции (см. приложение 1).

Для оценки качества растениеводческой продукции часто используют показатель «сырой белок», который выражает сумму всех азотистых соединений (белка и небелковых соединений). Рассчитывают сырой белок путем умножения процентного содержания общего азота в растениях на коэффициент 6,25. Этот коэффициент получен из расчета среднего (16 %) содержания азота в составе белка и небелковых соединений.

Качество зерна пшеницы оценивают по содержанию сырой клейковины, количество и свойства которой определяют хлебопекарные свойства муки. Сырая клейковина — это белковый густок, остающийся на сите при отмывании водой теста, замешенного из муки. Сырая клейковина состоит на 2/3 из воды и на 1/3 из сухого вещества, представленного прежде всего труднорастворимыми белками. Клейковина обладает эластичностью, упругостью и другими свойствами, от которых зависит качество выпекаемых изделий. Между содержанием сырой клейковины и сырого белка существует определенная количественная зависимость (клейковины примерно в 2,1 раза больше). Для стимулирования производства хозяйствами продовольственного зерна пшеницы с повышенным содержанием клейковины и хорошими хлебопекарными качествами устанавливают надбавки к закупочным ценам. Качество пшеничной клейковины значительно выше, чем клейковины из зерна ржи и ячменя.

**У г л е в о д ы.** В растениях они представлены сахарами (моносахаридами и олигосахаридами, содержащими 2—3 остатка моносахаридов) и полисахаридами.

**Сахара.** Содержатся в небольших количествах во всех сельскохозяйственных растениях, а в корнеплодах и отдельных органах овощных культур, плодах и ягодах могут накапливаться в качестве запасных веществ. Преобладающие моносахариды в большинстве растений — глюкоза и фруктоза, а олигосахариды — дисахарид сахароза.

Сладкий вкус многих плодов и ягод связан с наличием глюкозы и фруктозы в свободном состоянии. *Глюкоза* в значительных количествах (8—15 %) содержится в ягодах винограда (отсюда ее название «виноградный сахар») и составляет до половины общего количества сахаров в плодах и ягодах. *Фруктоза*, или *плодовый сахар*, накапливается в больших количествах в косточковых плодах (6—10 %), а также содержится в меде. Она слаще глюкозы и сахарозы. В корнеплодах доля моносахаридов среди сахаров невелика (до 1 % общего их содержания).

*Сахароза* — дисахарид, построенный из глюкозы и фруктозы. В

небольших количествах сахара находится во всех растениях, более высоким ее содержанием (4—8 %) отличаются плоды и ягоды, а также морковь, свекла столовая и лук. Сахароза — основной запасной углевод в корнеплодах сахарной свеклы (14—22 %) и в соке стеблей сахарного тростника (11—25 %). Цель выращивания этих растений — получение сырья для производства сахара.

В зрелом зерне злаковых и бобовых культур содержание сахаров не превышает 3—5 %, но при уборке на более ранних стадиях созревания (например, для консервирования кукурузы и горошка) и при прорастании зерна количество сахаров составляет до 10 %.

**Полисахариды.** К ним относятся крахмал, клетчатка и пектиновые вещества.

**Крахмал** в небольших количествах присутствует во всех зеленых органах растений, но в качестве основного запасного углевода накапливается в клубнях, луковицах и семенах. В клубнях картофеля ранних сортов содержание крахмала 10—14 %, средне- и позднеспелых — 16—22 %. В расчете на сухую массу клубней это составляет 70—80 %. Примерно такое же относительное содержание крахмала в очищенном зерне риса и пивоваренного ячменя. В зерне других хлебных злаков крахмала обычно 55—70 %. Между содержанием белка и крахмала в растениях существует обратная зависимость. В богатых белками семенах зернобобовых культур крахмала меньше, чем в семенах злаков; еще меньше его в семенах масличных культур.

Крахмал — легкоусвояемый организмом человека и животных углевод. При ферментативном (под действием ферментов амилаз) и кислотном гидролизе он расщепляется до глюкозы.

**Клетчатка, или целлюлоза,** — основной компонент клеточных стенок (в растениях она связана с лигнином, пектиновыми веществами и другими соединениями). Волокно хлопчатника состоит из клетчатки на 95—98 %, лубяные волокна льна, конопли, джута — на 80—90 %. В семенах пленчатых злаков (овса, риса, проса) клетчатки содержится 10—15 %, а в не имеющих пленок семенах хлебных злаков — 2—3, в семенах зернобобовых культур — 3—5, в корнеплодах и клубнях картофеля — около 1 %. В вегетативных органах растений клетчатка составляет от 25 до 40 % сухой массы.

Клетчатка — полисахарид из неразветвленной цепи глюкозных остатков. Усвоение клетчатки животными значительно хуже, чем крахмала, хотя при полном гидролизе клетчатки также образуется глюкоза.

**Пектиновые вещества** — высокомолекулярные полисахариды, содержащиеся в плодах, корнеплодах, растительных волокнах и в некоторых водорослях. В волокнистых растениях они скрепляют между собой отдельные пучки волокон. Свойство пектиновых веществ в присутствии кислот и сахаров образовывать желе или студни используют в пищевой (кондитерской) и фармацевтической промышленности.

**Жиры и жироподобные вещества (липиды).** Являются структурными компонентами цитоплазмы растительных клеток, а у масличных культур выполняют роль запасных соединений. Количество структурных липидов обычно небольшое — 0,5—1 % сырой массы растений, но они выполняют в растительных клетках важные функции, в том числе по регуляции проницаемости мембран.

Семена масличных культур и сои используют для получения растительных жиров, называемых маслами. Среднее содержание жира в семенах важнейших масличных культур и сои следующее (%): клещевина — до 60, кунжут, мак, маслина — 45—50, подсолнечник — 24—50, лен, конопля, горчица — 30—35, хлопчатник — 25, соя — 20.

По химическому строению жиры представляют собой смесь сложных эфиров трехатомного спирта глицерина и высокомолекулярных жирных кислот. В состав растительных жиров входят ненасыщенные кислоты, основные из которых олеиновая, линолевая и линоленовая, а также насыщенные — пальмитиновая, стеариновая и др. Состав жирных кислот в растительных маслах определяет их свойства — консистенцию, температуру плавления, способность к высыханию, прогорканию, омылению и пищевую ценность. Линолевая и линоленовая жирные кислоты содержатся только в растительных маслах и являются «незаменимыми» для человека, так как не могут синтезироваться в его организме. Жиры — наиболее энергетически выгодные запасные вещества, при их окислении выделяется в 2 раза больше энергии, чем при распаде углеводов и белков.

Содержание отдельных групп органических соединений в сельскохозяйственной продукции и, следовательно, ее качество могут значительно изменяться в зависимости от видовых и сортовых особенностей растений, условий выращивания.

Более благоприятные условия для синтеза белка создаются в растениях при повышенных температурах и недостатке влаги, а углеводов наоборот — при пониженных температурах и достаточной обеспеченности влагой. Поэтому на территории России с северо-запада на юго-восток содержание белка в растениях возрастает, а крахмала и других запасных углеводов снижается.

Важное значение для улучшения качества продукции имеют условия питания растений. Например, усиление азотного питания повышает относительное содержание в растениях и сбор белка с урожаем товарной продукции, а усиленное фосфорно-калийное питание способствует большему накоплению углеводов — сахаров в корнеплодах сахарной свеклы, крахмала в клубнях картофеля. Фосфорно-калийные удобрения повышают у масличных культур содержание жира и улучшают его качество.

Создав соответствующие условия питания растений с помощью удобрений, можно повысить накопление наиболее ценных в хо-

зависимости от соотношения органических соединений в составе сухого вещества урожая. Однако несбалансированное питание может не только снизить продуктивность растений, но и ухудшить качество урожая. Так, избыточное, особенно одностороннее, снабжение азотом приводит к снижению содержания в растениях углеводов (крахмала у картофеля или сахара в сахарной свекле), а также вызывает накопление в овощной и кормовой продукции потенциально опасных для человека и животных количеств нитратов.

### 2.1.2. ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ

Средний элементный состав сухого вещества растений следующий (% по массе): углерод — 45, кислород — 42, водород — 6,5, азот и другие элементы — 6,5. Всего в составе растений обнаружено более 80 химических элементов. В настоящее время около 20 элементов (в том числе углерод, кислород, водород, азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера, железо, бор, медь, марганец, цинк, молибден, ванадий, кобальт и йод) считают безусловно необходимыми для растений. Без них невозможны нормальный ход жизненных процессов и завершение полного цикла развития растений. В отношении еще более 20 элементов (кремния, алюминия, фтора, хлора, лития, серебра и др.) имеются сведения об их положительном действии на рост и развитие растений; эти элементы считают условно необходимыми. По мере совершенствования методов анализа и биологических исследований общее число элементов в составе растений и список необходимых химических элементов, очевидно, будут расширены.

Углеводы, жиры и другие безазотистые органические соединения построены из трех элементов — углерода, кислорода и водорода, а в состав белков и других азотистых органических соединений входит еще и азот. Эти четыре элемента — С, О, Н и N получили название *органогенных*; на их долю в среднем приходится около 95 % сухого вещества растений.

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

Азот и такие зольные элементы, как фосфор, калий, кальций, магний, сера и железо, содержатся в растениях в относительно больших количествах (от нескольких процентов до сотых долей процента сухого вещества) и относятся к макроэлементам.

Для обеспечения нормальной жизнедеятельности кроме макроэлементов растениям в небольших количествах необходимы бор, марганец, медь, цинк, молибден, кобальт, йод и ванадий. Концентрация каждого из этих элементов в растениях составляет от ты-

сячных до сотых долей процента; их называют *микроэлементами*. Обычно их содержание в растениях выражают в мг/кг сухого вещества.

Различия в содержании макро- и микроэлементов можно проиллюстрировать наглядно, если представить его в расчете на 1 млрд атомов, составляющих сухое вещество растений. В этом случае приходится следующее количество атомов: N — 10 млн, P — 1 млн, K — 3,8 млн, Ca — 1,8 млн, Mg — 1,7 млн, S — 580 тыс., Fe — 130 тыс., B — 3 тыс., Mn — 1 тыс., Zn — 300, Cu — 100, Mo — 1, Co — 1.

**Физиологические функции химических элементов в зависимости от их расположения в Периодической системе Д. И. Менделеева.** Академик В. И. Вернадский еще в 20-е годы прошлого столетия отметил, что химический элементный состав организмов теснейшим образом связан с химическим составом земной коры. Его ученик А. П. Виноградов в 40-х годах создал учение о биогеохимических провинциях, развитие которого привело к возникновению новых взглядов на связь между частотой встречаемости элементов и их физиологическим действием. Преобладающие в земной коре (добавим, и в воде, и в атмосфере) элементы являются доминирующими в живых организмах, обладающих видовыми особенностями элементного состава. Был сделан вывод не только о возможности нахождения в живом веществе всех химических элементов космоса, но и о допущении физиологического значения каждого из этих элементов. Благодаря индивидуальной химической природе каждого из элементов и различной их встречаемости они в процессе эволюции стали необходимы живым организмам в различной степени, а в отдельных случаях — и частично взаимозаменяемыми в жизненных процессах вследствие сходства строения и химических свойств.

Для геохимического распределения элементов атомная структура и строение электронных оболочек имеют решающее значение. Очевидно, что это должно определять и функциональные свойства элементов для живых организмов. Вообще, периодичность химических свойств элементов, установленная Д. И. Менделеевым, современная теория атома объясняет распределением электронов в электронной оболочке по квантовым уровням. С увеличением атомного номера элемента и соответственно числа электронов в оболочке электроны заполняют энергетические квантовые уровни в определенной последовательности.

Если придерживаться взглядов о том, что роль зеленых растений в круговороте веществ в природе заключается в поглощении и накоплении энергии, то правомочна следующая классификация элементов, учитывающая их физиологическую роль в связи с расположением в Периодической системе Д. И. Менделеева.

К структурным элементам относятся *s* и *p*-элементы Периодической системы Менделеева. При этом водород и кислород обес-

печивают в растениях передачу энергии, лабильность и функциональность всей системы жизнедеятельности, а углерод, азот, сера и фосфор — запасание энергии, образование цепных соединений и мостов между молекулами. *s*-Элементы, дающие катионы с постоянной валентностью (натрий, калий, магний, кальций), выступают регуляторами процессов оводнения, гидратации и передвижения веществ, как, по-видимому, и *p*-элементы, дающие анионы с постоянной валентностью (фтор, хлор, бром, йод), функции которых еще недостаточно изучены.

*d*-Элементы Периодической системы Менделеева — это все необходимые для растений микроэлементы с переменной валентностью (ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, молибден). Они являются биокатализаторами — регуляторами окислительно-восстановительных процессов, входят в состав ферментов, витаминов и биологически активных веществ. Известны функции других *d*-элементов, абсолютная необходимость которых как биостимуляторов и биолокаторов для растений еще не доказана. Именно к *d*-элементам относятся наиболее опасные с точки зрения экологии тяжелые металлы кадмий и ртуть.

*f*-Элементы Периодической системы (редкоземельные элементы — лантаноиды и актиниды) и радиоизотопы других элементов относятся к биогенераторам. Считают, что радиоактивные элементы важны живым организмам не только из-за своей прямой радиации, но и как возбудители других атомов. Экспериментально подтверждено положительное влияние на рост, развитие растений и их продуктивность целого ряда редкоземельных элементов — урана, радия, актиния, тория, лантана, церия, самария и др. Предполагают, что они столь же необходимы растениям, как макро- и микроэлементы, хотя по чисто количественному признаку характеризуется как ультрамикроэлементы. Их содержание в растениях составляет обычно  $10^{-6}$ — $10^{-8}$  %. Физиологические функции и абсолютная необходимость этих элементов растительным организмам еще не установлены.

**Относительное содержание азота и зольных элементов в растениях и их органах.** Оно может колебаться в широких пределах и определяется биологическими особенностями культуры, возрастом растений и условиями питания.

Основное количество азота (до 90 % общего его содержания) в репродуктивных органах растений находится в составе белка. Растительные белки содержат 14—18 % азота, т. е. в среднем 16 %. Поэтому содержание азота тесно коррелирует с содержанием белка в зерне и семенах, составляя 1/6 его часть. Белком наиболее богаты (и, следовательно, азотом) зерно бобовых и семена масличных культур, меньше его в зерне злаков (см. табл. 2,4). В вегетативных органах при созревании растений азота значительно меньше, его концентрация в соломе зерновых злаков составляет обычно 0,4—0,7 %, а зернобобовых культур — 1,0—1,5 %.

В молодых интенсивно растущих вегетативных органах и тканях концентрация азота значительно выше, чем в старых. Так, в фазе цветения зерновых злаков оптимальная для их роста и развития концентрация азота составляет 4—6 % на сухое вещество (что значительно выше, чем в зерне даже сильной пшеницы), к фазе трубчатости она снижается до 3,5—5,0 %, а колошения — до 3,0—3,5 %. Синтез белка при формировании и созревании зерна в значительной мере идет за счет реутилизации азота из вегетативных органов.

Листья, особенно молодые, богаче азотом, чем стебли и корни. Как уже отмечалось, на долю золы в товарной части урожая основных сельскохозяйственных культур приходится от 2 до 5 % массы сухого вещества, в молодых листьях и соломе зерновых, ботве корне- и клубнеплодов — 6—14 %. Наиболее высоким содержанием золы (до 40 % и более) отличаются листовые овощи (салат, шпинат).

Состав и концентрация зольных элементов у растений также существенно различаются (табл. 3,4.). В золе семян зерновых и бобовых культур сумма оксидов фосфора, калия и магния составляет до 90 %, преобладает среди них фосфор (30—50 % массы золы). Доля фосфора в золе листьев и соломы значительно меньше, в ее составе больше калия и кальция. Зола клубней картофеля, сахарной свеклы и других корнеплодов представлена преимущественно оксидом калия (40—60 % массы золы).

3. Примерное содержание отдельных элементов в золе растений, %

Культура	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>
Пшеница:							
зерно	48	30	3	12	5	2	2
солома	10	30	20	6	3	3	20
Горох:							
зерно	30	40	5	6	10	1	1
солома	8	25	35	8	6	2	10
Картофель:							
клубни	16	60	3	5	6	2	2
ботва	8	30	30	12	8	3	2
Сахарная свекла:							
корнеплоды	15	40	10	10	6	10	2
ботва	8	30	15	12	5	25	2
Подсолнечник:							
семена	40	25	7	12	3	3	3
стебли	3	50	15	7	3	2	6

4. Содержание азота, фосфора и калия в сельскохозяйственных растениях, %

Культура	Продукция	Содержание элементов питания		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
На сухое вещество				
Пшеница:				
озимая	Зерно	2,80	0,85	0,50
	Солома	0,45	0,20	0,90
яровая	Зерно	0,40	0,85	0,60
	Солома	0,67	0,20	0,75

нов может различаться вследствие геохимических особенностей почв, характера и интенсивности промышленного производства. Основными источниками поступления тяжелых металлов в природную среду служат предприятия черной и цветной металлургии, тепловые станции, транспорт.

Постоянное потребление растительной продукции даже со слабозагрязненных почв может из-за кумулятивного действия тяжелых металлов (накапливающихся преимущественно в почках и печени) приводить к их накоплению в живых организмах в токсичных количествах.

### 2.1.3. СЕРТИФИКАЦИЯ РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

В соответствии с «Законом о защите прав потребителей» и другими законодательными актами в нашей стране действует система сертификации пищевых продуктов и продовольственного сырья. Она осуществляет испытание и контроль за качеством продукции для определения ее соответствия обязательным требованиям государственных стандартов и директивных нормативных документов. Целью этих документов является обеспечение безопасности жизни, здоровья людей и окружающей среды. Сертификации подвергают и растениеводческую продукцию, используемую в пищевых и кормовых целях, а также как сырье для перерабатывающей промышленности. Сертификацию производят по заявке сельскохозяйственного производителя специальные независимые органы, получившие право на проведение этой работы от Госстандарта России.

Идентификацию продукции и проверку ее соответствия показателям качества и безопасности проводят на основании результатов испытаний проб в лабораториях с использованием разнообразных методов инструментального анализа по аттестованным методикам. Испытательные лаборатории оснащены современными приборами и оборудованием, укомплектованы квалифицированными кадрами. Результаты испытаний должны подтвердить соответствие продукции по качеству и безопасности требованиям, установленным в государственных стандартах, санитарных нормах и правилах. Объем сертификационных испытаний зависит от вида продукции и характера ее использования.

В основных видах растениеводческой продукции помимо показателей качества контролируют содержание остаточных количеств пестицидов, тяжелых металлов, микотоксинов. При обязательной сертификации плодов, овощей и продуктов их переработки предусмотрено определение нитратов. Контролируют также содержание радионуклидов цезия и стронция. Особенно жестко регламентируют качество и безопасность растениеводческой продукции,

используемой для детского питания. На основании испытаний заявителю выдают специальный документ — сертификат соответствия.

При наличии у заявителя документов от соответствующих государственных служб, подтверждающих безопасность продукции и технологии ее производства, допускается сокращение объема сертификационных испытаний. Так, правила сертификации пищевой растениеводческой продукции, производимой фермерскими хозяйствами, а также кормов сельскохозяйственного производства предусматривают признание в качестве документов, подтверждающих безопасность продукции, выдаваемых агрохимической службой паспортов полей или сертификата качества почв хозяйства, а также заключения регионального центра агрохимической службы или станции защиты растений о применении средств химизации (удобрений, пестицидов, стимуляторов роста, биопрепаратов и мелиорантов).

На агрохимическую службу возложено проведение работ по контролю за качеством кормов для сельскохозяйственных животных. При этом оценивают не только необходимую для составления рационов кормления питательную ценность кормов, но и их соответствие требованиям, направленным на предупреждение болезней животных, выпуск полноценных и безопасных в ветеринарном отношении продуктов животноводства, а также на защиту населения от общих для человека и животных болезней. Ветеринарно-санитарные требования и нормы безвредности (безопасности) кормов и кормовых добавок разрабатывает ветеринарная служба. Контроль за производством комбикормов и кормовых добавок и соответствием их качества проводит Государственная ветеринарная инспекция.

## 2.2. ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ И ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ПОГЛОЩЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

Высшие растения относятся к автотрофным организмам, т. е. они сами синтезируют органические вещества за счет минеральных соединений\*, в то время как для животных и подавляющего большинства микроорганизмов характерен гетеротрофный тип питания — использование органических веществ, ранее синтезированных другими организмами.

Накопление сухого вещества растений происходит благодаря

---

\* Доказана принципиальная возможность непосредственного усвоения растениями таких органических соединений, как витамины, антибиотики, ростовые вещества, аминокислоты. Однако размеры усвоения этих веществ незначительны и играют весьма ограниченную роль в питании растений.

усвоению диоксида углерода через листья (воздушное питание), а воды, азота и зольных элементов — из почвы через корни (корневое питание).

### 2.2.1. ВОЗДУШНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

**Фотосинтез** — основной процесс, приводящий к образованию необходимых для жизни органических веществ в зеленых растениях. При фотосинтезе солнечная энергия в зеленых частях растений, содержащих хлорофилл, превращается в химическую энергию, которая используется на синтез углеводов из диоксида углерода и воды.

При световой фазе процесса фотосинтеза происходит реакция разложения воды с выделением кислорода и образованием богатого энергией соединения — аденозинтрифосфата (АТФ) и восстановленных продуктов. Эти соединения участвуют в следующей темновой фазе фотосинтеза в образовании углеводов и других органических соединений из  $\text{CO}_2$ .

При образовании в качестве продукта фотосинтеза простых углеводов (гексоз) суммарное уравнение процесса выглядит так:  $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 2874 \text{ кДж} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ . Путем дальнейших превращений из простых углеводов в растениях образуются более сложные, а также другие безазотистые органические соединения. Синтез аминокислот, белка и других органических азотсодержащих веществ в растениях происходит за счет минеральных соединений азота, фосфора и серы и промежуточных продуктов обмена (синтеза и разложения) углеводов. На образование большого числа сложных органических веществ, входящих в состав растений, затрачивается энергия, аккумулированная в виде макроэргических фосфатных связей АТФ (и других макроэргических соединений) при фотосинтезе и выделяемая при окислении (в процессе дыхания) ранее синтезированных органических соединений.

Интенсивность фотосинтеза и накопление сухого вещества зависят от освещения, содержания диоксида углерода в воздухе, обеспеченности растений водой и элементами минерального питания.

При фотосинтезе растения усваивают углекислоту, поступившую через листья из атмосферы. Через листья растения могут усваивать серу в виде  $\text{SO}_2$  из атмосферы, а также азот и зольные элементы из водных растворов при некорневых подкормках растений. Однако в естественных условиях через листья осуществляется главным образом углеродное питание, а основным путем поступления в растения воды, азота и зольных элементов служит корневое питание.

### 2.2.2. КОРНЕВОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Азот и зольные элементы поглощаются из почвы деятельной поверхностью корневой системы растений в виде ионов (анионов и катионов). Так, азот может поглощаться в виде аниона  $\text{NO}_3^-$  и катиона  $\text{NH}_4^+$  (только бобовые растения способны в симбиозе с клубеньковыми бактериями усваивать молекулярный азот атмосферы), фосфор и сера — в виде анионов фосфорной и серной кислот —  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , калий, кальций, магний, натрий, железо — в виде катионов  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , а микроэлементы — в виде соответствующих анионов или катионов.

Растения усваивают ионы не только из почвенного раствора, но и поглощенные коллоидами. Более того, растения активно благодаря растворяющей способности корневых выделений, включающих угольную кислоту, органические кислоты и аминокислоты) воздействуют на твердую фазу почвы, переводя необходимые питательные вещества в доступную форму.

**Корневая система растений и ее поглотительная способность.** Мощность корневой системы, ее строение и характер распределения в почве у разных видов растений резко различаются. Для примера достаточно сравнить слабо развитые корешки салата с корневой системой капусты, картофеля или томата, сопоставить объемы почвы, которые охватывают корни таких корнеплодов, как редис и сахарная свекла. Активная часть корней, поглощающая элементы минерального питания из почвы, представлена молодыми растущими корешками. По мере нарастания каждого отдельного корешка верхняя его часть утолщается, снаружи покрывается опробованной тканью и теряет способность к поглощению питательных веществ.

Рост корня происходит у самого его кончика, защищенного корневым чехликом (рис. 5). В непосредственной близости от концов корешков располагается зона делящихся меристематических клеток. Выше ее находится зона растяжения, где наряду с увеличением объема клеток и образованием в них центральной вакуоли начинается дифференциация тканей с формированием флоэмы — нисхо-

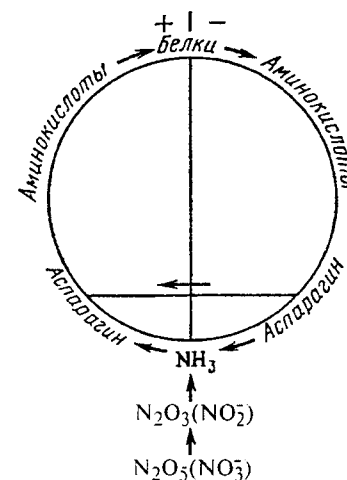


Рис. 5. Превращение азотистых веществ в растениях (по Д. Н. Прянишникову)



лящей части сосудисто-проводящей системы растений, по которой происходит передвижение органических веществ из надземных органов в корень. На расстоянии 1—3 мм от кончика растущего корня расположена зона образования корневых волосков. В этой зоне завершается формирование и восходящей части проводящей системы — ксилемы, по которой движется вода (а также часть поглощенных ионов и синтезированные в корнях органические соединения) от корня в надземную часть растений.

Корневые волоски представляют собой тонкие выросты наружных клеток диаметром 5—72 мкм и длиной от 80 до 1500 мкм. Число корневых волосков достигает нескольких сотен на 1 мм поверхности корня в этой зоне. За счет образования корневых волосков в десятки раз возрастает деятельная, способная к поглощению питательных веществ, поверхность корневой системы, находящаяся в контакте с почвой (табл. 5).

##### 5. Сравнительное развитие корней и корневых волосков у различных культур

Культура	Корни		Корневые волоски		
	длина, м	поверхность, см <sup>2</sup>	число, млн	длина, м	поверхность, см <sup>2</sup>
Овес	4,6	316	6,3	74	3419
Рожь	6,4	503	12,5	1549	7677
Соя	2,9	406	6,1	60	277
Мятлик луговой	38,4	2129	51,6	5166	15806

Примечание. Определение длины и поверхности корней и корневых волосков проводили в полевых условиях в пробе почвы, отобранной буром диаметром 7,5 см на глубину 15 см.

Влияние корневой системы распространяется на большой объем почвы благодаря постоянному росту корней и возобновлению корневых волосков. Старые корневые волоски (продолжительность жизни каждого составляет несколько суток) отмирают, а новые непрерывно образуются уже на других участках растущего корешка. На том участке корня, где корневые волоски отмерли, кожа пробковевает, поступление воды и поглощение питательных веществ из почвы через нее ограничиваются. Скорость роста корней у однолетних полевых культур может достигать 1 см в сутки. Растущие молодые корешки извлекают необходимые ионы из почвенного раствора с расстояния до 20 мм, а ионы, поглощенные почвой, — до 8 мм.

По мере нарастания корня происходит, следовательно, непрерывное пространственное перемещение зоны активного поглощения в почве. При этом наблюдается явление *хемотропизма*, сущность которого заключается в том, что корневая система растений усиленно растет в направлении расположения доступных питательных веществ (*положительный хемотропизм*) либо ее рост тормозится в зоне высокой, неблагоприятной для растений концентрации солей (*отрицательный хемотропизм*). Недостаток элементов

питания растений в доступной форме вызывает, как правило, образование относительно большей массы корней, чем при высоком уровне минерального питания.

Наиболее интенсивно поглощение ионов происходит в зоне образования корневых волосков, и поступившие ионы отсюда передвижаются в надземные органы растений.

Поглощение корнями и транспорт питательных элементов тесно связаны с процессами обмена веществ и энергии в растительных организмах, с жизнедеятельностью и ростом как надземных органов, так и корней. Процесс дыхания служит источником энергии, необходимой для активного поглощения элементов минерального питания. Этим обусловлена тесная связь между интенсивностью поглощения растениями элементов питания и дыханием корней. При ухудшении роста корней и торможении дыхания (при недостатке кислорода в условиях плохой аэрации или избыточном увлажнении почвы) поглощение питательных веществ резко ограничивается.

Для нормального роста и дыхания корней необходим постоянный приток к ним энергетического материала — продуктов фотосинтеза (углеводов и других органических соединений) из надземных органов. При ослаблении фотосинтеза вследствие снижения продолжительности и интенсивности освещения уменьшаются образование и передвижение ассимилятов в корни, вследствие чего ухудшаются их рост и жизнедеятельность, поглощение питательных веществ из почвы. Необходимо отметить, что в корне идет не только поглощение, но и синтез отдельных органических соединений, в том числе аминокислот и белков. Последние используются для обеспечения жизнедеятельности и процессов роста самой корневой системы, а также частично транспортируются в надземные органы. Через корни растениями поглощается и небольшая часть диоксида углерода (до 5 % общего его потребления) из почвенного воздуха.

Почвенный воздух отличается от атмосферного повышенным содержанием диоксида углерода (в среднем около 1 %, иногда до 2—3 % и более) и меньшим — кислорода. Состав почвенного воздуха зависит от интенсивности газообмена между почвой и атмосферой. Образование диоксида углерода в почве происходит в результате разложения органического вещества микроорганизмами и дыхания корней. Образующийся CO<sub>2</sub> частично выделяется из почвы в атмосферу, улучшая воздушное питание растений, а частично растворяется в почвенной влаге, образуя угольную кислоту (H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub> = H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Последняя вызывает подкисление раствора, в результате чего усиливаются растворение и перевод в усвояемую для растений форму содержащихся в почве нерастворимых минеральных соединений P, K, Ca, Mg и др.

При избыточном увлажнении почвы и плохой аэрации содержание CO<sub>2</sub> в почвенном воздухе повышается, а количество кислорода снижается до 8 % и менее, что отрицательно сказывается на



дыхании корней, росте и развитии растений и почвенных микроорганизмов.

Рост корней и поступление питательных веществ в растение, следовательно, заметно снижаются при плохой аэрации почвы, низкой и слишком высокой температуре, избытке или резком недостатке влаги в почве.

На поступление питательных элементов особенно сильно влияют реакция почвенного раствора, концентрация и соотношение солей в нем.

Наиболее важно для питания растений присутствие в почвенном растворе ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и постоянное их пополнение. Содержание в почвенном растворе катионов  $\text{H}^+$  и  $\text{Na}^+$  определяет его реакцию, от которой сильно зависят рост и развитие растений. Общее содержание ионов в почвенном растворе обычно незначительное, и лишь в засоленных почвах количество в растворе ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и других может быть повышенным.

Поступление солей в почвенный раствор зависит от хода процессов выветривания и разрушения минералов, разложения органического вещества в почве, внесения органических и минеральных удобрений.

Концентрация раствора в незасоленных почвах невелика и обычно составляет на 1 л десятые доли граммов, а в засоленных почвах достигает нескольких, а иногда десятков граммов. При избыточной концентрации солей в почвенном растворе (например, в засоленных почвах) поглощение растениями воды и питательных элементов резко замедляется.

Корни растений имеют очень высокую усваивающую способность и могут поглощать питательные элементы из сильно разбавленных растворов. Большинство растений нормально развивается при содержании N и  $\text{K}_2\text{O}$  по 20—30 мг и  $\text{P}_2\text{O}_5$  10—15 мг на 1 л раствора и даже при значительно более низкой концентрации, если она поддерживается на том же уровне.

Для нормального развития корней важное значение имеет также соотношение солей в растворе, его физиологическая уравновешенность. *Физиологически уравновешенным* называется раствор, в котором отдельные питательные элементы находятся в таких соотношениях, при которых происходит наиболее эффективное использование их растением. Раствор, представленный какой-либо одной солью, физиологически не уравновешен.

Одностороннее преобладание (высокая концентрация) в растворе одной соли, особенно избыток какого-либо одновалентного катиона, оказывает вредное действие на растение. Развитие корней происходит лучше в многосолевом растворе. В нем проявляется *антагонизм* ионов — каждый ион взаимно препятствует избыточному поступлению другого иона в клетки корня. Например,

$\text{Ca}^{2+}$  в высоких концентрациях тормозит избыточное поступление  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  или  $\text{Mg}^{2+}$  и наоборот. Подобные антагонистические отношения существуют для ионов  $\text{K}^+$  и  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и др. Антагонизм сильнее проявляется между одноименно заряженными ионами и когда концентрация одного иона в растворе значительно превышает концентрацию другого.

В процессе поступления питательных веществ в растения проявляется *синергизм* ионов, когда поглощение одних ионов способствует лучшему поглощению других.

Физиологическая уравновешенность легче всего восстанавливается при введении в раствор солей кальция. При наличии в растворе кальция создаются нормальные условия для развития корневой системы, поэтому в искусственных питательных смесях катион кальция должен преобладать над всеми другими ионами. Особенно сильно ухудшаются развитие корней и поступление в них питательных элементов при высокой концентрации ионов водорода, т. е. при повышенной кислотности раствора. Высокая концентрация в растворе ионов водорода отрицательно влияет на физико-химическое состояние цитоплазмы клеток корня. Наружные клетки корня ослизняются, нарушается их нормальная проницаемость, ухудшаются рост корней и поглощение ими питательных элементов. Отрицательное действие кислой реакции сильнее проявляется при отсутствии или недостатке в растворе других катионов, особенно кальция. Кальций тормозит поступление ионов  $\text{H}^+$ , поэтому при повышенном количестве его растения способны переносить более кислую реакцию, чем без кальция.

Реакция раствора влияет на интенсивность поступления отдельных ионов в растение и обмен веществ. При кислой реакции (т. е. при большей концентрации катионов водорода) повышается поступление анионов, но ограничивается поступление катионов, нарушается питание растений кальцием и магнием и тормозится синтез белка, подавляется образование сахаров в растении. При щелочной реакции усиливается поступление катионов и затрудняется поступление анионов.

В то же время концентрация отдельных ионов в клеточном соке, как и в пасоке растений (транспортируемой по ксилеме из корней в надземные органы), чаще всего значительно выше, чем в почвенном растворе. В этом случае поглощение питательных веществ растениями невозможно за счет диффузии и должно происходить против градиента концентрации с затратой метаболической энергии. Исследования с применением меченых атомов убедительно показали, что поглощение питательных веществ и дальнейшее их передвижение в растении происходят со скоростью, в сотни раз превышающую возможную за счет диффузии и пассивного транспорта по сосудисто-проводящей системе с током воды.

Кроме того, не существует прямой зависимости поглощения питательных веществ корнями растений от интенсивности транспирации, количества поглощенной и испарившейся влаги.

Растения одновременно поглощают как катионы, так и анионы. При этом отдельные ионы поступают в растение совсем в другом соотношении, чем в почвенном растворе. Одни ионы поглощаются корнями в большем, другие — в меньшем количестве и с разной скоростью даже при одинаковой их концентрации в окружающем растворе. Совершенно очевидно, что пассивное поглощение, основанное на диффузии и осмосе, не может иметь существенного значения в питании растений, посящем ярко выраженный избирательный характер.

Это подтверждает положение о том, что поглощение питательных веществ растениями происходит не просто путем пассивного всасывания корнями почвенного раствора вместе с содержащимися в нем солями, а является активным физиологическим процессом, который обязательно требует затрат энергии и неразрывно связан с жизнедеятельностью корней и надземных органов растений, с процессами фотосинтеза, дыхания и обмена веществ\*.

Различные питательные элементы в неодинаковой степени используются в процессах внутриклеточного обмена в растении для синтеза органических веществ и построения новых органов и тканей. Этим и определяются неравномерность поступления отдельных ионов в корни, избирательное поглощение их растениями. В растение из почвы больше поступает тех ионов, которые более необходимы для синтеза органических веществ, построения новых клеток, тканей и органов.

Физиологическая реакция солей обусловлена не химическим их составом, а деятельностью самих растительных организмов, обладающих избирательным поглощением питательных веществ в составе катионов и анионов соли.

Если в растворе присутствует  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , то растения интенсивнее и в больших количествах поглощают (в обмен на ионы водорода) катионы  $\text{NH}_4^+$ , поскольку они используются для синтеза аминокислот, а затем и белков. В то же время ионы  $\text{Cl}^-$  необходимы растению в небольшом количестве, поэтому поглощение их ограничено. В почвенном растворе в этом случае будут накапливаться ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{Cl}^-$  (анионы соляной кислоты), произойдет его подкисление.

Если в растворе содержится  $\text{NaNO}_3$ , то растение будет в больших количествах и быстрее поглощать анионы  $\text{NO}_3^-$  в обмен на анионы  $\text{HCO}_3^-$ . В растворе будут накапливаться ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{NaHCO}_3$ ), произойдет его подщелачивание.

\*Процесс фотосинтеза и механизмы поглощения питательных веществ растениями изучают в курсе «Физиология растений».

Избирательное поглощение растениями катионов и анионов из состава соли обуславливает ее физиологическую кислотность или физиологическую щелочность.

Соли, из состава которых в больших количествах поглощается анион, чем катион [ $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ], и в результате происходит подщелачивание раствора, являются *физиологически щелочными*.

Соли, из которых катион поглощается растениями в больших количествах, чем анион [ $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ], и в результате происходит подкисление раствора, являются *физиологически кислыми*.

Физиологическую реакцию солей, используемых в качестве минеральных удобрений, нужно обязательно учитывать во избежание ухудшения условий роста и развития сельскохозяйственных культур, особенно на малобufferных почвах.

Жизнедеятельность растений осуществляется в тесном взаимодействии с огромным количеством населяющих почву разнообразных организмов (бактерий, актиномицетов, микроскопических грибов, водорослей, дождевых червей и прочих простейших), составляющих почвенно-биотический комплекс. В широком смысле от состава, численности и биологической активности почвенной биоты зависят плодородие почвы, ее «здоровье», уровень производства и качество сельскохозяйственной продукции, состояние окружающей среды.

Питание растений связано с деятельностью почвенной биоты, в том числе различных многочисленных групп гетеротрофных и автотрофных, аэробных и анаэробных почвенных микроорганизмов. Наиболее активно микробиота функционирует в верхнем гумусовом слое почвы, где сосредоточен основной запас органического вещества и питательных веществ. Количество микроорганизмов особенно велико в ризосфере, т. е. в той части почвы, которая непосредственно соприкасается с поверхностью корней. Используя в качестве источника питания и энергетического материала корневые выделения, микроорганизмы активно развиваются на корнях и вблизи них и способствуют мобилизации питательных веществ почвы.

Ризосферные и почвенные микроорганизмы играют важную роль в превращении питательных веществ почвы и удобрений. Микроорганизмы разлагают органическое вещество почвы, растительные пожнивные и корневые остатки, внесенные органические удобрения, в результате содержащиеся в них элементы питания переходят в усвояемую для растений минеральную форму. Высвободившийся при минерализации органических азотистых соединений аммонийный азот подвергается нитрификации.

Параллельно с разложением органического вещества в почве наблюдаются процессы гумификации и иммобилизации элементов минерального питания вследствие биологического поглощения.

Некоторые почвенные микроорганизмы обладают способностью фиксировать газообразный атмосферный азот и вовлекать его в круговорот питательных веществ в земледелии. Помимо симбиотических азотфиксаторов (клубеньковых бактерий), живущих на корнях бобовых растений, в почве функционируют азотфиксаторы свободноживущие и ассоциативные, которые обитают в ризосфере различных (в том числе небобовых) культур.

В процессе жизнедеятельности почвенные микроорганизмы активно воздействуют на первичные и вторичные минералы почвы. Известны микроорганизмы, обладающие повышенной способностью переводить в доступную для растений форму фосфор и калий минеральной части почв.

При определенных условиях в результате деятельности микроорганизмов питание и рост растений ухудшаются. Микроорганизмы потребляют для питания и построения своих тел азот и зольные элементы, т. е. могут стать конкурентами растений в использовании минеральных веществ. Имобилизация питательных элементов микроорганизмами носит временный характер, так как после их отмирания элементы питания могут высвободиться в минеральной форме и вновь использоваться растениями. Иногда процесс имобилизации выражен настолько сильно, что неблагоприятно отражается на питании растений. Рассмотрим пример, когда в почву внесено большое количество свежего органического вещества, богатого клетчаткой, но бедного азотом (соломы, соломистого навоза). Микроорганизмы, получив источник энергетического материала, быстро размножаются и интенсивно потребляют минеральные соединения азота из почвы, закрепляя азот в органической форме. В результате питание растений азотом ухудшается и может снижаться урожай. Последующая минерализация имобилизованного азота происходит постепенно, по мере естественного возобновления микробной биомассы. Считается, что полное ее возобновление в почве происходит на протяжении биологически активного периода года раз в декаду.

Благодаря огромной численности микроорганизмов, относительно короткой продолжительности их жизни и высокой скорости регенерации в биологический круговорот вовлекается большое количество микробной биомассы. При ее минерализации улучшается снабжение растений элементами питания. Прижизненное высвобождение микроорганизмами продуктов своего метаболизма (ферментов, витаминов, антибиотиков, ростовых и других биологически активных веществ) положительно сказывается на росте, развитии и продуктивности растений. Известно защитное действие микроорганизмов почвы от фитопатогенных форм бактерий и грибов. Высокая ферментативная активность почвенных микроорганизмов обуславливает их важное значение в разложении различных органических токсикантов.

Следует знать, что некоторые микроорганизмы выделяют ядо-

витые для растений вещества или являются возбудителями различных заболеваний. В почве имеются также микроорганизмы, восстанавливающие нитраты до молекулярного азота (денитрификаторы) и вызывающие большие газообразные потери внесенного азота удобрений и минерализуемого почвенного азота.

Очевидна необходимость создания с помощью приемов агротехники и мелиорации почв оптимальных условий не только для роста и развития растений, но и для нормального функционирования почвенной биоты как важного фактора плодородия почв и питания растений, экологической устойчивости и безопасности сельскохозяйственного производства.

### 2.3. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА РОСТ, РАЗВИТИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ

Несмотря на резкие различия в количественной потребности, функции каждого макро- и микроэлемента в растениях строго специфичны, ни один элемент не может быть полноценно заменен другим, т. е. они физиологически равноценны. Недостаток любого макро- и микроэлемента приводит к нарушению обмена веществ и физиологических процессов у растений, ухудшению их роста и развития, снижению урожая и его качества. При остром дефиците элементов питания у растений появляются характерные признаки голодания.

**Азот.** Входит в состав белков, ферментов, нуклеиновых кислот, хлорофилла, алкалоидов, фосфатидов, большинства витаминов и других органических азотистых соединений, которые играют важную роль в процессах обмена веществ в растениях.

Основными источниками азота для растений в естественных условиях служат соли азотной кислоты и аммония; поглощение идет в виде анионов  $\text{NO}_3^-$  и катионов  $\text{NH}_4^+$ . Синтез органических азотистых соединений до белка включительно происходит через аммиак, образованием аммиака завершается и их распад (см. рис. 5). Аммиак, по образному выражению Д. Н. Прянишникова, есть альфа и омега в обмене азотистых веществ в растениях.

Нитраты, поступившие в растения, восстанавливаются с участием металлсодержащих ферментов через нитриты до аммиака. Для самих растений нитраты безвредны и могут накапливаться в их тканях в значительных концентрациях. Однако нитраты и нитриты в повышенных количествах опасны для теплокровных, вызывают заболевание метгемоглобинемией (вместо гемоглобина в крови образуется метгемоглобин, нарушается снабжение тканей кислородом, развивается синюшность) и могут быть предшественниками канцерогенных соединений — нитрозаминов.

Синтез некоторых аминокислот идет за счет присоединения аммиака к органическим кетокислотам. Аспарагиновая и глутаминовая аминокислоты могут присоединять еще по одной молекуле аммиака, давая амиды — аспарагин и глутамин. Эти соединения служат для детоксикации избыточных количеств аммиака и в качестве источника аминогрупп при синтезе различных аминокислот в реакциях переаминирования.

Растения способны усваивать и амидный азот мочевины, поступивший через корни или листья, после ферментативного гидролиза ее до аммиака или путем непосредственного включения амидного азота в состав органических соединений.

В процессе роста и развития в растениях постоянно синтезируется огромное количество разнообразных белков. Для биосинтеза белков, как и других сложных органических соединений, требуются затраты большого количества энергии. Основные источники ее в растениях — фотосинтез и дыхание (окислительное фосфорилирование), поэтому между синтезом белка и интенсивностью дыхания и фотосинтеза существует тесная связь.

Наряду с синтезом белков в растениях происходит распад их под действием протеолитических ферментов на аминокислоты с отщеплением аммиака. В молодых растущих растениях или органах синтез белков превышает распад, по мере старения процессы расщепления активизируются и начинают преобладать над синтезом.

Наиболее интенсивно растения поглощают и усваивают азот в период максимального роста и образования вегетативных органов (стеблей и листьев). Из физиологически устаревших частей растений, в которых преобладает распад белка, продукты его гидролиза передвигаются в молодые растущие вегетативные, а затем репродуктивные органы, где снова используются на синтез белка. Поэтому растущие органы растений отличаются повышенной концентрацией азота. В листьях она обычно выше, чем в стеблях и корнях. По мере старения относительное содержание азота в тканях вегетативных органов снижается. В соломе при полной спелости зерновых, бобовых и масличных культур значительно меньше азота, чем в семенах.

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

Характерные признаки азотного голодания: торможение роста вегетативных органов растений и появление бледно-зеленой или желто-зеленой окраски листьев из-за нарушения образования хлорофилла. Азот повторно используется (реутилизируется) в расте-

ниях, и признаки его недостатка проявляются сначала у нижних листьев. Пожелтение начинается с жилок листа, затем распространяется к краям листовой пластинки. При остром длительном азотном голодании бледно-зеленая окраска листьев растений переходит (в зависимости от вида растений) в различные тона желтого, оранжевого и красного цветов, пораженные листья высыхают и преждевременно отмирают. При нормальном снабжении азотом листья темно-зеленые, растения хорошо кустятся, формируют мощный ассимиляционный стебле-листовой аппарат и полноценные репродуктивные органы.

Избыточное, особенно одностороннее, снабжение азотом может замедлить развитие (созревание) растений и ухудшить структуру урожая, поскольку образуется большая вегетативная масса в ущерб товарной части урожая. У корне- и клубнеплодов избыток азота приводит к израстанию в ботву, у зерновых культур и льна — вызывает полегание посевов. Избыточное азотное питание ухудшает и качество продукции. В корнеплодах сахарной свеклы снижается концентрация сахара и возрастает в процессе сахароварения содержание «вредного» небелкового азота, у картофеля снижается содержание крахмала, в овощной и бахчевой продукции и кормах накапливаются потенциально опасные для человека и животных количества нитратов.

**Фосфор.** Из органических соединений фосфора наиболее важную роль в растениях играют нуклеиновые кислоты — сложные высокомолекулярные вещества, состоящие из азотистых оснований, молекулы углеводов (рибозы или дезоксирибозы) и фосфорной кислоты. Они участвуют в самых важных процессах жизнедеятельности организмов — синтезе белка, росте и размножении, передаче наследственных свойств. Нуклеиновые кислоты образуют комплексы с белками — нуклеопротеиды, участвующие в построении цитоплазмы и ядра клеток. Фосфор входит в состав фосфатидов (фосфолипидов), которые образуют белково-липидные клеточные мембраны и регулируют их проницаемость для различных веществ. Значительное количество фосфора в растениях находится в составе фитина — запасного вещества семени, используемого как источник этого элемента во время прорастания. Важная группа фосфорорганических соединений в тканях растений — сахарофосфаты, образующиеся в процессах фотосинтеза, синтеза и распада углеводов. Фосфор входит также в состав витаминов и многих ферментов.

Минеральные фосфаты присутствуют в тканях растений обычно в небольших количествах, но играют важную роль в создании буферной системы клеточного сока и служат резервом для образования органических фосфорсодержащих соединений.

Фосфор имеет большое значение в энергетическом обмене и в разнообразных процессах обмена веществ в растительных организмах. Он участвует в углеводном и азотном обмене, в процессах фотосинтеза, дыхания и брожения. Энергия солнечного света в

процессе фотосинтеза и энергия, выделяемая при окислении в процессе дыхания ранее синтезированных органических соединений, аккумулируется в растениях в виде энергии фосфатных связей макроэргических соединений. Важнейшее из таких соединений — АТФ. Накопленная в АТФ энергия используется для всех жизненных процессов роста и развития растения, в том числе для поглощения питательных веществ из почвы, синтеза органических соединений, их транспорта. При недостатке фосфора нарушается обмен энергии и веществ в растениях.

Фосфора, как и азота, больше всего содержится в репродуктивных и молодых растущих органах и частях растения, где интенсивно идут процессы синтеза органического вещества. Из более старых листьев фосфор может передвигаться к зонам роста и использоваться повторно, поэтому внешние признаки его недостатка проявляются у растений прежде всего на нижних листьях.

Растения наиболее чувствительны к недостатку фосфора в самом раннем возрасте, когда их слаборазвитая корневая система обладает низкой усвояющей способностью. Отрицательное действие недостатка фосфора в этот период не может быть исправлено последующим даже обильным фосфорным питанием.

Важную роль играет обеспечение растений фосфором и в период формирования репродуктивных органов. Его недостаток в этот период тормозит развитие и задерживает созревание растений, вызывает снижение урожая и ухудшение качества продукции.

При недостатке фосфора растения резко замедляют рост, листья их приобретают (сначала с краев, а затем по всей поверхности) серо-зеленую, пурпурную или красно-фиолетовую окраску. У зерновых злаков при дефиците фосфора уменьшаются кушение и образование плодородных стеблей. Признаки фосфорного голодания обычно проявляются уже в начальный период развития растений, когда они имеют слаборазвитую корневую систему и не способны усваивать труднорастворимые фосфаты почвы.

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

Калий положительно влияет на интенсивность фотосинтеза, окислительных процессов и образование органических кислот в растениях, его участие в углеводном и азотном обмене. Если калия не хватает, то синтез белка в растениях тормозится, в результате происходит нарушение всего азотного обмена. Недостаток калия особенно сильно проявляется при питании растений аммоний-

ным азотом. При недостатке калия задерживается превращение простых углеводов (моносахаридов) в более сложные (ди- и полисахариды).

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

Под влиянием калия растения становятся морозоустойчивее, что связано с повышением содержания сахаров и увеличением осмотического давления в клетках. При достаточном калийном питании повышается устойчивость растений к различным заболеваниям, например у хлебных злаков — к мучнистой росе и ржавчине, у овощных культур, картофеля и корнеплодов — к возбудителям гнилей. Калий положительно влияет на прочность стеблей и устойчивость растений к полеганию, на выход и качество волокна льна и конопли.

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

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

Калия обычно больше в вегетативных органах, чем в семенах, корнеплодах и клубнях (см. табл. 4).

При недостатке калия развитие репродуктивных органов угнетается — задерживается развитие бутонов и зачаточных соцветий, зерно получается щуплым, с пониженной всхожестью.

Явные внешние признаки калийного голодания наблюдаются у растений при снижении содержания в них калия в 3—5 раз по сравнению с нормальным.

Внешние признаки калийного голодания проявляются прежде всего на старых листьях. Это выражается в побурении краев листовых пластинок — «краевой запал». Края и кончики листьев приобретают обожженный вид, на пластинках появляются мелкие ржавые крапинки. При недостатке калия клетки растут неравномерно, что вызывает гофрированность, куполообразное закручивание листьев. У картофеля на листьях образуется также характерный бронзовый налет.

Особенно часто недостаток калия проявляется при возделывании картофеля, корнеплодов, капусты, силосных культур и многолетних трав. Зерновые злаки менее чувствительны к недостатку калия. Но и они при остром дефиците калия плохо кустятся, меж-

теблей укорачиваются, а листья, особенно нижние, увя-  
дают при достаточном количестве влаги в почве.

**Кальций.** Играет важную роль в фотосинтезе и передвижении  
веществ, в процессах усвоения азота растениями. Он участвует в  
образовании клеточных оболочек, обуславливает обводнен-  
ное поддержание структуры клеточных органелл.

Дефицит кальция сказывается прежде всего на состоянии  
клеточной системы растений: рост корней замедляется, корневые  
кончики не образуются, корни ослизняются и загнивают. При де-  
фиците кальция тормозится также рост листьев, у них появляется  
пестроточечность, затем они желтеют и преждевременно  
опадывают. Кальций в отличие от азота, фосфора, калия не может  
быть использован повторно, поэтому признаки кальциевого голода-  
ния проявляются прежде всего на молодых листьях. Недостаток  
кальция может наблюдаться при возделывании культур на кислых  
почвах, особенно легкого гранулометрического состава.

**Магний.** Входит в состав хлорофилла, участвует в передвиже-  
нии веществ в растениях и углеводном обмене, влияет на актив-  
ность окислительно-восстановительных процессов. Магний нахо-  
дится также в составе основного фосфорсодержащего запасного  
энергетического соединения — фитина. При недостатке магния  
снижается содержание хлорофилла в зеленых частях растений и  
появляется хлороз между жилками листа (жилки остаются зеле-  
ными). Острый дефицит магния вызывает «мраморность» ли-  
стьев, скручивание и пожелтение. Недостаток магния у сель-  
скохозяйственных культур проявляется чаще на бедных этим эле-  
ментом почвах и супесчаных почвах с кислой реакцией.

**Сера.** Имеет важное значение в жизни растений. Основное ко-  
личество ее находится в растительных белках (сера входит в состав  
аминокислот цистеина, цистина и метионина) и других органи-  
ческих соединениях — ферментах, витаминах, горчичных и чес-  
ночных маслах. Сера принимает участие в азотном и углеводном  
обмене растений, в процессе дыхания и синтезе жиров. Больше  
содержат растения из семейства бобовых и капустных (крес-  
совых), а также картофель. При недостатке серы образуются  
листья со светлой желтоватой окраской, листья на вытянутых  
стеблях ухудшаются, замедляется рост и развитие растений.

**Железо.** Входит в состав окислительно-восстановительных  
ферментов растений и участвует в синтезе хлорофилла, процессах  
окисления и обмена веществ. При недостатке железа (проявляется  
особенно только на карбонатных почвах) вследствие нарушения об-  
разования хлорофилла у сельскохозяйственных культур, особенно  
картофеля, и плодовых деревьев развивается хлороз. Листья те-  
мной зеленой окраски, затем белеют и преждевременно опадают.

Сильно влияет на углеводный, белковый, нуклеиновый  
и другие биохимические процессы в растениях. При его не-  
достатке нарушаются синтез и особенно передвижение углеводов,

формирование репродуктивных органов, оплодотворение и пло-  
доношение. Бор не может реутилизироваться в растениях, поэто-  
му при его недостатке страдают прежде всего молодые растущие  
органы, происходит отмирание точек роста.

Более требовательны к бору и чувствительны к его недостатку  
корнеплоды, подсолнечник, бобовые культуры, лен, картофель и  
овощные растения. У сахарной, кормовой и столовой свеклы де-  
фицит бора вызывает поражение гнилью сердечка и появление  
дуплистости корнеплодов. Лен при недостатке бора поражается  
бактериозом. Отмирание верхушечной точки роста приводит к  
усиленному образованию боковых побегов, которые также оста-  
навливаются в росте, резко снижаются выход и качество волокна.  
У подсолнечника острый дефицит бора вызывает полное отмира-  
ние точки роста, при более позднем проявлении недостатка бора  
наблюдаются ненормальное развитие цветков, пустоцвет и сниже-  
ние урожая семян. При борном голодании бобовых культур нару-  
шается развитие клубеньков на корнях и снижается симбиотичес-  
кая фиксация молекулярного азота из атмосферы, замедляются  
рост и формирование репродуктивных органов. Картофель при  
недостатке бора поражается паршой, у плодовых деревьев появля-  
ется суховершинность, развиваются наружная пятнистость и оп-  
робкование тканей плодов. Недостаток бора чаще проявляется на  
известкованных дерново-подзолистых и серых лесных, дерново-  
пустынных и темноцветных заболоченных почвах.

**Молибден.** Ему принадлежит исключительная роль в азотном  
питании растений: он участвует в процессах фиксации молекуляр-  
ного азота (бобовыми в симбиозе с клубеньковыми бактериями и  
свободноживущими почвенными азотфиксирующими микроорга-  
низмами) и восстановления нитратов в растениях. В растениях со-  
держится молибден (мг на 1 кг сухого вещества): в зерне овса и  
пшеницы — 0,16—0,19, в корнеплодах и листьях сахарной свеклы —  
0,16—0,6, в сене клевера — 0,91, в зеленой массе люпина — 1,12.

Особенно требовательны к наличию молибдена в почве в дос-  
тупной форме бобовые культуры и овощные растения (капуста,  
листовые овощи, редис).

Внешние признаки недостатка молибдена сходны с признака-  
ми азотного голодания — резко тормозится рост растений, вслед-  
ствие нарушения синтеза хлорофилла они приобретают бледно-  
зеленую окраску (листовые пластинки деформируются, и листья  
преждевременно отмирают).

Дефицит молибдена также ограничивает развитие клубеньков  
на корнях бобовых культур, резко снижает урожай и содержание  
белка в растениях. Недостаток молибдена при больших дозах азота  
может приводить к накоплению в растениях, особенно в овощных  
и кормовых, повышенных количеств нитратов, токсичных для че-  
ловека и животных. Растениям не хватает молибдена обычно на  
кислых почвах, особенно легкого гранулометрического состава.

доузня стеблей укорачиваются, а листья, особенно нижние, увядают даже при достаточном количестве влаги в почве.

**Кальций.** Играет важную роль в фотосинтезе и передвижении углеводов, в процессах усвоения азота растениями. Он участвует в формировании клеточных оболочек, обуславливает обводненность и поддержание структуры клеточных органелл.

Недостаток кальция сказывается прежде всего на состоянии корневой системы растений: рост корней замедляется, корневые волоски не образуются, корни ослизняются и загнивают. При дефиците кальция тормозится также рост листьев, у них появляется хлоротичная пятнистость, затем они желтеют и преждевременно отмирают. Кальций в отличие от азота, фосфора, калия не может повторно использоваться, поэтому признаки кальциевого голодания проявляются прежде всего на молодых листьях. Недостаток кальция может наблюдаться при возделывании культур на кислых почвах, особенно легкого гранулометрического состава.

**Магний.** Входит в состав хлорофилла, участвует в передвижении фосфора в растениях и углеводном обмене, влияет на активность окислительно-восстановительных процессов. Магний находится также в составе основного фосфорсодержащего запасного органического соединения — фитина. При недостатке магния снижается содержание хлорофилла в зеленых частях растений и развивается хлороз между жилками листа (жилки остаются зелеными). Острый дефицит магния вызывает «мраморовидность» листьев, их скручивание и пожелтение. Недостаток магния у сельскохозяйственных культур проявляется чаще на бедных этим элементом песчаных и супесчаных почвах с кислой реакцией.

**Сера.** Имеет важное значение в жизни растений. Основное количество ее находится в растительных белках (сера входит в состав аминокислот цистеина, цистина и метионина) и других органических соединениях — ферментах, витаминах, горчичных и чесночных маслах. Сера принимает участие в азотном и углеводном обмене растений, в процессе дыхания и синтезе жиров. Больше серы содержат растения из семейства бобовых и капустных (крестоцветных), а также картофель. При недостатке серы образуются мелкие со светлой желтоватой окраской листья на вытянутых стеблях, ухудшаются рост и развитие растений.

**Железо.** Входит в состав окислительно-восстановительных ферментов растений и участвует в синтезе хлорофилла, процессах дыхания и обмена веществ. При недостатке железа (проявляется обычно только на карбонатных почвах) вследствие нарушения образования хлорофилла у сельскохозяйственных культур, особенно у винограда, и плодовых деревьев развивается хлороз. Листья теряют зеленую окраску, затем белеют и преждевременно опадают.

**Бор.** Сильно влияет на углеводный, белковый, нуклеиновый обмен и другие биохимические процессы в растениях. При его недостатке нарушаются синтез и особенно передвижение углеводов,

формирование репродуктивных органов, оплодотворение и плоношение. Бор не может реутилизироваться в растениях, поэтому при его недостатке страдают прежде всего молодые растущие органы, происходит отмирание точек роста.

Более требовательны к бору и чувствительны к его недостатку корнеплоды, подсолнечник, бобовые культуры, лен, картофель и овощные растения. У сахарной, кормовой и столовой свеклы дефицит бора вызывает поражение гнилью сердечка и появление дуплистости корнеплодов. Лен при недостатке бора поражается бактериозом. Отмирание верхушечной точки роста приводит к усиленному образованию боковых побегов, которые также останавливаются в росте, резко снижаются выход и качество волокна. У подсолнечника острый дефицит бора вызывает полное отмирание точки роста, при более позднем проявлении недостатка бора наблюдаются ненормальное развитие цветков, пустоцвет и снижение урожая семян. При борном голодании бобовых культур нарушается развитие клубеньков на корнях и снижается симбиотическая фиксация молекулярного азота из атмосферы, замедляются рост и формирование репродуктивных органов. Картофель при недостатке бора поражается паршой, у плодовых деревьев появляется суховершинность, развиваются наружная пятнистость и опробкование тканей плодов. Недостаток бора чаще проявляется на известкованных дерново-подзолистых и серых лесных, дерново-песевых и темноцветных заболоченных почвах.

**Молибден.** Ему принадлежит исключительная роль в азотном питании растений: он участвует в процессах фиксации молекулярного азота (бобовыми в симбиозе с клубеньковыми бактериями и свободноживущими почвенными азотфиксирующими микроорганизмами) и восстановления нитратов в растениях. В растениях содержится молибден (мг на 1 кг сухого вещества): в зерне овса и пшеницы — 0,16—0,19, в корнеплодах и листьях сахарной свеклы — 0,16—0,6, в сене клевера — 0,91, в зеленой массе люпина — 1,12.

Особенно требовательны к наличию молибдена в почве в доступной форме бобовые культуры и овощные растения (капуста, листовые овощи, редис).

Внешние признаки недостатка молибдена сходны с признаками азотного голодания — резко тормозится рост растений, вследствие нарушения синтеза хлорофилла они приобретают бледно-зеленую окраску (листовые пластинки деформируются, и листья преждевременно отмирают).

Дефицит молибдена также ограничивает развитие клубеньков на корнях бобовых культур, резко снижает урожай и содержание белка в растениях. Недостаток молибдена при больших дозах азота может приводить к накоплению в растениях, особенно в овощных и кормовых, повышенных количеств нитратов, токсичных для человека и животных. Растениям не хватает молибдена обычно на кислых почвах, особенно легкого гранулометрического состава.



**Марганец.** Входит в состав окислительно-восстановительных ферментов, участвующих в процессах дыхания, фотосинтеза, углеводного и азотного обмена растений, играет важную роль в усвоении растениями нитратного и аммонийного азота. Наиболее чувствительны к недостатку марганца и требовательны к его наличию в доступной форме в почве свекла и другие корнеплоды, картофель, злаковые, а также яблоня, черешня и малина.

Характерный симптом марганцевого голодания — точечный хлороз листьев. На листовых пластинках между жилками появляются мелкие желтые хлоротичные пятна, затем пораженные участки отмирают. Недостаток марганца бывает, как правило, на болотных, нейтральных и щелочных, а также на легких почвах.

**Медь.** Входит в состав целого ряда окислительно-восстановительных ферментов и принимает участие в процессах фотосинтеза, углеводного и белкового обмена. Недостаток доступной растением меди на осушенных болотных почвах с нейтральной или щелочной реакцией вызывает у зерновых культур «болезнь обработки», или «белую чуму». Заболевание начинается с внезапного побеления и засыхания кончиков листьев. Пораженные растения совсем или частично не образуют колосьев или метелок, а образующиеся соцветия бесплодны либо слабо озернены. При недостатке меди резко снижается урожай зерна, а при остром медном голодании плодоношение отсутствует.

**Цинк.** Оказывает многостороннее действие на обмен энергии и веществ в растениях, так как входит в состав ферментов и принимает участие в синтезе ростовых веществ — ауксинов. При недостатке цинка резко тормозится рост растений, нарушаются фотосинтез, процессы фосфорилирования, синтез углеводов и белков, обмен фенольных соединений. Специфические признаки цинкового голодания — задержка роста междоузлий, появление хлороза и мелколистности, развитие розеточности. От недостатка цинка страдают чаще всего плодовые и цитрусовые культуры на нейтральных и слабощелочных карбонатных почвах с высоким содержанием фосфора.

При заболевании розеточностью от дефицита цинка на концах молодых побегов образуются мелкие листья, располагающиеся в форме розетки. При сильном поражении ветви отмирают, что приводит к появлению сухостершинности.

**Кобальт.** Этот микроэлемент необходим для биологической фиксации молекулярного азота и является компонентом витамина В<sub>12</sub>. Недостаток кобальта (внешние признаки у растений сходны с симптомами азотного голодания) может проявляться прежде всего у бобовых культур на известкованных, нейтральных и щелочных почвах.

При низком содержании кобальта в кормах у животных развивается анемия, падает аппетит и резко снижается продуктивность.

Недостаток других микроэлементов также приводит к заболе-

ванию людей и животных. Например, низкое содержание йода в почвах, а следовательно, в растительной пище и кормах вызывает воспаление щитовидной железы, недостаток марганца — появление бесплодия, меди — малокровие и заболевание рахитом.

Избыточное поступление микроэлементов также неблагоприятно действует на живые организмы: нарушаются обмен веществ, процессы роста и развития, снижается репродуктивная способность. При избытке микроэлементов в пище и кормах проявляются различные эндемические заболевания человека и животных. Так, в биогеохимических провинциях, богатых молибденом, наблюдается заболевание коров, телят и овец молибденозисом (признаки — изнуряющий понос, пожелтение и выпадение волосаного покрова), а людей — молибденовой подагрой.

## 2.4. ДИНАМИКА ПОТРЕБЛЕНИЯ И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ

### 2.4.1. ДИНАМИКА ПОТРЕБЛЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ РАСТЕНИЯМИ В ХОДЕ ВЕГЕТАЦИИ

Растения в разные периоды роста и развития предъявляют неодинаковые требования к условиям внешней среды, в том числе к условиям питания. Поглощение растениями азота, фосфора, калия и других питательных элементов в течение вегетации происходит неравномерно.

Следует различать *критический период* питания, когда потребление может быть ограниченным, но недостаток элементов питания в это время резко ухудшает рост и развитие растений, и *период максимального поглощения*, который характеризуется наиболее интенсивным потреблением питательных элементов.

Рассмотрим общие закономерности в потреблении питательных элементов растениями в течение вегетации.

В начальный период развития растения потребляют относительно небольшие количества всех питательных элементов, но весьма чувствительны как к недостатку, так и к избытку их в растворе. Начальный период роста — критический в отношении фосфорного питания. Недостаток фосфора в раннем возрасте настолько сильно угнетает растения, что урожай резко снижается даже при обильном питании фосфором в последующие периоды. Вследствие высокой напряженности синтетических процессов при еще слаборазвитой корневой системе молодые растения особенно требовательны к условиям питания. Следовательно, в прикорневой зоне в этот период питательные элементы должны находиться в легкорастворимой форме, но концентрация их не должна быть высокой, с преобладанием фосфора над азотом и калием.



Обеспечение достаточного уровня снабжения всеми элементами с начала вегетации важно для формирования урожая. Так, у зерновых злаков уже в период разворачивания первых 3—4 листочков начинаются закладка и дифференция репродуктивных органов — колоса или метелки. Недостаток азота в это время даже при усиленном питании в дальнейшем приводит к уменьшению числа колосков в метелке или колосе и снижению урожая.

Потребление всех элементов питания растениями значительно возрастает в период интенсивного роста надземных органов — стеблей и листьев. Темпы накопления сухого вещества могут опережать поступление питательных элементов, поэтому относительное их содержание в растениях снижается по сравнению с предшествующим периодом. Ведущая роль в ростовых процессах принадлежит азоту. Повышенное азотное питание способствует усиленному росту вегетативных органов, формированию мощного ассимиляционного аппарата. Недостаток же азота в этот период приводит к угнетению роста, а в дальнейшем — к снижению урожая и его качества.

Ко времени цветения и начала плодообразования потребность в азоте у большинства растений уменьшается, но возрастает роль фосфора и калия. Это обусловлено физиологической ролью последних — их участием в синтезе и передвижении органических соединений, обмене энергии, особенно интенсивно происходящих при формировании репродуктивных органов и образовании запасных веществ в товарной части урожая.

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

Различные сельскохозяйственные культуры различаются по размерам и интенсивности поглощения питательных элементов в течение вегетационного периода. Все зерновые злаковые (за исключением кукурузы), лен, конопля, ранний картофель, некоторые овощные культуры отличаются коротким периодом интенсивного питания, основное количество питательных элементов потребляют в сжатые сроки. Например, озимая рожь уже за осенний период поглощает 25—30 % всего количества питательных элементов, тогда как сухая масса растений за это время достигает лишь 10 % конечного урожая. Яровая пшеница за сравнительно короткий (около месяца) промежуток — от выхода в трубку до конца колошения — потребляет 2/3—3/4 всего количества питательных элементов.

Средне- и позднеспелые сорта картофеля наибольшее количество питательных элементов потребляют в июле: за этот месяц по-

требляется почти 40 % азота, более 50 — фосфора и 60 % калия от конечного содержания их в урожае. Ранние сорта картофеля отличаются еще более сжатым сроком интенсивного потребления питательных веществ.

Лен имеет ярко выраженный период максимального потребления элементов минерального питания — от фазы бутонизации до цветения, а хлопчатник основное количество питательных элементов потребляет с начала бутонизации до массового образования волокна в коробочках.

Некоторые растения (кукуруза, подсолнечник, сахарная свекла и др.) характеризуются более плавным и растянутым потреблением питательных элементов, поглощение которых продолжается почти до конца вегетации.

Отдельные элементы питания поглощаются растениями с разной интенсивностью: например, у кукурузы наиболее быстро идет потребление калия, затем азота и значительно медленнее поглощается фосфор. Поглощение калия полностью заканчивается к периоду образования метелок, а азота — формирования зерна. Поступление фосфора более растянуто и продолжается почти до конца вегетации.

Конопля в первый месяц очень интенсивно поглощает азот и калий. Поступление азота полностью завершается через 3, а калия — через 5 нед после появления всходов, тогда как интенсивное поглощение фосфора продолжается почти до конца вегетации.

Потребление основных элементов питания сахарной свеклой также происходит неравномерно. В первую декаду после всходов соотношение  $N : P_2O_5 : K_2O$  в растениях составляет 1,5 : 1 : 1,4. В период интенсивного нарастания листьев оно изменяется в сторону увеличения поглощения азота и калия, составляя сначала 2,5 : 1 : 3, затем 3 : 1 : 3,5, а позднее 4 : 1 : 4. В период образования корнеплода и накопления в них сахаров соотношение между этими элементами становится 3,6 : 1 : 5,5, т. е. особенно сильно увеличивается поглощение калия.

Слишком обильное азотное питание в период образования корнеплодов и накопления в них сахаров нежелательно, так как стимулирует рост ботвы в ущерб росту корнеплода и сахаронакоплению. В этот период очень большое значение имеет достаточный уровень обеспеченности растений калием и фосфором.

#### 2.4.2. ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ С УРОЖАЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

*Вынос питательных веществ с урожаем* — важный показатель, который необходимо учитывать при определении потребности культур в удобрениях, расчете доз удобрений в конкретных условиях.

Общая потребность сельскохозяйственных культур в элементах минерального питания характеризуется размерами *биологического выноса* — количеством этих элементов во всей формируемой биомассе растений, т. е. в надземных органах и корнях. Следовательно, биологический вынос включает содержание питательных веществ как в отчуждаемой с поля основной и побочной продукции (*хозяйственный вынос*), так и в корневых и пожнивных остатках, листовом опаде (остаточный вынос). Если нетоварную часть урожая (солому или ботву) оставляют в поле, то содержащиеся в ней питательные элементы не учитывают в хозяйственном выносе. Остаточная часть выноса составляет значительную долю от биологического выноса, особенно у многолетних трав (50—60 %) и овощных культур (40—60 % у капусты белокочанной и огурца, 70—80 % у капусты цветной). У зерновых культур, картофеля, кукурузы на силос на остаточную часть выноса обычно приходится 20—35 % общего, т. е. биологического выноса этими культурами. Питательные элементы из пожнивно-корневых остатков, опавших листьев вновь вовлекаются в круговорот и в дальнейшем частично используются растениями.

В практических целях потребность сельскохозяйственных культур в питательных веществах характеризуют, как правило, размером их выноса с урожаем, т. е. хозяйственным выносом.

Вынос питательных элементов с урожаем сельскохозяйственных культур и соотношение потребляемых элементов питания сильно различаются (табл. 6).

Это обусловлено особенностями химического состава растений, колебаниями уровня формируемого урожая и изменением его структуры.

Относительное содержание элементов минерального питания в основной и побочной продукции разнообразных сельскохозяйственных культур определяется прежде всего их видовыми особенностями, но зависит также от сорта и условий выращивания. Со-

**6. Примерный вынос основных питательных элементов с урожаем сельскохозяйственных культур**

Культура	Урожайность основной продукции, т/га	Вынос с урожаем, кг/га		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Зерновые злаковые	3,0—3,5	90—110	30—40	60—90
Зерновые бобовые	2,5—3,0	100—150	35—45	50—80
Картофель	20—30	120—200	40—60	180—300
Сахарная свекла	40—50	180—250	55—80	250—400
Кукуруза (зеленая масса)	50—70	150—180	50—60	180—250
Капуста	50—70	160—230	65—90	220—320
Хлопчатник	3,0—4,0	160—220	50—70	180—240

держание азота и фосфора значительно выше в хозяйственно-ценной части урожая — зерне, корне- и клубнеплодах, чем в соломе и ботве. Калия же больше содержится в соломе и ботве, чем в товарной части урожая (см. табл. 4).

Капуста, картофель, сахарная свекла, хлопчатник, подсолнечник, кормовые корнеплоды и силосные культуры для создания высокого урожая потребляют гораздо больше питательных веществ, чем зерновые.

Вынос питательных веществ растениями из почвы возрастает с увеличением урожая. Однако прямой пропорциональности между величиной урожая и размером выноса основных питательных элементов часто не наблюдается. При большем уровне урожайности затраты питательных веществ на формирование единицы продукции обычно снижаются.

В урожае зерновых колосовых культур соотношение N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O колеблется в относительно небольших пределах и составляет 2,5—3,0 : 1 : 1,8—2,6, т. е. в среднем потребление азота в 2,5—3 раза, а калия в 2,2 раза больше, чем фосфора (табл. 7).

**Соотношение азота, фосфора и калия в урожае различных культур**

Культура	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Зерновые колосовые	2,5—3,0	1	1,8—2,6
Картофель	2,5—3,5	1	4,0—4,5
Сахарная свекла	2,5—3,5	1	3,5—5,0
Кормовая свекла	3,5—4,5	1	4,5—6,0

Для сахарной свеклы, кормовых и овощных корнеплодов, картофеля, подсолнечника, капусты и некоторых других культур характерно гораздо большее поглощение калия, чем азота, и соотношение N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O может составлять 2,5—3,5 : 1 : 3,5—5,0. У корне- и клубнеплодов, подсолнечника в зависимости от условий выращивания может сильно изменяться структура урожая. Это вызывает резкие различия в размерах потребления основных питательных элементов и соотношении между ними. Например, в лесостепных районах на каждые 10 т урожая корнеплодов и соответствующего количества ботвы сахарная свекла потребляет 50 кг азота, 15 — P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 60 кг K<sub>2</sub>O. В Нечерноземной зоне свекла формирует больше ботвы и на каждые 10 т корнеплодов ей требуется 90—100 кг азота, 35 — P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 145 кг K<sub>2</sub>O.

Самое продуктивное использование растениями питательных веществ из почвы и удобрений обеспечивается при наиболее благоприятных почвенно-климатических условиях, высоком уровне агротехники в сочетании с правильным применением удобрений. Одновременно достигается минимальное потребление питательных элементов на единицу урожая товарной продукции. Средние размеры потребления азота, фосфора и калия на формирование

единицы товарной продукции основных сельскохозяйственных культур приведены в таблице 8.

**8. Примерный вынос основных питательных элементов (кг) на создание единицы товарной продукции**

Продукция	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
-----------	---	-------------------------------	------------------

*На 1 т основной продукции и соответствующее количество побочной*

Зерно:			
пшеницы, ржи, ячменя, овса	30—35	10—12	20—25
кукурузы	30—35	8—12	25—35
крупяных культур (гречиха, просо)	30—35	10—15	30—40
бобовых (горох, вика)	60—70	12—15	20—25
Волокно льна	70—90	35—45	65—80
Семена подсолнечника	55—70	25—30	170—210

*На 10 т основной продукции и соответствующее количество побочной*

Клубни картофеля	50—60	15—20	70—90
Корнеплоды:			
сахарной свеклы	50—60	15—20	60—100
кормовые	45—60	10—20	60—120
Кочаны капусты	30—40	12—17	40—60
Плоды томата	30—35	10—15	35—50

*На 1 т сена*

Сено:			
вики с овсом	20—25	5—7	15—25
клевера с тимopheевкой	15—20	5—8	15—25
люцерны	25—30	4—7	15—20

Агрохимическая служба располагает подобными данными применительно к конкретным условиям выращивания всех сельскохозяйственных культур, что позволяет определять необходимое количество питательных веществ для получения планируемого урожая для различных регионов страны.

Вынос микроэлементов с урожаем сельскохозяйственных культур составляет лишь десятки или сотни граммов на 1 га, и потребность во многих из них может полностью удовлетворяться за счет почвы и внесения органических удобрений, а нередко только за счет запасов в семенах. Например, для формирования урожая растения потребляют с 1 га от 20 до 250 г бора. Вынос марганца с урожаем различных культур колеблется от 100 до 700 г/га, вынос меди измеряется десятками граммов с 1 га, а цинка — от 0,07 кг (капуста) до 1,5 (картофель, горчица) и 2,2 кг (сахарная свекла) с 1 га.

Однако у культур, более требовательных к наличию микроэлементов, может проявляться их недостаток на почвах с низким содержанием доступных для растений форм. Применение микро-

элементов в виде соответствующих микроудобрений в этом случае может значительно повысить урожай сельскохозяйственных культур и улучшить качество получаемой продукции.

Такие макроэлементы, как кальций, магний и сера, обычно содержатся в большинстве почв в количествах, достаточных для обеспечения растений. Кроме того, их вносят в почву с мелиорирующими материалами (известью и гипсом), а также они входят в состав органических и минеральных удобрений.

Для улучшения питания сельскохозяйственных культур в полевых условиях чаще всего необходимо внесение азота, фосфора и калия.

В условиях интенсификации сельского хозяйства рост урожаев сопровождается увеличением выноса всех элементов питания. Расширение производства высококонцентрированных безбалластных сложных минеральных удобрений сокращает поступление с ними в почву таких элементов, как кальций, сера. Это повышает потребность во внесении для обеспечения сбалансированного питания сельскохозяйственных культур не только основных элементов питания (азота, фосфора и калия), но и других макро- и микроэлементов.

Неодинаковая количественная потребность и интенсивность поглощения растениями отдельных элементов питания должны учитываться при разработке системы применения удобрений. Особенно важно обеспечить благоприятные условия питания растений с начала вегетации и в периоды максимального поглощения.

Это достигается сочетанием различных способов внесения удобрений: основное до посева, при посеве и в подкормки.

Задача *основного удобрения* — обеспечение питания растений на протяжении всей вегетации, поэтому до посева в большинстве случаев применяют полную дозу органических удобрений и представляющую часть минеральных. *Припосевное удобрение* (в рядки, при посадке в лунки, гнезда) в небольших дозах вносят для снабжения растений в начальный период развития легкодоступными формами питательных веществ, прежде всего фосфором. Для обеспечения растений питательными элементами в наиболее ответственные периоды вегетации применяют *подкормки* в дополнение к основному и припосевному удобрению. В некоторых случаях в подкормки можно вносить значительную часть общей дозы удобрений, например азота под озимые, хлопчатник и т. д. Выбор срока, способа внесения удобрений и заделки их в почву зависит не только от особенностей биологии, питания и агротехники культур, но и от почвенно-климатических условий, вида и формы удобрения.

Регулируя условия питания растений по периодам роста в соответствии с их потребностью путем внесения удобрений, можно направленно воздействовать на величину урожая и его качество.

## 2.5. РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Для контроля за питанием сельскохозяйственных культур в течение вегетации используют метод растительной диагностики — определение обеспеченности растений питательными элементами по их состоянию (внешнему виду, темпам роста и развития) и химическому составу.

При *визуальной диагностике* по внешнему виду всего растения или отдельных его органов определяют недостаток или избыток какого элемента питания вызвал появление тех или иных внешних признаков ухудшения состояния растений. Визуальная диагностика предусматривает также проведение биометрических измерений (высоты, сырой и сухой массы растений, площади листьев, числа продуктивных стеблей или соцветий и т. д.), фенологических наблюдений для выявления причины угнетения растений (недостаток питания, поражение болезнями и повреждение вредителями, неблагоприятные погодные условия) и сравнительной оценки роста и развития нормальных и страдающих от недостатка питания растений.

При *химической диагностике* определяют валовое содержание питательных элементов во всем растении или листьях (*листовая диагностика*) либо содержание неорганических форм питательных элементов в растительных тканях (*тканевая диагностика*).

Для каждого вида растений характерен вполне определенный химический состав. Кроме того, для нормального роста, развития и формирования урожая растения должны поддерживать в своих органах и тканях необходимую концентрацию элементов питания, изменяющуюся в течение вегетации.

Установлены оптимальные уровни содержания элементов питания в растениях и их листьях в отдельные периоды вегетации, обеспечивающие благоприятные условия роста и формирование высокого урожая хорошего качества (табл. 9).

При недостатке какого-либо питательного элемента в почве в доступной форме его концентрация в растениях по сравнению с оптимальным уровнем снижается, а при избытке повышается. Чем сильнее отличается химический состав растений от оптимального, тем в большей степени проявляются нарушение условий питания и потребность в их корректировке с помощью удобрений. Химическая диагностика позволяет раньше, чем визуальные наблюдения, выявить возможные нарушения в питании растений.

Оптимальное валовое содержание азота, фосфора и калия в растениях, на абсолютно сухое вещество

Растение	Фаза развития	Часть растения	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Зерновая пшеница	Кушение	Надземная часть	4,0—5,9	0,44—0,65	3,3—4,2
	Трубкавание	Листья	3,8—5,0	0,40—0,52	2,5—3,3
	Колошение — цветение	»	3,0—3,6	0,22—0,39	2,6—3,2
Зерновая пшеница	Кушение	Надземная часть	4,0—5,5	0,39—0,57	3,3—4,4
	Трубкавание	Листья	3,5—4,4	0,39—0,52	2,9—3,7
	Колошение — цветение	»	2,9—3,0	0,35—0,44	2,5—3,3
Ячмень	Кушение	Надземная часть	4,7—5,0	0,52—0,78	3,3—4,2
	Трубкавание	Листья	4,2—4,7	0,42—0,62	2,9—4,0
	Колошение — цветение	»	3,0—3,5	0,30—0,44	2,3—2,7
Кукуруза	Всходы	Надземная часть	4,0—4,6	0,43—0,52	4,6—5,2
	3—5 листьев	То же	3,0—3,6	0,30—0,65	2,8—3,3
	6—10 листьев	Листья	3,8—4,0	0,35—0,57	3,2—4,2
	Выметывание метелки	»	3,5—4,0	0,30—0,52	3,3—4,2
Сахарная свекла	4—6 листьев	Листья	5,2—5,5	0,44—0,52	4,1—6,0
	10—18 листьев	»	3,4—3,7	0,33—0,37	3,5—4,5
	Смыкание рядков	Средние листья	3,6—4,0	0,33—0,40	3,0—5,0

Примечание. Урожайность зерна злаков > 4 т/га, зерна кукурузы > 5, ее сухой массы > 50, корнеплодов сахарной свеклы > 30 т/га.

Поступившие в растения элементы минерального питания в виде катионов и анионов используются на синтез органических соединений и обеспечение различных физиологических функций. С увеличением уровня питания каким-либо ионом его концентрация в растениях в минеральной форме также возрастает в определенных пределах. Так, поступивший в растения нитратный азот NO<sub>3</sub><sup>-</sup> восстанавливается до NH<sub>4</sub><sup>+</sup> уже в корневой системе, а аммонийный азот быстро используется на синтез органических азотистых соединений. Значительные количества нитратов обнаруживаются в надземных органах растений обычно лишь при повышенном уровне снабжения азотом. Поглощенный корнями фосфор (в виде H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) также интенсивно включается в состав органических соединений и накапливается в тканях растений в минеральной форме только при обильном питании. Концентрация других минеральных ионов (K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> и др.) в растительных тканях отражает степень обеспеченности растений соответствующими элементами.

Повышенное содержание минеральных соединений отдельных элементов в растениях может наблюдаться и при ограничении синтеза органических веществ вследствие недостатка других элементов питания, прочих неблагоприятных условий для роста и

развития растений (недостаточная освещенность, низкие температуры и т.д.), поражения их болезнями и повреждения вредителями.

Поэтому химическая диагностика должна обязательно сочетаться с фитопатологическими и фенологическими наблюдениями, а также с определением показателей роста и массы растений. Необходимо установить обеспеченность, как минимум, тремя основными элементами минерального питания — азотом, фосфором и калием. Для правильного осмысления результатов химической диагностики следует учитывать весь комплекс внешних и внутренних факторов роста и развития растений, среди которых важное место занимают свойства почвы, погодные условия и технология возделывания культур.

При химической диагностике анализируют целые растения или «индикаторные» органы и ткани (в которых наиболее четко прослеживается зависимость изменения химического состава от условий питания) в строго установленные сроки — в конкретные фенофазы или этапы онтогенеза. Например, при химической диагностике питания озимых зерновых культур по валовому содержанию элементов в фазе кущения (3 листа) и в начале выхода в трубку (4—5 листьев) берут всю надземную часть, во время полного трубкования берут третий и четвертый листья (считая снизу), а при колошении — цветении в качестве индикаторного органа используют полнозрелые закончившие рост, но еще сохранившие зеленую окраску и активно вегетирующие листья — второй и третий (считая сверху).

Для тканевой диагностики используют части растения, богатые сосудисто-проводящей системой (стебли, черешки, главные жилки листа), в которых содержание неорганических форм питательных элементов наиболее резко изменяется в зависимости от их содержания в почве в доступной форме.

Правильный отбор растительных проб имеет особо важное значение при химической диагностике питания сельскохозяйственных культур. Проба должна отражать типичный состав растений на обследуемом участке. Для этого отбор смешанных проб проводят из большого числа растений по двум диагоналям участка в утренние часы (но не во время росы или после дождя), избегая загрязнения растений почвой. В производственных условиях размер участков, с которых отбирают одну смешанную пробу, зависит от природных и хозяйственных условий зоны, пестроты почвенного покрова и удобрения полей. Так, с высокопродуктивных полей культуры, состояния посевов. Так, с высокопродуктивных полей зерновых злаков, возделываемых по интенсивным технологиям, в богарных условиях при выровненном стеблестое один образец из 70—100 растений отбирают с площади 30 га, при невыровненном стеблестое — с 10 га, а в условиях орошения — с 1—3 га в зависимости от площади поливного участка.

Отобранные для валового анализа растения протирают сырой ватой или марлей для удаления пыли и грязи, определяют сырую и сухую массу 100 растений. Сушку проводят на воздухе, избегая прямого солнечного света, или в термостате при температуре 60—80 °C. Высушенные и измельченные образцы помещают в банки с притертыми пробками или в полиэтиленовые пакеты, туда же вкладывают этикетку с номером и адресной справкой. Образцы сразу передают в агрохимические лаборатории, оснащенные соответствующими приборами и оборудованием, где их анализируют на содержание валового количества основных элементов питания, а при необходимости и микроэлементов.

При тканевой диагностике анализируют свежие образцы (здесь важно сохранить неизменными неорганические формы питательных элементов) или фиксируют пробы в термостате в течение 10 мин при температуре 90—100 °C для прекращения деятельности ферментов, а затем высушивают. Анализ растительных проб проводят непосредственно в поле или лаборатории хозяйства с использованием экспресс-лабораторий, выпускаемых промышленностью, либо отправляют в лаборатории агрохимической службы.

При анализе экспресс-методами используют срезы тканей индикаторных органов или выжатый из них сок, или вытяжку в уксусной кислоте. Для определения нитратов, неорганических форм фосфора, калия и других элементов применяют реакции, при которых образуются окрашенные продукты. Интенсивность образующейся окраски отражает концентрацию определенного иона. Полученную в ходе реакции окраску среза или сока растений сравнивают с цветной стандартной шкалой и оценивают в баллах. Так, для определения нитратного азота в растительных срезах используют раствор дифениламина в концентрированной серной кислоте, образующий при реакции с нитратами продукт синего цвета. Выпускается также специальная индикаторная бумага для определения обеспеченности растений азотом. При нанесении капли сока или приложении среза индикаторного органа растений на пятно с реактивами бумага приобретает розовую окраску, интенсивность которой пропорциональна содержанию нитратов.

В качестве примера рассмотрим проведение непосредственно в поле экспресс-диагностики обеспеченности азотом озимых зерновых для определения целесообразности и доз азотных подкормок, являющихся важным элементом технологии возделывания этих культур. Ранние азотные подкормки необходимы для повышения урожая зерна, а поздние — содержания в нем белка (и клейковины твердые пшеницы). Диагностику проводят в утреннее время (с 8 до 11 ч, но не после дождя) в соответствующие фенофазы растений согласно указаниям, представленным на бланке (рис. 6).

Сначала заполняют адресную часть бланка, потом по диагонали обследуемого участка через равные промежутки отбирают 70—100 растений. Затем из них формируют средний образец из 20 ти-

Экспресс-определение  
нитратного азота в растениях

Колхоз (совхоз) \_\_\_\_\_  
Бригада (отделение) \_\_\_\_\_

Поле № \_\_\_\_\_ Площадь \_\_\_\_\_ га  
Фаза развития \_\_\_\_\_  
культура \_\_\_\_\_ сорт \_\_\_\_\_  
Дата определения \_\_\_\_\_

баллы оценки	1	2	3
Окраска	Бледно- голубоватая, обугливание	Интенсивно- синяя	Темно- синяя, фиолетовая
число срезов			

$x1 + x2 + x3 =$   
Средний балл = 20

Подкормка рекомендуется  
в дозе \_\_\_\_\_ кг/га  
общее количество азотных  
удобрений \_\_\_\_\_ кг/га д.в.  
Агрохимик \_\_\_\_\_

Рис. 6. Форма бланка с методикой проведения и формой записи результатов экспресс-диагностики азотного питания при определении потребности в азотной подкормке озимых зерновых культур: *слева* — линейная, *справа* — обратная сторона бланка

Один из элементов растительной диагностики — определение нитратов с помощью экспресс-методов — нашел широкое приме-

**Пример.** Из 20 типичных растений 10 срезов получили 1 балл, 7 срезов — 2, 3 среза — 3 балла. Средневзвешенный балл обеспеченности азотом составит:

$$\frac{(10 \cdot 1) + (7 \cdot 2) + (3 \cdot 3)}{20} = 1,65.$$

По среднему баллу, пользуясь табличкой на обратной стороне бланка (см. рис. 6), устанавливают целесообразность подкормки и необходимую дозу азота. Заключение записывают в лицевой части бланка.

При определении нитратного азота с использованием индикаторной бумаги «ИНДАМ» отбирают пробу растений описанным способом. Скальпелем или бритвой разрезают стебель поперек в соответствующем участке. Надавив пальцем (или пинцетом) стебель выше среза до появления сока, прикладывают срез к диску индикаторной бумаги. Появившуюся на бумаге окраску сравнивают с прилагаемой шкалой и устанавливают балл обеспеченности растения азотом. Рассчитывают средний балл для обследуемого участка и по таблице определяют целесообразность проведения подкормки и дозу азота.

В современных экспресс-лабораториях применяют потенциометрический метод определения нитратов (с ионоселективным электродом). Выпускают также компактные нитратомеры с обозначением результатов анализа на цифровом электронном табло.

Использование методов растительной диагностики позволяет оперативно оценить уровень обеспеченности сельскохозяйственных культур питательными элементами и принять необходимые меры для устранения их недостатка. Важное практическое значение методы растительной диагностики имеют в овощеводстве, особенно в защищенном грунте (где возможна корректировка питания культур в течение вегетации проведением подкормок соответствующими видами удобрений), и в плодоводстве (для корректировки системы удобрения многолетних культур в последующие годы).

Один из элементов растительной диагностики — определение нитратов с помощью экспресс-методов — нашел широкое приме-

нение в системе контроля за качеством овощей, бахчевой продукции и кормов с целью установления их соответствия предельно допустимым концентрациям (ПДК) содержания нитратов при сертификации.

### Контрольные вопросы и задания

1. Укажите содержание воды и сухого вещества в основных видах сельскохозяйственной продукции. Что означают термины «влажность, базисная и ограничительная нормы влажности»? 2. Охарактеризуйте содержание органических соединений, определяющих качество продукции основных сельскохозяйственных культур (зерновых злаков, зернобобовых, масличных культур, корне-, клубнеплодов, лубяных, кормовых и овощных). 3. Каков элементный состав растений? Перечислите безусловно необходимые растениям макро- и микроэлементы и основные их физиологические функции. 4. В чем состоят основные различия в элементном составе товарной и нетоварной частей урожая основных видов сельскохозяйственных культур? 5. Какая связь существует между строением корневой системы и поглощением растениями питательных веществ из почвы? В чем заключается роль корневых волосков? 6. Почему поглощение и транспорт питательных веществ связаны с дыханием и фотосинтезом, обменом веществ у растений? 7. Чем объясняется избирательное поглощение элементов питания растениями и проявление физиологической реакции солей? 8. Какой питательный раствор считается сбалансированным? Что такое синергизм и антагонизм ионов? 9. Какова роль факторов внешней среды и почвенных микроорганизмов в питании растений? 10. Как влияют условия питания отдельными макро- и микроэлементами на рост, развитие и продуктивность растений? 11. Как влияют условия минерального питания растений на качество получаемой продукции? Что такое сертификация питания растений на качество получаемой продукции? 12. Каково соотношение в растениеводческой продукции и кто ее проводит? 13. Каково соотношение в растениеводческой продукции и кто ее проводит? 14. В чем состоят основные общие закономерности в потреблении элементов питания растениями в ходе вегетации? Как учитывают особенности питания культур при применении удобрений? Каковы задачи основного, припосевного удобрения и подкормок? 15. Какие методы растительной диагностики используют для оценки обеспеченности сельскохозяйственных культур элементами питания и определения потребности в удобрениях?

## 3

### ГЛАВА

## АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ

### 3.1. СОСТАВ И ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ

**Твердая фаза почвы.** Включает в себя минеральную и органическую части. Около половины состава твердой фазы приходится на кислород, одна треть — на кремний, около 11 % — на алюминий и железо и лишь 6—7 % — на остальные элементы. Рассмотрим средний химический (элементный) состав твердой фазы почвы (по А. П. Виноградову).

Элемент	%	Элемент	%	Элемент	%
Кислород	49,0	Барий	0,05	Галлий	$10^{-3}$
Кремний	33,0	Стронций	0,03	Олово	$10^{-3}$
Алюминий	7,1	Цирконий	0,03	Кобальт	$8 \cdot 10^{-4}$
Железо	3,7	Фтор	0,02	Торий	$6 \cdot 10^{-4}$
Углерод	2,0	Хром	0,02	Мышьяк	$5 \cdot 10^{-4}$
Кальций	1,3	Хлор	0,01	Йод	$5 \cdot 10^{-4}$
Магний	1,3	Ванадий	0,01	Цезий	$5 \cdot 10^{-4}$
Натрий	0,6	Рубидий	$6 \cdot 10^{-3}$	Молибден	$3 \cdot 10^{-4}$
Цинк	0,6	Цинк	$5 \cdot 10^{-3}$	Уран	$1 \cdot 10^{-4}$
Водород	0,50	Серий	$5 \cdot 10^{-3}$	Бериллий	$10^{-4}$
Литий	0,46	Никель	$4 \cdot 10^{-3}$	Германий	$10^{-4}$
Бор	0,10	Литий	$3 \cdot 10^{-3}$	Кадмий	$5 \cdot 10^{-5}$
Фосфор	0,08	Медь	$2 \cdot 10^{-3}$	Селен	$1 \cdot 10^{-6}$
Сера	0,08	Бор	$1 \cdot 10^{-3}$	Ртуть	$10^{-6}$
Броманец	0,08	Свинец	$1 \cdot 10^{-3}$	Радий	$8 \cdot 10^{-11}$

В почве по сравнению с литосферой (твердая оболочка земной коры) в 20 раз больше углерода и в 10 раз больше азота, что связано с деятельностью живых организмов, прежде всего растений. Азот практически полностью содержится в органической части почвы, углерод, фосфор, сера, кислород и водород — как в минеральной, так и в органической, а остальные указанные в таблице элементы — в минеральной части почвы.

**Минеральная часть почвы.** Составляет 90—99 % массы почвы и имеет сложный минералогический и химический состав. По химическому составу почвенные минералы подразделяются на кремнекислородные и алюмокремнекислородные соединения, или силикаты и алюмосиликаты. Кроме того, в состав почвы входят аморфные и кристаллические гидроксиды алюминия, железа и марганца, а также различные минеральные соли.

Наиболее распространенный в почве первичный кремнекислородный минерал кварц ( $\text{SiO}_2$ , диоксид кремния) содержится преимущественно в виде частиц песка (от 0,01 до 1 мм) и пыли (от 0,001 до 0,05 мм). Содержание его во всех почвах превышает 60 %, а в наиболее легких (песчаных) — 90 %. Кварц отличается большой механической прочностью и устойчивостью к выветриванию, весьма инертен и в обычных условиях не участвует в химических реакциях и сорбционных процессах в почве.

Первичные алюмосиликатные минералы (полевые шпаты и слюды) обычно присутствуют в почве в виде частиц пыли и реже — в виде илстых (< 0,001 мм) частиц. Широко распространены калиевые и натриево-кальциевые полевые шпаты (ортоклазы и плагиоклазы), в меньшей степени — калийная и железисто-магнезиальная слюды (мусковит и биотит). Эти минералы, постепенно разрушаясь, служат резервным источником калия, кальция, магния и железа для растений.

Вторичные, или глинистые, минералы, образующиеся в процессе выветривания и почвообразования при изменении полевых шпатов и слюд, находятся в почве преимущественно в виде мелкодисперсных илстых и коллоидных (< 0,0001 мм) частиц. По своей химической природе они относятся к гидроалюмосиликатам, а по строению кристаллической решетки, степени дисперсности подразделяются на три группы: каолинитовую, монтмориллонитовую и гидрослюды. Они состоят главным образом из кремния, алюминия, кислорода и водорода, но в небольшом количестве содержат также кальций, магний, калий, железо в потенциально доступной растениям форме. Они обладают большой суммарной поверхностью и высокой поглотительной способностью, при этом трехслойные минералы группы монтмориллонита способны к набуханию и обладают наибольшей поглотительной способностью.

В составе твердой фазы почвы всегда присутствуют в сравнительно небольшом количестве труднорастворимые соли фосфорной кислоты (фосфаты кальция, магния, железа и алюминия), а в некоторых почвах может содержаться значительное количество малорастворимых карбонатов кальция, магния и сульфата кальция.

В почве постоянно протекают процессы превращения труднорастворимых соединений в легкорастворимые, более доступные растениям. Однако одновременно происходят и обратные процессы.

Различные гранулометрические фракции почвы различаются не только по размеру частиц, но и имеют также неодинаковые минералогический и химический составы, а следовательно, и содержание элементов питания.

В более крупных частицах почвы (песок и крупная пыль) преобладают кварц и полевые шпаты, поэтому такие частицы характеризуются высоким количеством кремния, но содержат меньше других элементов (табл. 10).

10. Примерный химический состав разных гранулометрических фракций почвы

Фракция, мм	Содержание, % по массе						
	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	P
Физический песок:							
1,0—0,2	43,4	0,8	0,8	0,3	0,3	0,7	0,02
0,2—0,04	43,8	1,1	0,8	0,4	0,1	1,2	0,04
0,04—0,01	41,6	2,7	1,0	0,6	0,2	1,9	0,09
Физическая глина:							
0,01—0,002	34,6	7,0	3,6	1,1	0,2	3,5	0,04
< 0,002	24,8	11,6	9,2	1,1	0,6	4,1	0,18

В состав физической глины (< 0,01 мм), представленной средней и мелкой пылью, мелкодисперсными илстой и коллоидной фракциями, входят преимущественно вторичные алюмосиликатные минералы. В этих фракциях содержится больше алюминия и железа, а также кальция, магния, калия, натрия, фосфора и других элементов питания растений. Поэтому тяжелые по гранулометрическому составу глинистые и суглинистые почвы, в которых больше илстых и коллоидных частиц, богаче, чем песчаные и супесчаные, элементами питания.

Мелкодисперсные минеральные частицы почвы (содержащие глинистые минералы) вместе с органическим веществом обуславливают адсорбционные процессы в почве, ее поглотительную способность, которая играет важную роль при взаимодействии удобрений с почвой. Следовательно, от гранулометрического состава почвы зависят многие важные ее агрофизические свойства (пористость, влагоемкость, водопроницаемость, воздушный и тепловой режимы) и, кроме того, содержание кальция, магния, калия, фосфора, железа и других элементов питания, поглотительная способность и буферность.

**Органическое вещество почвы.** Составляет по массе небольшую часть твердой фазы, но имеет важное значение для плодородия почвы и питания растений. Содержание органического вещества в почвах колеблется от 0,5—3 % (в дерново-подзолистых почвах и сероземах) до 10—12 % в типичных черноземах (табл. 11).

Органическое вещество почвы представлено в основном (на 85—90 %) гумусовыми веществами — гуминовыми и фульвокислотами — высокомолекулярными азотсодержащими соединениями специфической природы и лишь небольшая часть — негумифицированными остатками растительного, микробного и животного происхождения.

Различные типы почвы отличаются не только по общему содержанию гумуса, но и по его составу и свойствам. Так, в гумусе дерново-подзолистых почв отношение гуминовых кислот к фульвокислотам составляет 0,4—0,6, а в гумусе черноземов — 1—1,5 и больше. Кроме того, гуминовые кислоты черноземов менее дисперсны и имеют более сложное строение. Это в значительной степени обуславливает большую подвижность и способность к микробио-



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

Почва	Содержание гумуса в пахотном слое, %	Запасы гумуса (т/га) в слое почвы, см	
		0—20 (в среднем)	0—100 или 0—120
Дерново-подзолистая	0,5—3	53	80—120
Серая лесная оподзоленная	4—6	109	130—300
Чернозем:			
выщелоченный	7—8	192	500—600
типичный	10—12	224	650—800
обыкновенный	6—8	137	400—500
южный	4—5	—	300—350
Темно-каштановая	3—4	99	200—250
Каштановая и светло-каштановая	1,5—3	—	100—200
Серозем	1—2	37	50
Краснозем	5—7	153	150—300

логическому разложению органического вещества дерново-подзолистых почв, чем черноземов.

Общий запас гумуса в пахотном горизонте почв с невысоким его содержанием (сероземных и дерново-подзолистых) составляет 20—50 т/га, а черноземов — 150—200 т/га, а в метровом слое соответственно 50—120 и 300—800 т/га.

Большое значение органического вещества для плодородия почв и питания растений определяется следующим. Органическое вещество — важный источник элементов питания для растений. В нем содержится почти весь запас азота, поэтому почвы, более богатые органическим веществом, отличаются и большим содержанием азота. В органическом веществе находится также значительная часть серы и фосфора, поэтому почвы, более богатые органическим веществом, отличаются и большим содержанием азота. В органическом веществе находится также значительная часть серы и фосфора, поэтому почвы, более богатые органическим веществом, отличаются и большим содержанием азота. В органическом веществе находится также значительная часть серы и фосфора, поэтому почвы, более богатые органическим веществом, отличаются и большим содержанием азота. В органическом веществе находится также значительная часть серы и фосфора, поэтому почвы, более богатые органическим веществом, отличаются и большим содержанием азота.

Напомним, что почвенный воздух отличается от атмосферного повышенным содержанием диоксида углерода (в среднем около 1 %, иногда до 3 % и более) и меньшим — кислорода. При избыточном увлажнении почвы и плохой аэрации содержание  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе повышается, а количество кислорода снижается до уровня 8—12 % и менее, что отрицательно сказывается на развитии растений и микроорганизмов. От хода процессов выветривания и разрушения минералов, разложения органического вещества в почве, внесения органических и минеральных удобрений зависит поступление солей в почвенный раствор, являющийся

наиболее подвижной и активной частью почвы. Из него растения непосредственно усваивают воду и питательные элементы.

Органическое вещество положительно влияет на структуру почвы, ее водно-физические свойства (влагоемкость, водо- и воздухопроницаемость), тепловой режим, устойчивость к эрозионным процессам. Органические вещества для большинства почвенных микроорганизмов служат источником пищи и энергетическим материалом. Гумусовые вещества почвы труднее подвергаются минерализации, чем органические соединения растительных остатков и других негумифицированных веществ. Однако при длительном возделывании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений может произойти значительное уменьшение общего количества гумуса и азота в почве. Ежегодная минерализация органического вещества в пахотном слое дерново-подзолистых почв составляет 0,6—0,7 т/га, а черноземов — 1 т/га с образованием соответствующего количества доступного растениям минерального азота. При содержании азота в гумусе в среднем около 5 % на каждую единицу поглощенного растениями из почвы азота должно минерализоваться 20-кратное количество гумуса.

Наиболее интенсивно происходит разложение гумуса в чистых нарах, где в почве может накапливаться до 120 кг/га минерального (преимущественно нитратного) азота. Одновременно с минерализацией органического вещества в почве постоянно происходит новообразование гумуса, и изменение общего его содержания определяется соотношением между этими процессами.

Основной источник органических веществ в почве — остатки растений. Под влиянием микроорганизмов и других факторов растительные остатки подвергаются сложным превращениям, образуя комплекс специфических гумусовых веществ. При возделывании культурных растений масса корневых и пожнивных остатков, попадающих в почву, составляет 3—4 т/га у однолетних культур и 1—12 т/га у клевера и люцерны. При увеличении количества поступающих в почву корневых и пожнивных остатков процессы гумусообразования усиливаются.

Согласно современным представлениям, содержание гумуса в почве — интегральный показатель, включающий в себя две составляющие, различающиеся по скорости круговорота: пассивную и активную фазы. *Пассивная фаза* представляет собой гумусовые вещества с высокой устойчивостью к минерализации и деградации, количество которых составляет естественный минимум органического вещества, после достижения которого минерализация практически не протекает. Содержание этой фазы определяется генетическими свойствами конкретной почвы, количеством физической глины и связано с особенностями присущего ей гумусообразовательного процесса.

*Активная фаза* — трансформируемая, она теряется или пополняется в зависимости от способа землепользования, непосредственно участвует в круговороте углерода и азота, в процессе сель-

скохозяйственного производства. Именно эта более лабильная фаза органического вещества подвержена процессам минерализации и иммобилизации углерода, новообразования гумуса. Она может истощаться при выращивании сельскохозяйственных культур без применения удобрений и восполняться возделыванием многолетних трав, внесением навоза и других органических удобрений в сочетании с минеральными удобрениями.

На рисунке 7 представлена динамика содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах многолетних полевых опытов Геосети ВИУА. Изменение содержания гумуса (его углерода) под влиянием систем удобрения в севооборотах выражено в процентах от исходного количества (до закладки опытов). Характер кривых многолетней динамики содержания гумуса по отношению к линии его исходного содержания свидетельствует о том, что наибольшие изменения этого показателя происходят в первые 15–20 лет проведения опытов, а затем в почве устанавливается относительно постоянный уровень в связи с достижением близкого к равновесному состоянию процессов минерализации — гумификации.

В почвах варианта без удобрений содержание гумуса стабилизируется на уровне ниже исходного в среднем на 20 % (на уровне присущего им пассивного фонда), при использовании одних минеральных удобрений — ниже исходного на 15 %, а при длительном применении навоза — поддерживается на уровне исходного. Сочетание органических удобрений с минеральными дает высокий положительный эффект, увеличивая количество гумуса в почвах по сравнению с исходным в среднем на 20 %.

Результаты подобного обобщения для более 100 многолетних полевых опытов на черноземах показали, что наиболее сильное снижение содержания гумуса в почвах контрольного варианта (без удобрений) и с одними минеральными удобрениями произошло в первые 10–15 лет, а затем оно стабилизировалось на уровне ниже исходного на 12–15 %. Внесение навоза и его сочетание с минеральными удобрениями обеспечивали сохранение на всем протяжении опытов содержание гумуса на исходном уровне. В большинстве

обобщенных опытов севооборотов плодосменные, количество применявшегося навоза составляло в расчете на 1 га севооборотной площади 4–6 т, дозы минеральных удобрений — средние зональные.

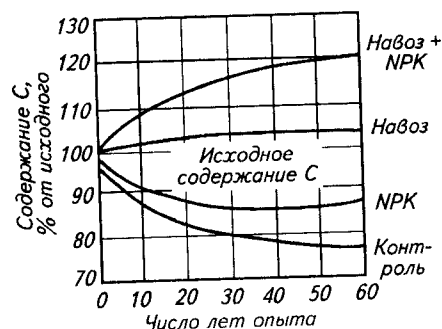


Рис. 7. Динамика содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах под влиянием систем удобрения в севооборотах в длительных полевых опытах (Шевцова, 1998)

Следовательно, систематическое, особенно совместное, применение органических и минеральных удобрений, повышая урожай сельскохозяйственных культур и увеличивая количество корневых и пожнивных остатков, способствует также сохранению и накоплению запасов гумуса и азота в почве.

Гумусовые вещества, наряду с мелкодисперсными минеральными частицами почвы, принимают участие в адсорбционных процессах, определяют поглотительную способность почвы и ее буферность.

**Поглотительная способность.** Она играет большую роль в питании растений и превращении удобрений в почве. Основы современных представлений о поглотительной способности почвы были разработаны известным отечественным почвоведом и агрохимиком К. К. Гедройцем. Под *поглотительной способностью* понимают способность почвы поглощать и удерживать различные вещества из раствора, проходящего через нее. К. К. Гедройц различал пять видов поглотительной способности.

**Биологическая поглотительная способность** связана с жизнедеятельностью растений и почвенных микроорганизмов, которые изобретательно поглощают из почвенного раствора необходимые элементы минерального питания, переводят их в органические соединения своих тел и тем самым предохраняют от выщелачивания из почвы. После отмирания корней, растений и микроорганизмов происходят постепенная минерализация и гумификация их органических веществ, содержащиеся в организмах элементы питания переходят в минеральную, доступную для растений форму.

Интенсивность биологического поглощения зависит от аэрации, влажности и других свойств почвы, количества и состава органического вещества, служащего источником пищи и энергетического материала для преобладающих в почве гетеротрофных микроорганизмов. Внесение в почву значительного количества азотом органического вещества (соломы и солоmistого навоза) вызывает быстрое размножение микроорганизмов, сопровождающееся усилением биологического закрепления минеральных форм азота и фосфора. Это приводит к ухудшению питания растений и снижению урожая.

Биологическое поглощение играет особенно большую роль в превращении азотных удобрений в почве. Исследования с использованием стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$  показали, что в результате биологического поглощения в почве закрепляется в органической форме 20–40 % азота аммонийных и в 1,5–2 раза меньше (10–20 %) азота нитратных удобрений. Однако биологическое поглощение имеет особо важное значение для нитратного азота, поскольку он никаким иным путем в почве не удерживается. Не усвоенный растениями и микроорганизмами легкоподвижный нитратный азот может вымываться, особенно из почв легкого механического состава в районах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия. Кроме того, нитратный азот под дей-

ствием микроорганизмов подвергается денитрификации и теряет-ся из почвы в газообразной форме.

*Механическая поглощательная способность* обусловлена свойством почвы, как всякого пористого тела, задерживать мелкие частицы из фильтрующихся суспензий. Механическим поглощением объясняется сохранение и характер распределения в почве илистых частиц и нерастворимых удобрений (фосфоритной муки, извести). Благодаря механической поглощательной способности эти удобрения не вымываются из верхнего слоя почвы, в ней сохраняется также наиболее ценная коллоидная фракция.

*Физическая поглощательная способность* — это положительная или отрицательная адсорбция частицами почвы целых молекул газов различных органических веществ (в том числе пестицидов). К. К. Гедройц относил физическую отрицательную адсорбцию К. К. Гедройц относил взаимодействие «нерастворяющего объема молекулярно-сорбированной воды» в почве с растворами хлоридов и нитратов, которое обуславливает их высокую подвижность в почве и возможность вымывания.

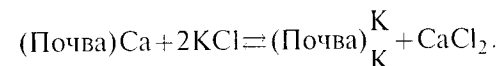
*Химическая поглощательная способность* связана с образованием нерастворимых и труднорастворимых в воде соединений в результате химических реакций между отдельными растворимыми солями в почве (ионами в почвенном растворе). Так, анионы угольной и серной кислот с двухвалентными катионами кальция и магния дают труднорастворимые в воде соли ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ ), выпадающие в осадок.

Особое значение химическое поглощение имеет в превращении фосфора в почве. При внесении водорастворимых фосфорных удобрений — суперфосфата, содержащего фосфор в виде однозамещенного фосфата кальция  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , аммофоса  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , диаммофоса  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  и других — в почвах происходит интенсивное химическое связывание фосфора. В кислых почвах (подзолистых и красноземах), содержащих много полуторных окислов, химическое поглощение фосфора идет с образованием труднорастворимых фосфатов железа и алюминия. Фосфор свежесаживаемых фосфатов алюминия и железа может частично усваиваться растением, однако по мере старения осадки кристаллизуются и становятся менее растворимыми и слабодоступными источниками фосфора для растений.

В карбонатных, а также насыщенных основаниями почвах (содержащих много кальция и магния в почвенном растворе) химическое связывание фосфора происходит в результате образования слаборастворимых двух- и более замещенных фосфатов. Двухзамещенный фосфат кальция ( $\text{CaHPO}_4$ ) растворим в слабых кислотах, и фосфор из него может усваиваться растениями. Но при образовании фосфатов кальция более высокой степени замещенности доступность фосфора для растений снижается.

Химическое связывание (фиксация) фосфора обуславливает слабую подвижность его в почве и снижает доступность этого элемента для растений из легкорастворимых удобрений. По способности к фиксации фосфора почвы располагаются в следующем порядке: красноземы > дерново-подзолистые > сероземы > черноземы.

*Обменная поглощательная способность* имеет очень важное значение при взаимодействии удобрений с почвой. Обменное поглощение — это способность мелкодисперсных коллоидных (< 0,0001 мм) и илистых (< 0,001 мм) частиц почвы поглощать из раствора различные катионы. Поглощение одних катионов из раствора сопровождается вытеснением в него эквивалентного количества других катионов, ранее поглощенных твердой фазой почвы:



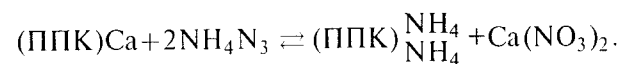
Вся совокупность мелкодисперсных частиц почвы, как органических (представленных гумусовыми веществами), так и минеральных (главным образом глинистые минералы), участвующих в обменном поглощении катионов, была названа К. К. Гедройцем почвенным поглощающим комплексом (ППК).

Способность органических и минеральных коллоидных частиц к обменному поглощению катионов обусловлена их отрицательным зарядом. В почве имеются и положительно заряженные коллоиды (гидроксид железа и алюминия при pH ниже 7—8), но, как правило, в большинстве почв преобладают отрицательно заряженные коллоиды.

В естественном состоянии почвы всегда содержат определенное количество поглощенных катионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  и др. Эти катионы могут обмениваться на другие катионы, находящиеся в растворе. Обмен катионами между раствором и почвенным поглощающим комплексом происходит в эквивалентных количествах.

Реакция обмена катионов проходит очень быстро. При внесении в почву легкорастворимых удобрений ( $\text{KCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$  и др.) они сразу вступают во взаимодействие с ППК, катионы их поглощаются из раствора почвой в обмен на катионы, ранее находившиеся в ней в поглощенном состоянии.

Реакция обмена катионов обратима, так как поглощенный почвой катион может быть снова вытеснен в раствор:



В зависимости от концентрации раствора, его объема и природы обменивающихся катионов между катионами раствора и по-

ценного поглощающего комплекса устанавливается некоторое подвижное равновесие. При изменении состава и концентрации почвенного раствора это равновесие смещается, в результате чего одни катионы переходят из раствора в поглощенное состояние, а другие наоборот — из поглощенного состояния в почвенный раствор. При внесении в почву растворимых минеральных удобрений, например KCl, концентрация почвенного раствора повышается, катионы удобрения вступают в обменную реакцию с катионами ППК, и часть их поглощается почвой.

При усвоении какого-либо катиона растениями концентрация его в растворе уменьшается, этот катион из поглощенного состояния переходит в раствор в обмен на другие катионы, содержащиеся в почвенном растворе. Чем выше степень насыщенности поглощающего комплекса данным катионом, тем легче и быстрее он вытесняется в раствор, и наоборот. Количество катионов, вытесняемых из поглощенного состояния в раствор, увеличивается с увеличением концентрации раствора, а при одинаковой концентрации — с увеличением объема раствора вытесняющей соли.

Разные катионы обладают неодинаковой способностью к поглощению. Чем больше заряд (валентность) катиона и его атомная масса, тем сильнее он поглощается и труднее вытесняется из поглощенного состояния другими катионами. В порядке возрастающей способности к поглощению катионы располагаются в такой последовательности: одновалентные —  ${}^7\text{Li}^+ < {}^{23}\text{Na}^+ < {}^{18}\text{NH}_4^+ < {}^{39}\text{K}^+$ , двухвалентные —  ${}^{24}\text{Mg}^{2+} < {}^{40}\text{Ca}^{2+}$ , трехвалентные —  ${}^{27}\text{Al}^{3+} < {}^{56}\text{Fe}^{3+}$ . Исключение составляет катион  $\text{NH}_4^+$ , который по своей массе среди одновалентных катионов занимает второе место, а по энергии поглощения — третье, а также ионы  $\text{H}^+$ , которые имеют наименьшую атомную массу, но обладают высокой энергией поглощения и способностью вытеснять другие катионы из поглощенного состояния.

**Емкость поглощения и состав поглощенных катионов у разных почв.** Разные почвы содержат неодинаковое количество способных к обмену поглощенных катионов (табл. 12). Общее количество в почве всех обменно-поглощенных катионов называется *емкостью катионного обмена* (ЕКО), или *емкостью поглощения*. Она обозначается в специальной литературе буквами Т или Σ и выражается в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы. Например, если в 100 г почвы в поглощенном состоянии содержится 400 мг  $\text{Ca}^{2+}$ , 60 мг  $\text{Mg}^{2+}$  или 9 мг  $\text{NH}_4^+$ , то емкость поглощения этой почвы будет  $\frac{400}{20} + \frac{60}{12} + \frac{9}{18} = 25,5$  мг-экв/100 г (20 — эквивалентная масса кальция, 12 — магния, 18 — аммония).

Величина емкости поглощения характеризует поглотительную способность почв. Она зависит от гранулометрического и минералогического состава почвы, общего содержания в ней органического

12. Емкость поглощения разных почв и содержание в них гумуса (по Н. П. Ремезову)

Почва	Содержание, %			Емкость поглощения катионов, мг-экв/100 г почвы	Содержание поглощенных катионов, мг-экв/100 г почвы		
	гумуса	минеральных частиц диаметром			Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>
		менее 0,00025 мм	0,00025–0,001 мм				
Дерново-подзолистая	2,5	2	2	15	8	—	7
Серая лесная	3	5	4	20	16	—	4
Чернозем:							
вышелоченный	8	15	5	50	40	—	10
типичный	10	5	10	65	60	—	5
обыкновенный	6	5	10	35	31	2	2
южный	4,5	5	10	30	28	2	—
Каштановая	2,5	3	5	27	25	2	—
Серозем	1	3	5	15	14	1	—

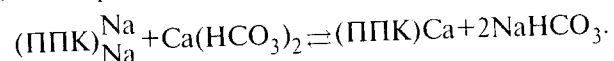
кого вещества. Почвы с малым содержанием коллоидной фракции (песчаные и супесчаные) имеют низкую емкость поглощения. Чем больше в почве минеральных и органических коллоидных частиц, тем выше ее поглотительная способность. У глинистых и суглинистых почв емкость поглощения больше, чем у песчаных и супесчаных. Богатые органическим веществом черноземные почвы имеют значительно более высокую емкость поглощения (30–65 мг-экв/100 г), чем дерново-подзолистые, светло-серые и светло-каштановые почвы (10–15 мг-экв/100 г для почвы среднетяжелого гранулометрического состава).

Поглотительная способность почвы оказывает большое влияние на превращение в ней минеральных удобрений, определяет степень подвижности их в почве. На почвах с низкой емкостью поглощения при внесении легкорастворимых удобрений возможно вымывание питательных элементов и излишнее повышение концентрации раствора. Поэтому азотные и калийные удобрения на таких почвах лучше вносить небольшими дозами и незадолго до посева. На почвах с высокой поглотительной способностью вымывания питательных элементов и избыточного повышения концентрации раствора не происходит.

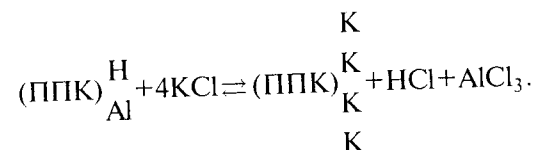
Разные почвы отличаются не только общей емкостью поглощения, но и составом поглощенных катионов. В большинстве почв в составе поглощенных катионов преобладает  $\text{Ca}^{2+}$ , второе место занимает  $\text{Mg}^{2+}$  и в значительно меньших количествах находятся  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$ . Сумма  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  обычно составляет около 90 % общего количества обменно-поглощенных катионов. В кислых почвах (подзолистых и красноземах) среди поглощенных катионов значительную часть составляют  $\text{H}^+$  и  $\text{Al}^{3+}$ , а в солонцовых почвах —  $\text{Na}^+$ . Обменно-поглощенные почвой катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$  — важный источник питательных элементов для растений,

они сравнительно легко вытесняются в раствор и хорошо усваиваются растениями.

От состава поглощенных катионов в значительной степени зависят свойства почвы и условия роста растений. Кальций и магний коагулируют органические и минеральные коллоиды, которые лучше сохраняются и накапливаются в почве. Поэтому преобладание в составе поглощенных катионов  $\text{Ca}^{2+}$ , например в черноземах, способствует увеличению емкости поглощения почвы, поддержанию прочной структуры и обуславливает ее хорошие физические свойства, водный и воздушный режимы. Насыщение почвы натрием (у солонцовых почв) вызывает пептизацию коллоидов, что приводит к их вымыванию и обеднению почвы питательными элементами, к разрушению структурных агрегатов и ухудшению ее физических свойств (плотное сложение, вязкость и т. д.). Кроме того, при наличии натрия в ППК происходит вытеснение этого элемента в раствор в обмен на другие катионы с образованием соды. Это обуславливает щелочную реакцию раствора, неблагоприятную для развития растений.



При большом содержании в почвенном поглощающем комплексе ионов водорода и алюминия они могут переходить в раствор при взаимодействии с катионами водорастворимых солей и подкислять его.



Повышенная кислотность раствора и особенно высокое содержание в нем алюминия оказывают вредное действие на растения.

### 3.2. РЕАКЦИЯ И БУФЕРНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ

Реакцию среды принято характеризовать значением pH — отрицательным логарифмом концентрации ионов водорода. Концентрация активных водородных ионов (так же, как и гидроксильных ионов  $\text{OH}^-$ ) в водных растворах может колебаться от  $10^{-14}$  г-ион/л, но произведение их концентраций остается всегда равным  $10^{-14}$  (при  $22^\circ\text{C}$ ). Следовательно, степень кислотности или щелочности раствора выражается значениями pH от 1 до 14. При pH 7 (т. е. при одинаковой концентрации ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ ,

равной  $10^{-7}$ ) реакция среды нейтральная. Если pH больше 7 — реакция щелочная, если pH меньше 7 — кислая.

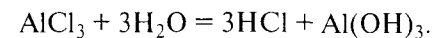
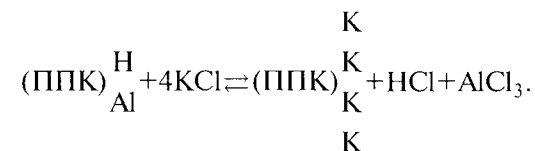
Реакция водной вытяжки разных почв колеблется от pH 3—3,5 (в верховых сфагновых торфяниках) до pH 9—10 (в солонцовых почвах). Щелочную реакцию имеют южные черноземы и каштановые почвы (pH 7,5), солонцеватые почвы (pH до 8,5) и солонцы (pH до 9 и более). Реакция раствора, близкая к нейтральной (pH 6,5—7), — у обыкновенного и типичного черноземов, слабокислая (pH 5,5—6,5) у оподзоленных и выщелоченных черноземов, серых лесных почв, а подзолистые и дерново-подзолистые почвы могут иметь различную степень кислотности, в том числе сильнокислую реакцию (ниже pH 4,5).

**Кислотность почвы.** Она создается наличием ионов  $\text{H}^+$  в почвенном растворе и поглощающем комплексе. Различают активную и потенциальную кислотность почвы. *Активная* (актуальная) *кислотность* обусловлена повышенной концентрацией ионов  $\text{H}^+$  в почвенном растворе. Определяется она в водной вытяжке из почвы.

Активная кислотность создается при недостатке в почве нейтрализующих веществ за счет диссоциации  $\text{H}^+$  от угольной, других водорастворимых кислот и гидролитически кислых солей. В насыщенных основаниями (Ca, Mg и Na) и карбонатных почвах происходит нейтрализация кислот, реакция их раствора нейтральная или щелочная.

Активная кислотность находится в тесной связи с *потенциальной* (скрытой) *кислотностью*, которая, в свою очередь, подразделяется на обменную и гидролитическую.

Ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{Al}^{3+}$ , находящиеся в почвенном поглощающем комплексе, при взаимодействии с растворами солей вытесняются из поглощенного состояния и подкисляют почвенный раствор. В растворе образуется соляная кислота и хлорид алюминия — гидролитически кислая соль.



Кислотность почвы, обусловленная ионами водорода и алюминия, находящимися в поглощенном состоянии и способными вытесняться в раствор катионом нейтральной соли, называется *обменной*. Определяется она обработкой почвы раствором 1 М KCl (солевая вытяжка) и выражается в мг-экв на 100 г почвы или величиной pH. В солевой вытяжке определяются актуальная и обменная кислотность, поэтому pH солевой вытяжки обычно ниже, чем pH водной вытяжки.

Обменная кислотность характерна для дерново-подзолистых и серых лесных почв, оподзоленных и выщелоченных черноземов, а так-

же красноземов. Это скрытая кислотность, но при действии на почву нейтральных солей она переходит в актуальную и отрицательно влияет на развитие растений. Особенно вредно действует переходящий в раствор алюминий. Результаты определения pH солевой вытяжки служат для характеристики степени кислотности почвы. При pH до 4,5 кислотность сильная, pH 4,6—5 — средняя, pH 5,1—5,5 — слабая, pH 5,6—6 — реакция, близкая к нейтральной, от 6 до 7 — нейтральная. По величине pH солевой вытяжки устанавливают степень нуждаемости почв в известковании и ориентировочную дозу извести.

При обработке почвы 1 М KCl из почвенного поглощающего комплекса вытесняются не все ионы водорода, часть их более прочно поглощена коллоидами почвы и катионами нейтральных солей не вытесняется. Их можно вытеснить при действии на почву раствором гидролитически щелочной соли, например ацетата натрия  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .

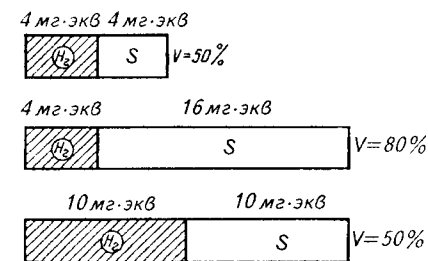
Кислотность почвы, обусловленная менее подвижными ионами водорода, которые вытесняются при обработке почвы гидролитически щелочной солью, называется *гидролитической*. С ней приходится встречаться чаще, чем с обменной, она свойственна большинству почв, даже черноземам. Эта кислотность включает менее подвижную часть поглощенных ионов  $\text{H}^+$ , труднее обменивающихся на катионы почвенного раствора. Определять ее необходимо для решения практических вопросов применения удобрений — установления доз извести и возможности эффективного применения фосфоритной муки.

При обработке почвы раствором ацетата натрия в раствор переходят все содержащиеся в почве ионы водорода (и алюминия), т. е. определяется сумма всех видов кислотности (актуальная, обменная и гидролитическая). Чтобы определить величину собственно гидролитической кислотности, необходимо из общего показателя вычесть значение обменной кислотности. Обычно этого не делают и термином «гидролитическая кислотность» обозначают общую кислотность почвы, выражая ее в мг-экв/100 г почвы.

**Степень насыщенности основаниями.** Для характеристики почвы важно знать не только общее количество поглощенных ионов водорода, но и соотношение между ними и другими поглощенными катионами ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и др.). Количество всех поглощенных катионов, кроме водорода и алюминия, в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы (сумма поглощенных оснований) обозначают буквой S, а общее количество поглощенного водорода —  $\text{H}_r$ . Сложение их дает общую емкость поглощения почвы:  $S + \text{H}_r = T$ , мг-экв/100 г почвы. Доля суммы поглощенных оснований от емкости поглощения, выраженная в процентах, называется *степенью насыщенности почв основаниями (V)*. Ее вычисляют по формулам

$$V = \frac{S}{T} \cdot 100 \text{ или } V = \frac{S}{S + \text{H}_r} \cdot 100, \%$$

Рис. 8. Схематическое изображение зависимости между емкостью обменного поглощения катионов, гидролитической кислотностью ( $\text{H}_r$ ), суммой поглощенных оснований (S) и степенью насыщенности основаниями (V)



Чем меньше почва насыщена основаниями, тем она кислее, и наоборот, чем выше степень насыщенности почвы основаниями, тем ниже ее кислотность и нуждаемость в известковании. Сильнокислые почвы обычно имеют степень насыщенности основаниями менее или около 50 %, среднекислые насыщены основаниями на 50—60 %, слабокислые — от 60 до 70—75 %, а имеющие близкую к нейтральной реакции — свыше 70—75 % и не нуждаются в известковании. При одной и той же величине гидролитической кислотности почвы в зависимости от емкости поглощения могут иметь разную степень кислотности, а при равной емкости поглощения их степень насыщенности основаниями и степень кислотности определяются величиной гидролитической кислотности (рис. 8).

Степень насыщенности почвы основаниями — важный показатель для правильной оценки степени кислотности почвы и нуждаемости в известковании.

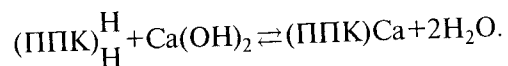
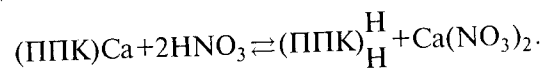
**Щелочность почв.** Она также подразделяется на активную и потенциальную. *Активная* (актуальная) *щелочность* обусловлена содержанием в почвенном растворе различных гидролитически щелочных солей — карбонатов и бикарбонатов щелочных и щелочноземельных элементов, но прежде всего натрия. *Потенциальная щелочность почв* связана с наличием в почвенном поглощающем комплексе также катиона натрия, который может быть легко вытеснен в почвенный раствор другими катионами. Поскольку между почвенным раствором и твердой фазой почвы существует подвижное равновесие, наличие натрия в ППК всегда чревато переходом его в почвенный раствор. Для практических целей обычно определяют только актуальную щелочность почв. Она оценивается по значению pH почвенного раствора или в абсолютных величинах (мг-экв/100 г почвы) путем титрования водной вытяжки щелотой определенной нормальности. Солонцеватые почвы характеризуются содержанием водорастворимых солей и по типу засоления.

Если концентрация раствора в незасоленных почвах невелика и обычно составляет десятые доли граммов на 1 л, то в засоленных почвах она достигает нескольких, иногда десятков граммов на 1 л.

Избыток водорастворимых солей в почве (более 0,2 %, или 2 г на 1 кг почвы) оказывает вредное действие на растение, а при содержании их 0,3—0,5 % растения погибают. От состава, концентрации и степени диссоциации растворенных веществ зависят не только реакция, но и осмотическое давление почвенного раствора, и поглощение воды корнями растений. Осмотическое давление почвенного раствора в незасоленных почвах значительно ниже, чем в клеточном соке растений. На засоленных почвах с высоким осмотическим давлением поглощение воды и питательных веществ культурными растениями затрудняется.

Для определения потребности в гипсовании солонцов содового засоления и доз гипса необходимо знать количество поглощенного натрия и его долю от емкости поглощения катионов.

**Буферность почвы.** Это способность почвы сопротивляться изменению реакции почвенного раствора в сторону подкисления или подщелачивания при внесении физиологически кислых или физиологически щелочных удобрений. Она зависит в основном от количества органического вещества в почве, содержания и состава обменных катионов в почвенном поглощающем комплексе, т. е. от емкости поглощения и степени насыщенности почвы основаниями. Чем больше емкость поглощения почвы, тем выше ее буферная способность. Богатые гумусом и более тяжелые по гранулометрическому составу глинистые и суглинистые почвы обладают высокой буферностью. Почвы с низкой емкостью поглощения (песчаные и супесчаные) имеют слабую буферность как против подкисления, так и против подщелачивания. Поглощенные основания (кальций, магний и др.) оказывают буферное действие против подкисления, а поглощенный водород — против подщелачивания реакции почвенного раствора.



В почвах, насыщенных основаниями, свободные кислоты (например,  $\text{HNO}_3$ ) нейтрализуются с образованием в растворе нейтральной соли  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  вследствие поглощения почвой ионов  $\text{H}^+$  кислоты в обмен на катионы  $\text{Ca}^{2+}$ , которые из поглощенного состояния вытесняются в раствор. В почвах, не насыщенных основаниями, имеющих обменную или гидролитическую кислотность, происходит нейтрализация щелочи  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в результате поглощения ее катионов в обмен на ионы  $\text{H}^+$ , которые вытесняются в раствор и связывают ионы  $\text{OH}^-$  с образованием воды. Чем больше гидролитическая кислотность почвы, тем сильнее выражена буферность ее против подщелачивания. Почвы с высокой степенью насыщенности основаниями обла-

дают сильной буферностью против подкисления. Внесение органических удобрений и известкование повышают буферность почвы против подкисления. Органическое вещество почвы обладает высокой буферной способностью как к подкислению, так и к подщелачиванию.

### 3.3. СОДЕРЖАНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ И ИХ ДОСТУПНОСТЬ РАСТЕНИЯМ

В почвах различного типа и гранулометрического состава количество и качественный состав органического вещества, а также состав минеральной части неодинаковы, поэтому почвы отличаются по относительному и валовому содержанию основных элементов питания (табл. 13).

13. Относительное и валовое содержание азота, фосфора и калия в пахотном слое разных почв

Почва	N		$\text{P}_2\text{O}_5$		$\text{K}_2\text{O}$	
	%	тыс. кг/га	%	тыс. кг/га	%	тыс. кг/га
Черново-подзолистая:						
песчаная	0,02—0,05	0,6—1,5	0,03—0,06	0,9—1,8	0,5—0,7	15—21
суглинистая	0,05—0,13	1,5—4,0	0,04—0,12	1,2—3,6	1,5—2,5	45—75
Чернозем	0,2—0,5	6—15	0,1—0,3	3—9	2—2,5	60—75
Серозем	0,05—0,15	1,5—4,5	0,08—0,2	1,6—6	2,5—3	75—90

Общее содержание азота в почвах находится в прямой зависимости от количества гумуса, фосфора, оно также бывает больше в богатых органическим веществом почвах, тогда как содержание калия в основном определяется гранулометрическим и минералогическим составом минеральной части почв.

В большинстве почв общий запас азота, фосфора и калия составляет значительные величины, в десятки и сотни раз превышающие вынос их урожаем одной культуры. Однако основная масса питательных элементов находится в почве в виде соединений, недоступных для непосредственного питания растений. Азот содержится главным образом в форме гумусовых веществ, фосфор — в виде труднорастворимых минеральных солей и органических веществ, а калий — в нерастворимых алюмосиликатных минералах. Поэтому валовой запас питательных элементов в почве характеризует лишь ее потенциальное плодородие. Эффективное (актуальное) плодородие почвы, т. е. ее способность обеспечить получение урожаев сельскохозяйственных культур, определяется содержанием питательных элементов в доступной для растений форме.



Для питания растений доступны только те питательные вещества, которые находятся в почве в форме соединений, растворимых в воде и слабых кислотах, а также в обменно-поглощенном состоянии. Мобилизация питательных элементов (переход труднорастворимых соединений в усвояемую форму) постоянно происходит в почве под влиянием биологических, физико-химических и химических процессов.

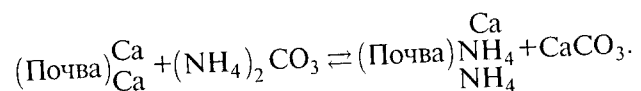
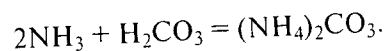
В разных почвах процессы мобилизации протекают с неодинаковой интенсивностью в зависимости от характера соединений, которыми представлены питательные вещества, климатических условий, уровня агротехники и т. д. Обычно эти процессы протекают медленно, и тех количеств доступных для растений форм питательных элементов, которые образуются в почве за вегетационный период, бывает недостаточно для удовлетворения потребности растений. Поэтому почти на всех почвах внесение тех или иных удобрений необходимо для повышения урожаев сельскохозяйственных культур.

**Азот.** Содержание азота в почвах зависит от количества гумуса и составляет примерно 1/20 его часть. В черноземных почвах общее содержание азота достигает 0,4—0,5 %, а в дерново-подзолистых почвах и сероземах его лишь 0,05—0,15 %. Общий запас азота в пахотном слое разных почв колеблется от 1500 до 15000 кг/га.

Основная масса (до 99 %) почвенного азота находится в виде органических соединений (белковых и гумусовых веществ), недоступных для питания растений. Скорость минерализации органических соединений азота почвенными микроорганизмами до усвояемых растений минеральных соединений (аммония и нитратов) зависит от условий аэрации, влажности, температуры и реакции почвы. Поэтому количество минеральных соединений азота в почвах сильно колеблется — от следов до 2—3 % общего его содержания.

Разложение органических азотистых веществ в почве в общем виде может быть представлено следующей схемой: гуминовые вещества, белки → аминокислоты, амиды → аммиак → нитриты → нитраты → молекулярный азот.

Распад органических азотсодержащих веществ почвы до аммиака называется *аммонификацией*. Аммонификацию осуществляют разнообразные аэробные и анаэробные почвенные микроорганизмы. Она происходит во всех почвах при разной реакции среды, но замедляется в анаэробных условиях и при сильнокислой и щелочной реакциях. Аммиак взаимодействует с угольной кислотой почвенного раствора, образуя карбонат аммония, а  $\text{NH}_4^+$  поглощается почвой:



Аммонийный азот в почве подвергается *нитрификации* — окислению до нитратного азота.

Нитрификация происходит в результате деятельности группы специфических аэробных бактерий, для которых окисление аммиака служит источником энергии. Одни из них (*Nitrosomonas*) окисляют  $\text{NH}_4^+$  до  $\text{NO}_2^-$ , затем другие бактерии (*Nitrobacter*)

окисляют  $\text{NO}_2^-$  до  $\text{NO}_3^-$ . Оптимальные условия для нитрификации — хорошая аэрация, влажность почвы 60—70 % капиллярной влагоемкости, температура 25—32 °С и близкая к нейтральной реакция. Интенсивность нитрификации — один из признаков культурного состояния почвы.

На кислых подзолистых почвах в условиях плохой аэрации, избыточной влажности и низкой температуры процессы минерализации протекают слабо и прекращаются на стадии образования аммония. Нитрификация из-за неблагоприятных условий для деятельности нитрифицирующих бактерий бывает подавлена, нитратов образуется мало.

На окультуренных, хорошо обработанных почвах процессы аммонификации и нитрификации проходят более интенсивно, больше образуется минеральных соединений азота, главным образом нитратов. Известкование кислых почв, систематическое внесение органических и минеральных удобрений, усиливая микробиологическую деятельность в почве, резко повышают интенсивность минерализации органического вещества и образования усвояемых минеральных соединений азота. Последние не накапливаются в почве в больших количествах, так как потребляются растениями и микроорганизмами и частично снова превращаются в органическую форму.

Кроме того, нитратный азот теряется из почвы в результате денитрификации и вымывания его из корнеобитаемого слоя осадками и поливными водами. Потери нитратов за счет вымывания из почв тяжелого гранулометрического состава под растениями обычно незначительны. Однако на легких, особенно парующих, почвах в увлажненных районах, а также в условиях орошаемого земледелия такие потери могут быть значительными. К отрицательным последствиям вымывания нитратов относится также загрязнение ими водных источников, в том числе питьевых ресурсов.

В основном потери азота из почвы происходят в газообразной форме в результате *денитрификации* — процесса дессимильаторного восстановления нитратного азота до молекулярного ( $\text{N}_2$ ) либо до газообразных оксидов азота ( $\text{NO}$ ) и ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Биологическую денитрификацию осуществляет группа денитрифицирующих бактерий. Особенно интенсивно этот процесс идет в анаэробных условиях, при щелочной реакции почвы и в присутствии доступного микроорганизмам органического вещества. Биологическая денитрификация протекает и в обычных условиях аэрации, реакции среды и

увлажнения, поскольку в почвах даже при общих аэробных условиях неизбежно наличие анаэробных микрозон, а диапазон благоприятной реакции среды для развития денитрификаторов довольно широкий.

Наряду с биологической денитрификацией наблюдается косвенная, называемая хемоденитрификацией, которая связана с образованием газообразных оксидов азота и молекулярного азота в результате химических реакций: при разложении промежуточных продуктов нитрификации — нитратов и гидроксиламина (особенно при кислой реакции), при взаимодействии нитритов с  $\text{NH}_4^+$ ,  $\alpha$ -аминокислотами, ионами  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$  и с органическими веществами почвы.

Следовательно, в круговороте азота в земледелии процессы нитрификации наряду с положительным имеют и отрицательное значение, так как образующиеся нитраты и нитриты могут вымываться и теряться из почвы в виде газообразных продуктов ( $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ) биологической и хемоденитрификации.

Азот, усвоенный растениями, возвращается снова в почву с навозом лишь частично, так как значительная часть его отчуждается с товарной продукцией (зерно, волокно льна, клубни картофеля и т. д.). Чтобы не допустить обеднения почвы азотом и получать высокие, устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур, необходимо постоянно пополнять его запасы в почве путем внесения органических и минеральных удобрений.

Единственный естественный источник восстановления почвенных запасов этого элемента — процесс *биологической фиксации* молекулярного азота атмосферы.

В атмосфере над каждым гектаром почвы находится около 80 тыс. т азота, но молекулярный азот воздуха недоступен большинству растений (кроме бобовых). Только небольшое количество связанного азота (до 3—5 кг/га) образуется в самой атмосфере под действием грозных разрядов и с осадками в виде аммиака, азотистой и азотной кислот поступает в почву. Гораздо большее значение для пополнения почвы азотом и питания растений имеет связывание (фиксация) молекулярного азота воздуха азотфиксирующими микроорганизмами, свободноживущими в почве (азотобактер, клубеньковыми бактериями, живущими в симбиозе с бобовыми растениями (симбиотическая азотфиксация), а также азотфиксирующими микроорганизмами в ризосфере небобовых растений (ассоциативная азотфиксация).

Свободноживущие и ассоциативные азотфиксаторы ассимилируют в тропической зоне, южных и умеренных широтах до 20—30 кг азота на 1 га, а в северных широтах при недостатке тепла, малом содержании органического вещества в почвах и неблагоприятной для азотфиксаторов кислой реакции — всего 5—10 кг/га. Размеры симбиотической азотфиксации значительно больше и зависят от вида и урожайности бобовых растений. Так, клевер при хорошем урожае может накапливать 150—160 кг/га азота, лю-

пин — 100—170, люцерна — 250—300 кг/га. Примерно 1/3 связанного бобовыми травами азота сохраняется в послеуборочных и корневых остатках и после их минерализации может использоваться культурами, идущими в севообороте вслед за бобовыми. В среднем в 1 т сена бобовых трав имеется 25—30 кг азота, а в корневых и послеуборочных остатках содержится и поступает в почву 10—15 кг азота. Вклад биологического азота в азотный баланс определяется поэтому площадью, занимаемой многолетними бобовыми травами и их урожаем, от которого зависит количество азота, остающегося в почве в корневых и послеуборочных остатках. Если площадь, занятая бобовыми травами, составляет 10 % общей посевной площади, а урожай сена равен 4 т/га, то ежегодное поступление в почву азота на 1 га посевов бобовых составит 40—60 кг, а в среднем на 1 га всей посевной площади — 4—6 кг. Зернобобовые культуры оставляют после себя в пожнивно-корневых остатках столько же азота, сколько используют для формирования урожая из почвы, т. е. они не обедняют почву азотом и являются хорошим предшественником для других культур.

Следовательно, суммарное поступление азота за счет указанных источников далеко не компенсирует выноса его урожаями сельскохозяйственных культур и потерь из почвы в результате вымывания и денитрификации. Поэтому для повышения урожаев всех культур и улучшения их качества огромное значение имеет внесение в почву содержащих азот органических и минеральных удобрений, получаемых путем искусственного синтеза из азота воздуха на химических заводах. Конечно, при этом должна максимально использоваться возможность вовлечения в круговорот питательных веществ фиксированного из атмосферы биологического азота путем расширения посева бобовых, особенно многолетних трав, и создания наиболее благоприятных условий для их выращивания и функционирования свободноживущих азотфиксаторов.

**Фосфор.** Количество фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) в различных почвах колеблется от 0,03 до 0,2 %, а общий запас его в пахотном слое — от 1000 до 6000 кг/га. Фосфора больше в почвах с высоким содержанием органического вещества (типичные и обыкновенные черноземы), чем в бедных гумусом почвах (дерново-подзолистые и серые лесные). Основное количество фосфора находится в почве в форме минеральных и органических соединений, недоступных для растений.

В материнских породах фосфор содержится в основном в форме фторапатита  $\text{CaF}(\text{PO}_4)_3$  и гидроксилапатита  $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ . При разрушении этих первичных фосфорсодержащих минералов образуются вторичные минеральные соединения фосфора, представляющие различные соли ортофосфорной кислоты. В кислых почвах (дерново-подзолистые и красноземы) образуются фосфаты железа и алюминия  $\text{AlPO}_4$  и  $\text{FePO}_4$ , а также основные соли  $\text{Fe}(\text{OH})_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{PO}_4$ , которые характеризуются очень сла-

бой растворимостью и доступностью для растений. В почвах, насыщенных основаниями (черноземы и каштановые), образуются преимущественно двух- и более замещенные фосфаты кальция. Они слаборастворимы в воде, но постепенно растворяются находящимися в почвенном растворе угольной, азотной и органическими кислотами, и поэтому их фосфор более доступен для растений, чем апатита и фосфатов полугидроксидов железа и алюминия. Во всех почвах присутствуют (обычно в незначительных количествах) хорошо растворимые в воде однозамещенные фосфаты кальция и магния, а также одно- и двухзамещенные фосфаты калия, натрия и аммония, фосфор которых легкодоступен растениям.

В результате деятельности растений и микроорганизмов в почвах накапливаются также органические соединения фосфора. Они представлены нуклеопротеидами, фитином, фосфатидами, сахарофосфатами и другими органическими соединениями, входящими в состав растений и микроорганизмов. Доля органических фосфатов в общем содержании  $P_2O_5$  в различных почвах колеблется от 10 % (в дерново-подзолистых почвах и сероземах) до 50 % (в черноземах). Фосфорорганические соединения могут усваиваться растениями только после их минерализации.

Процессы превращения недоступных для растений минеральных и органических соединений фосфора в усвояемую форму протекают очень медленно. Несмотря на большие общие запасы фосфора в почве, его доступных соединений содержится обычно мало, и, чтобы получать высокие и устойчивые урожаи, необходимо вносить фосфорные удобрения.

За вегетационный период растения потребляют из почвы на 1 т зерна около 10—15 кг фосфора ( $P_2O_5$ ), а 10 т товарного урожая корне-, клубнеплодов — 15—20 кг. Это значительно меньше, чем азота и калия. Однако больше фосфора содержится в зерне и значительно меньше в соломе, поэтому основная часть усвоенного растениями фосфора вместе с зерном и другой товарной продукцией отчуждается с урожаем и не может быть возвращена в почву с навозом или корневыми и стерневыми остатками. Кроме того, если запасы азота в почве пополняются в результате фиксации азота воздуха, то в отношении фосфора нет других источников, кроме фосфорных удобрений. Эти обстоятельства круговорота фосфора определяют высокую потребность в фосфорных удобрениях и большое значение их для повышения урожаев. Потребность в фосфорных удобрениях и их эффективность особенно возрастают при достаточном обеспечении растений азотом.

**Калий.** Содержание калия ( $K_2O$ ) в почвах колеблется от 0,5 до 3 % в зависимости от их гранулометрического состава. Больше калия в мелкодисперсных фракциях почвы, поэтому тяжелые глинистые и суглинистые почвы богаче калием, чем песчаные и супесчаные. Очень бедны калием (0,03—0,05 %) торфянистые почвы. В большинстве культурных суглинистых почв калия содержится 2—

2,5 %, т. е. значительно больше, чем азота и фосфора. Кроме того, если основной запас азота сосредоточен только в гумусовом горизонте, фосфора — в пахотном и подпахотном слоях, то калия — во всем корнеобитаемом слое почвы.

Общий запас  $K_2O$  в пахотном слое почвы 50—75 тыс. кг/га, но основная часть калия (98—99 %) находится в форме нерастворимых и малодоступных для растений соединений. По степени подвижности и доступности для растений содержащиеся в почве соединения калия можно подразделить на следующие основные формы.

1. Калий, входящий в состав прочных алюмосиликатных минералов, главным образом полевых шпатов (ортоклаза и др.) и слюды (мусковита, биотита и др.), которые характеризуются слабой растворимостью и доступностью для растений.

Калий полевых шпатов малодоступен для растений. Однако под влиянием воды и растворенной в ней углекислоты, изменений температуры почвы и деятельности почвенных микроорганизмов происходит постепенное разложение этих минералов с образованием растворимых солей калия. Калий слюды более доступен.

2. Калий обменный, поглощенный почвенными коллоидами, составляет не более 0,5—1,5 % общего содержания этого элемента в почве. Ему принадлежит основная роль в питании растений. Это обусловлено тем, что обменный калий доступен растениям. Кроме того, калий обладает способностью в обмен на другие катионы легко переходить в раствор, из которого используется растениями. При усвоении растениями калия из раствора новые его количества переходят из поглощенного состояния в почвенный раствор. Однако по мере использования обменного калия этот процесс все более замедляется, а остающийся калий прочнее удерживается в поглощенном состоянии.

Содержание обменного калия и способность к возобновлению концентрации калия в почвенном растворе служат показателями степени обеспеченности почвы усвояемым калием. Обыкновенные и типичные черноземы, каштановые почвы богаче обменным калием, чем дерново-подзолистые почвы, особенно песчаные и выщелоченные. Бедны им торфяные почвы.

3. Водорастворимый калий представлен различными солями, растворенными в почвенной влаге (нитраты, фосфаты, сульфаты, хлориды, карбонаты), которые непосредственно усваиваются растениями. Содержание его в почве обычно незначительное (около 0,01 % обменного или 0,1 % валового), так как из раствора калий немедленно переходит в поглощенное состояние и потребляется растениями.

В почвах ион калия (а также внесенных калийных удобрений) может поглощаться (фиксироваться) в необменной форме, в результате резко снижается доступность его растениям. Необменная

фиксация калия, как и иона аммония, наиболее сильно выражена в почвах, богатых глинистыми минералами монтмориллонитовой группы, в особенности при их попеременном увлажнении и высушивании. Необменно фиксированного калия в почвах содержится обычно больше, чем обменного, но он менее доступен растениям.

Круговорот калия сильно отличается от круговорота азота и фосфора. У зерновых культур калия больше в соломе, чем в зерне. Поэтому при полном использовании соломы в корм и на подстилку скоту большая часть калия с навозом снова возвращается в почву. Рациональное и полное использование навоза имеет в связи с этим очень большое значение для обеспечения растений калием.

В получении высоких урожаев сельскохозяйственных культур, особенно потребляющих большое количество калия, наряду с азотными и фосфорными удобрениями важная роль принадлежит минеральным калийным.

Валовое содержание кальция и магния в почвах приведено в таблице 14.

14. Среднее валовое содержание кальция и магния в различных почвах (по данным А. В. Петербургского), %

Химический элемент	Почвы			
	подзолистые	серые лесные	черноземы	сероземы
Кальций	0,7	0,9	1,4	6,0
Магний	0,5	0,7	0,9	1,4

Доступные растениям кальций и магний в обменно-поглощенном состоянии составляют подавляющую долю от суммы поглощенных почвой основных катионов, при этом соотношение кальция и магния обычно составляет 4 : 1.

С недостатком **кальция** и особенно **магния** в полевых условиях приходится встречаться на почвах легкого гранулометрического состава, причем в большей степени на кислых. Это связано как с более низким содержанием в них кальция и магния, так и со значительными потерями этих элементов за счет выщелачивания. Недостаток кальция на кислых почвах устраняют их известкованием, а магния — при известковании доломитовой мукой и путем использования на песчаных и супесчаных почвах магнийсодержащих калийных удобрений.

Недостаток **серы** может проявляться при выращивании более требовательных к ней культур из семейств бобовых и капустных на легких почвах Нечерноземной зоны, бедных этим элементом из-за низкого содержания органического вещества и вымывания гипса.

Валовое содержание **железа** в почвах составляет в среднем около 3 %. В кислых почвах с высоким содержанием подвижных форм железа сталкиваются не с недостатком его, а с избытком. В

полевых условиях недостаток железа проявляется лишь на карбонатных щелочных почвах, особенно бедных органическим веществом.

Общее содержание **бора** в различных типах почв колеблется от 1—2 до 50—80 мг/кг. Усвояемые (водорастворимые) соединения бора составляют обычно 3—10 % общего его количества. Содержание усвояемого бора в разных почвах следующее (мг/кг почвы): дерново-подзолистые и красноземы — 0,05—0,5, черноземы — 0,5—1,5. Наиболее богаты бором засоленные почвы, особенно солончаки; черноземы и каштановые почвы содержат его больше, чем дерново-подзолистые.

Отчетливая потребность многих культур в борных удобрениях проявляется при содержании подвижного бора менее 0,3 мг/кг почвы. Бедны усвояемым бором и требуют внесения борных удобрений прежде всего дерново-глеевые и темноцветные заболоченные, а также известкованные дерново-подзолистые почвы. При известковании уменьшается растворимость почвенных соединений бора и возрастает потребность растений в борных удобрениях и их эффективность. Особенно низким соединением бора, как и других микроэлементов, отличаются песчаные и супесчаные почвы.

При внесении высоких доз азотных, фосфорных и калийных удобрений и наличии других условий, обеспечивающих хороший рост растений, потребность многих культур в борных удобрениях проявляется и на неизвесткованных дерново-подзолистых почвах.

Валовое содержание **молибдена** в почвах колеблется от 0,2 до 12 мг/кг. Подвижные формы молибдена составляют 5—10 % общего количества этого элемента, их особенно мало в кислых почвах, так как при кислой реакции Мо находится в недоступной для растений форме (в виде нерастворимых молибдатов  $Al^{3+}$  и  $Fe^{3+}$ ). Растения испытывают потребность в молибдене, если подвижных форм его (извлекаемых кислым раствором оксалата аммония) в почве менее 0,15—0,2 мг/кг.

При известковании кислых почв увеличивается подвижность молибдена, его доступность для растений и уменьшается или полностью устраняется потребность в молибденовых удобрениях.

Подвижных соединений **меди** (извлекаемых 1 н. HCl) меньше в дерново-подзолистых почвах (0,05—1,5 мг/кг), чем в черноземах (2,5—10 мг/кг). Растения не обеспечены медью, если подвижных форм ее в почве содержится меньше 0,3 мг/кг.

Особенно бедны медью вновь освоенные низинные торфяники и почвы заболоченные с нейтральной или щелочной реакцией, а также дерново-глеевые. Применение медных удобрений на этих почвах — неперемнное условие получения высоких урожаев.

Недостаток **марганца** чаще всего проявляется на почвах с нейтральной или щелочной реакцией, особенно на песчаных и супесчаных, а также на торфяниках. Дерново-подзолистые кислые по-

чвы характеризуются высоким содержанием подвижного (обменного) марганца, поэтому применение марганцевых удобрений на них обычно не дает эффекта и даже может оказывать отрицательное действие, так как избыток марганца вреден для растений. При известковании кислых почв внесение марганцевых удобрений может быть эффективным.

Признаки недостатка **цинка** чаще всего наблюдаются у плодовых и цитрусовых пород, а из полевых культур — у кукурузы на карбонатных почвах с нейтральной и слабощелочной реакцией.

Валовое содержание цинка в почвах колеблется от 25 до 65 мг/кг. Подвижного цинка (извлекаемого 1 н. KCl) содержится (мг/кг почвы): в дерново-подзолистых почвах — 0,12—2, черноземных — 0,1—0,25, каштановых — 0,06—0,14. Бедны им карбонатные, особенно зафосфаченные, почвы, заправленные высокими дозами фосфорных удобрений. На этих почвах чаще возникает потребность в цинковых удобрениях.

Содержание усвояемых форм питательных элементов зависит от типа почвы, ее окультуренности и предшествующей удобренности. Оно может быть различным в почвах хозяйств и на отдельных полях. Поэтому для оценки потребности в удобрениях и правильности их применения наряду с проведением полевых опытов важное значение имеет агрохимическое обследование почв.

### 3.4. АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ И СЕРТИФИКАЦИЯ ПОЧВ

Агрохимическое обследование почв проводят специализированные подразделения — центры и станции агрохимической службы — в плановом порядке по договорам с сельскохозяйственными производителями (независимо от форм собственности) с целью агрохимической оценки и контроля за изменением плодородия почв, агроэкологической ситуации и для сертификации земель. Результаты обследования используют для определения потребности в удобрениях и других средствах химизации на всех уровнях управления производством, а также для разработки рекомендаций и проектно-сметной документации по применению удобрений и химических мелиорантов в хозяйствах, по проведению почво- и природоохранных мероприятий.

Агрохимическое обследование осуществляют на всех типах сельскохозяйственных угодий со следующей периодичностью: на госсортоучастках, в экспериментальных хозяйствах опытных станций и на мелиорированных угодьях — через 3 года, в хозяйствах с интенсивным применением удобрений (более 180 кг д. в. на 1 га) — через 4 года, в хозяйствах с меньшим уровнем применения удобрений — через 5—7 лет. В Нечерноземной, лесостепной и степной зонах и горных районах его проводят в масштабе 1 : 10000

и 1 : 25000, в полупустынной и пустынной зонах — 1 : 25000, на орошаемых землях — 1 : 5000—1 : 10000. Основой для проведения агрохимического обследования являются результаты почвенно-ландшафтного картографирования земель.

Для обеспечения должного качества агрохимического обследования необходим грамотный отбор почвенных образцов в поле. Неправильный их отбор обесценивает все последующие работы и разрабатываемые рекомендации.

Для отбора представительных проб отдельные поля и участки обследуемой территории на картографической основе (плане землепользования с нанесенными почвенными контурами) и в натуре разбивают на имеющие постоянную нумерацию элементарные участки правильной формы, площадь которых соответствует масштабу обследования. С каждого элементарного участка равномерно по маршрутным ходам (по осевой при вытянутой прямоугольной или по диагонали при квадратной форме участка) отбирают специальным тростьевым буром точечные пробы почвы, из которых формируется объединенная проба — смешанный почвенный образец. Почву помешают в полотняные мешочки с завязками и снабжают этикеткой стандартной формы с номером и адресными данными, а также информацией об особенностях микрорельефа, почвенного покрова, состояния посевов и др. Отобранные и высушенные смешанные почвенные образцы направляют в агрохимическую лабораторию для анализов.

Первые циклы агрохимического обследования, начатого после создания агрохимической службы в 1964 г. (всего на территории России уже проведено 5—7 туров в зависимости от периодичности обследования отдельных регионов), проводили только на пахотных почвах с определением лишь основных показателей плодородия почв — реакции и содержания подвижных форм фосфора и калия. Анализы почвы, обработку материалов аналитических работ и изготовление картограмм проводили вручную. В конце 70-х — начале 80-х годов лаборатории станций химизации были оснащены высокопроизводительной аппаратурой для точного агрохимического анализа почв, в том числе автоматизированными аналитическими линиями с выдачей результатов на цифropечать и микропроцессорах. Обработка результатов переведена на ЭВМ, расширен набор контролируемых агрохимических показателей, в том числе характеризующий азотный режим почв и содержание подвижных форм микроэлементов.

По результатам анализа устанавливают группу (класс) почвы и оформляют агрохимические картограммы и паспорта полей. Группировка по степени кислотности и рекомендуемый цвет для обозначения групп почв на картограммах приведены в таблице 15.

Для характеристики азотного режима почв и уровня обеспеченности культур азотом определяют стандартными методами следующие показатели.

1. Содержание гумуса по методу Тюрина. Этот показатель отражает общий уровень потенциального плодородия и обеспеченности почвы азотом.

Содержание гумуса служит основным критерием оценки не только почвенного плодородия, но и поглотительной способнос-

**15. Группировка почв по степени кислотности, определяемой в солевой вытяжке (потенциометрически)**

№ группы (класса)	Цвет на картограмме	Степень кислотности почв	pH <sub>KCl</sub>
1	Красный	Очень сильнокислые	Менее 4,0
2	Розовый	Сильнокислые	4,1—4,5
3	Оранжевый	Среднекислые	4,6—5,0
4	Желтый	Слабокислые	5,1—5,5
5	Светло-зеленый	Близкие к нейтральным	5,6—6,0
6	Зеленый	Нейтральные	6,1—7,0

ти, буферности и биологической активности почвы. Одновременно этот параметр определяет в значительной степени устойчивость агроценозов к неблагоприятным факторам внешней среды и почв к антропогенному воздействию. Особенно ярко стабилизирующая роль органического вещества почвы проявляется в экстремальных ситуациях — в условиях засухи благодаря присущей ему высокой водоудерживающей способности, а при химическом загрязнении — благодаря сильной сорбирующей способности, образованию органо-минеральных комплексных соединений с тяжелыми металлами, биологической деградации и детоксикации различных органических поллютантов (пестицидов, нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ и др.).

2. Содержание легкогидролизуемого азота по Тюрину и Кононовой после обработки почвы 0,5 н.  $H_2SO_4$  или щелочегидролизуемого азота по Корнфилду после обработки почвы 1 М NaOH. Количество азота в почве, определяемое этими методами, включает не только непосредственно доступные для растений минеральные формы, но и азот органических соединений, которые относительно легко гидролизуются и служат ближайшим резервом для усвоения растениями после минерализации. Градация почв по этим показателям приведена в таблице 16.

**16. Группировка почв по содержанию гумуса, гидролизуемого азота и нитрификационной способности**

и нитрификационной способностью				
№ группы (класса)	Гумус (по Тюрину), %	Легкогидролизуемый азот (по Тюрину и Кононовой)	Щелочегидролизую- емый азот (по Корнфилду)	Нитрификационная способность (по Кравкову), мг NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		мг/кг почвы		
1	Менее 2,0	Менее 30	Менее 100	Менее 5,0
2	2,1—4,0	31—40	101—150	5,1—8,0
3	4,1—6,0	41—50	151—200	8,1—15,0
4	6,1—8,0	51—70	Более 200	15,1—30,0
5	8,1—10,0	71—100	—	30,1—60,0
6	Более 10,0	Более 100	—	Более 60

3. Нитрификационная способность почв по Кравкову. Этим методом оценивают обеспеченность азотом по количеству нитра-

тов, образующихся за 7 сут компостирования почвы в оптимальных для нитрификации условиях температуры и увлажнения.

4. Содержание нитратного или всего минерального азота (т. е. суммы нитратного, водорастворимого и обменно-поглощенного аммонийного азота) в пахотном, верхнем 60-сантиметровом или основном корнеобитаемом слое (0—100 см) до посева. Метод позволяет оценить запасы доступного растениям азота к началу вегетации и на основе установленной в полевых опытах зависимости урожайности культур от этого запаса определить необходимую дозу азотных удобрений на планируемый урожай или откорректировать среднюю рекомендуемую дозу.

Комплексная диагностика азотного питания культур при интенсивной технологии их возделывания включает анализ не только растений, но и почвы на содержание минерального азота в течение вегетации. Так, для уточнения дозы азота при первой весенней подкормке озимых культур определяют запас минерального азота в почве весной (после схода снега и оттаивания почвы) или поздней осенью. В период проведения массовых работ по диагностике азотного питания установлен суточный срок для определения нитратов в почвенных образцах лабораториями агрохимической службы. Портативные экспресс-лаборатории позволяют устанавливать содержание нитратного и аммонийного азота в почве непосредственно в поле.

Для определения подвижного фосфора и калия в основных типах почв используют различные методы, отличающиеся в основном реактивом, который применяют для извлечения фосфора и калия, а также соотношением и временем взаимодействия его с почвой (табл. 17).

**17. Группировка почв по обеспеченности подвижными формами фосфора и калия, мг/кг почвы**

№ группы (класса)	$P_2O_5$		
	по Кирсанову	по Чирикову	по Мачигину
1	< 25	< 20	< 10
2	25—50	20—50	10—15
3	50—100	50—100	15—30
4	100—150	100—150	30—45
5	150—250	150—200	45—60
6	> 250	> 200	> 60

*Продолжение*

№ группы (класса)	$K_2O$			
	по Масловой	по Кирсанову	по Чирикову	по Мачигину
1	< 50	< 40	< 20	< 100
2	50—100	40—80	20—40	100—200
3	100—150	80—120	40—80	200—300
4	150—200	120—170	80—120	300—400
5	200—300	170—250	120—180	400—600
6	> 300	> 250	> 180	> 600

Подвижный фосфор в дерново-подзолистых почвах определяют методами Кирсанова (вытяжка 0,2 М НСl) и Чирикова (0,5 М  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), в черноземах — методом Чирикова и Труога (0,001 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), в каштановых и других карбонатных почвах — методом Мачигина (1%-ной  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ).

Подвижный калий в дерново-подзолистых почвах определяют методами Кирсанова (0,2 М НСl), Масловой (1 М  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) и Пейве (1 н. NaCl), в некарбонатных черноземах — методами Чирикова (0,5 М  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) и Бровкиной (0,2 М НСl), в карбонатных черноземах и каштановых почвах — методами Протасова [0,1 М  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ] и Мачигина в модификации ЦИНАО [1%-ный  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ].

В зависимости от биологических особенностей и потребности в элементах питания разные сельскохозяйственные культуры имеют неодинаковую среднюю обеспеченность почвы питательными элементами (табл. 18). Средний уровень обеспеченности показатели новых, зернобобовых культур и трав характеризуют показатели третьей группы, для более требовательных пропашных культур (кормовой и сахарной свеклы, картофеля, кукурузы) — четвертой группы, а для культур с еще более высоким выносом питательных элементов (овощные и некоторые технические, чай, виноград) — пятой группы.

18. Обеспеченность различных культур питательными элементами в зависимости от группы (класса) почвы

№ группы	Зерновые, зернобобовые травы	Пропашные культуры	Овощные культуры
1	Очень низкая	Очень низкая	Очень низкая
2	Низкая	Низкая	Низкая
3	Средняя	Средняя	Средняя
4	Повышенная	Повышенная	Повышенная
5	Высокая	Высокая	Высокая
6	Очень высокая	Высокая	Повышенная

Данные о содержании подвижных форм питательных элементов позволяют судить о степени обеспеченности ими почвы и потребности в удобрениях, а также корректировать рекомендуемые дозы удобрений под отдельные культуры. При корректировке доз удобрений руководствуются следующим принципом: при большей, чем средняя, обеспеченности почвы питательными элементами рекомендуемую дозу удобрений уменьшают, а при меньшей — повышают. Обычно при разнице в степени обеспеченности на один класс по сравнению со средней обеспеченностью дозы изменяют в 1,25—1,3 раза, а на два класса — в 1,5 раза.

Агрохимические картограммы представляют собой в соответствующем масштабе планы землепользования, на которых в цвете выделяют площади полей и их участков с различными группами (классами) почв по кислотности, содержанию подвижных форм

питательных элементов и другим показателям (рис. 9). Для более точной оценки степени кислотности почв, установления нужды в известковании, доз извести агрохимические центры и станции Нечерноземной зоны определяют кроме pH солевой вытяжки гидролитическую кислотность и сумму поглощенных оснований. В зонах распространения засоленных почв определяют степень и характер засоления и т. д.

Для прогнозирования потребности в микроудобрениях агрохимические лаборатории проводят анализы почв на содержание подвижных форм микроэлементов и картографирование в соответствии с градациями обеспеченности, разработанными с учетом зональных биогеохимических особенностей. Так, для Нечерноземной зоны принята группировка почв по содержанию подвижных форм микроэлементов в зависимости от требовательности к ним возделываемых сельскохозяйственных культур (табл. 19).

В группу культур невысокого выноса микроэлементов с относительно лучшей способностью их усвоения выделены зерновые хлеба, кукуруза, зернобобовые и картофель. К группе культур по-

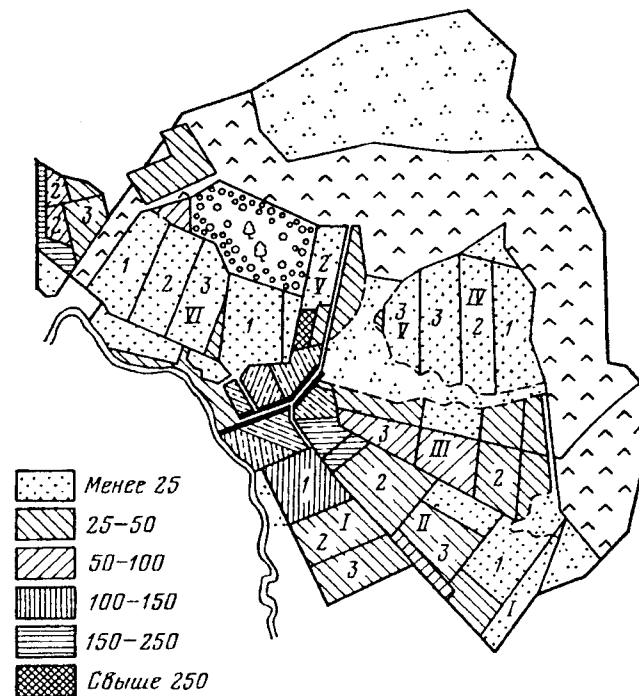


Рис. 9. Картограмма содержания подвижного фосфора (мг  $\text{P}_2\text{O}_5$  на 1 кг почвы) в почвах хозяйства:

I—VI — севообороты; 1—3 — поля севооборота



# 19. Группировка почв по обеспеченности микроэлементами с учетом потребности растений

Обеспеченность микроэлементами	Содержание микроэлементов, мг/кг почвы			
	в водной вытяжке	Мо в оксидатной вытяжке	Си в вытяжке 1н. HCl	Zn в вытяжке 1н. KCl
<i>Первая группа растений (невысокий вынос микроэлементов)</i>				
Низкая	0,1	0,05	0,5	0,3
Средняя	0,1—0,3	0,05—0,15	0,5—1,5	0,3—1,5
Высокая	0,3	0,15	1,5	1,5
<i>Вторая группа растений (повышенный вынос микроэлементов)</i>				
Низкая	0,3	0,2	0,2	1,5
Средняя	0,3—1	0,2—0,3	2—4	1,5—3
Высокая	0,5	0,3	4	3
<i>Третья группа растений (высокий вынос микроэлементов)</i>				
Низкая	0,5	0,3	5	3
Средняя	0,5—1	0,3—0,5	5—7	3—5
Высокая	1	0,5	7	5

вышенного выноса микроэлементов относятся корнеплоды, травы (бобовые, злаковые и травосмеси), овощные и плодовые культуры с высокой и средней усвояющей способностью. Группа высокого выноса микроэлементов включает все перечисленные выше культуры при выращивании на высоком агротехническом фоне (лучшие сорта, обработка почвы и уход за посевами, применение повышенных доз органических и минеральных удобрений, орошение и др.).

При агрохимическом обследовании в почве определяют также содержание подвижных форм тяжелых металлов — ТМ (для экстракции используют ацетатный буфер с pH 4,5—4,8) и валовое их количество (извлекаемое 1 н. HNO<sub>3</sub>). Оценку загрязнения проводят путем сопоставления полученных данных с санитарно-гигиеническими нормативами по кратности превышения ПДК (табл. 20) или установленных с учетом свойств почв ОДК (приложение).

## 20. Группировка почв для эколого-токсикологической оценки территорий по содержанию ТМ, мг/кг

Тяжелые металлы	Класс опасности	Группа почв				
		1	2	3	4	5
		0,5 ПДК	0,5—1,0 ПДК	1,0—2,0 ПДК	2,0—3,0 ПДК	> 3,0 ПДК
Ртуть	I	1,0	1,0—2,1	2,2—4,2	4,3—6,2	6,2
Свинец	I	16	16—32	32,1—64,0	64,1—96	96
Цинк	I	50	50—100	101—200	201—300	300
Кадмий	I	1,5	1,5—3	3,1—6,0	6,1—9,0	9,0
Медь	II	20	20—55	56—275	276—550	550
Никель	II	42	42—85	86—425	0—850	850
Хром	II	50	50—100	101—500	501—1000	1000

Численные значения верхней границы второй группы соответствуют ПДК (ОДК) данного элемента в почве, т. е. ртути, свинца, цинка, кадмия, меди, никеля и хрома; эти показатели соответственно имеют следующие значения — 2,1; 32; 100; 3; 55; 85; 100 мг/кг. Группировка почв для эколого-токсикологической оценки по содержанию ТМ проведена с выделением территорий экологического бедствия (5-я группа) и чрезвычайной экологической ситуации (4-я группа). Территории, отнесенные к третьей группе, пригодны для возделывания всех сельскохозяйственных культур, но вся продукция подлежит контролю на содержание ТМ. На территории первой и второй групп можно возделывать любую культуру, но с выборочным контролем качества и показателей безопасности.

Набор контролируемых тяжелых металлов для разных территорий зависит от геохимических особенностей почв, наличия, характера и степени загрязнения. Поэтому сначала выявляют основные загрязнители, наличие точечных источников загрязнения.

В основу методики оценки точечного загрязнения почв тяжелыми металлами положен азимутальный принцип отбора проб. Пробы отбирают по 4—7 румбам на определенном расстоянии от источника загрязнения (от нескольких сотен метров до 5 км) методом конверта с площадок размером 2 га. Ориентацию румбов проводят так, чтобы в случае некруговой розы ветров одно из направлений отбора почвенных проб соответствовало преимущественному направлению ветра.

Агроэкологическое обследование почв на содержание семи тяжелых металлов и фтора проводят ежегодно государственные центры и станции агрохимической службы России на площади 10—12 млн га. Практически все указанные элементы в концентрациях, превышающих ПДК, обнаружены в почвах на площади около 1 млн га.

По результатам агрохимического обследования почв вместо составления отдельных картограмм по каждому показателю в последнее время стали оформлять совмещенные картограммы, на которых один наиболее важный показатель (например, кислотность), изображают сплошным закрашиванием, а другие — соответственно кружочком или ромбиком. При этом цвет в принятой фигуре должен отражать класс почвы по определенному показателю. На картограммах кислотности штриховкой указывают площади песчаных и супесчаных почв.

Наряду с картограммами для регистрации результатов агрохимического обследования почв и контроля за изменением плодородия полей и урожайности под влиянием средств химизации оформляют паспорта полей.

*Паспорт полей* — это специальный бланк (приспособленный к считыванию ЭВМ), в который с использованием единого классификатора агрохимической службы записывают всю совокупность данных о природно-хозяйственном и почвенно-агрохимическом состоянии поля или отдельно обрабатываемого участка. Паспорта

полей (участков) в разных почвенно-климатических зонах, естественно, не могут содержать абсолютно одинаковые показатели, однако они имеют общие части — адресную, почвенно-агрохимическую и оперативную.

В *адресной части* паспорта указывают область, район, хозяйство, отделение (бригаду), тип угодий, тип и номер севооборота, номер поля или отдельного участка, его площадь.

В *почвенно-агрохимическую часть* вписывают сведения о типе, подтипе почвы, ее гранулометрическом составе, степени эродированности, средневзвешенные данные о содержании гумуса и подвижных питательных элементов, кислотности (или щелочности) и другие показатели, характеризующие почвенно-агрохимические особенности конкретного поля (участка).

В *оперативную часть* паспорта заносят сведения о применении удобрений, химических мелиорантов, о возделываемых культурах и их урожайности.

Результаты агрохимического обследования почв закладывают в информационный банк данных ЭВМ, обобщают и используют при подготовке рекомендаций и проектно-сметной документации на работы по применению удобрений и химических мелиорантов. Обобщение результатов обследования ведут на уровне каждого севооборота, отделения (бригады) и хозяйства с выделением орошаемой и осушенной пашни, сенокосов и пастбищ, многолетних насаждений. При использовании ЭВМ делают дополнительное обобщение по типам и подтипам почв с учетом их гранулометрического состава, степени эродированности и типа засоления. Определяют соотношение площадей с различными реакцией почв и группами обеспеченности питательными элементами по отделениям и хозяйству в целом.

Хозяйствам передают паспорта полей, паспортную ведомость и схему паспортизированных участков и (или) агрохимические картограммы с пояснительной запиской.

В результате перевода камеральных работ на ЭВМ с множительной техникой появилась возможность готовить материалы агрохимического обследования в виде не только традиционных картограмм и паспортов полей, но и электронных версий по любому показателю плодородия или загрязнения почв, либо в интегрированной форме. Материалы агрохимического обследования анализируют и обобщают с учетом природно-ландшафтной структуры обследованных территорий с выделением каскадно-водосборных систем, физико-географических ландшафтных провинций и типов использования земель.

Созданы компьютерные программы для оценки и прогноза загрязненности почв (и растений) тяжелыми металлами и другими токсикантами, разработки рекомендаций по снижению их негативного действия и экологически безопасному производству сельскохозяйственной продукции.

С начала 90-х годов агрохимическая служба помимо сплошного агрохимического обследования осуществляет исследования по локальному агроэкологическому мониторингу окружающей среды в различных почвенно-климатических зонах страны. *Агроэкологический мониторинг* — это система наблюдений и контроля за состоянием и уровнем загрязнения агросистем в процессе сельскохозяйственной деятельности, слежение за комплексом почвенных свойств и режимов, продуктивностью растений в связи с применением средств химизации, севооборотами, агротехникой и воздействием других факторов. Целью агроэкологического мониторинга является создание эффективных, устойчивых и экологически сбалансированных агроценозов на основе рационального использования и расширенного воспроизводства почвенного плодородия, максимального использования природно-климатических ресурсов и экологически безопасного применения средств химизации.

Локальный агроэкологический мониторинг земель сельскохозяйственного использования проводят на постоянных реперных участках площадью 30—60 га с типичными для регионов почвенным покровом, системой землепользования и различными уровнями антропогенной нагрузки. В систему контролируемых показателей (на которые анализируют почвенные образцы не только пахотного слоя, но и профиля почвенных разрезов) входят не только основные агрохимические параметры, но и содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов, радиологические показатели (гамма-излучение, наиболее опасные радионуклиды — стронций-90 и цезий-137), остаточные количества пестицидов. Подобным образом характеризуют растительные образцы, отбираемые при уборке урожая. Проводят сбор дождевых вод в зоне реперных участков, отбор снега в период снеготаяния.

**Сертификация почв земельных участков.** Государственные центры и станции агрохимической службы уже более 35 лет проводят обследование почв сельскохозяйственных угодий для оценки состояния плодородия почв и контроля за использованием средств химизации. С конца 80-х годов осуществляют обследование почв и картографирование по таким показателям безопасности почв, как содержание тяжелых металлов, мышьяка и фтора, радионуклидов, остаточных количеств пестицидов. В последнее десятилетие была создана законодательная база для сертификации почвы земельных участков. Конкретные правовые основы государственного регулирования плодородия земель сельскохозяйственного назначения предусматривают сертификацию почв, лицензирование деятельности по агрохимическому обслуживанию, контроль за воспроизводством плодородия земель сельскохозяйственного использования, создание банков данных в сфере обеспечения их плодородия, выделение и учет эталонных участков сельскохозяйственных земель.

В настоящее время сертификацию почв земельных участков проводят на добровольной основе по заявкам заказчика. Решени-

ем Министерства сельского хозяйства РФ и Госстандарта России на базе ЦИНАО создан Центральный орган по сертификации почв земельных участков и грунтов, который также является научно-методическим центром страны в этой сфере.

Сертификацию почв земельных участков проводят в целях обеспечения производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции, улучшения ее качества и повышения конкурентоспособности. Когда при сертификации почв сельскохозяйственных угодий подтверждается соответствие земельного участка установленным требованиям экологической безопасности, для производителей предусматривается сокращенная схема сертификации получаемой на этих угодьях растениеводческой (и животноводческой) продукции. Это позволяет в 2—3 раза уменьшить затраты товаропроизводителя на сертификацию продукции.

Обязательными приложениями Сертификации соответствия для земельного участка являются объединенный протокол испытаний и картографические материалы, которые не только позволяют оценить почвы по параметрам качества и безопасности, но и обосновать конкретные мероприятия по сохранению и повышению почвенного плодородия, охране окружающей среды.

### 3.5. АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ И ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

#### 3.5.1. АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ

**Дерново-подзолистые почвы.** Имеют кислую реакцию (pH 4—5,5), значительную обменную кислотность (1—2 мг · экв/100 г почвы), большая часть которой в тяжелых почвах обусловлена обменным алюминием, а также гидролитическую кислотность (3—6 мг · экв), низкую емкость поглощения (5—15 мг · экв) и степень насыщенности основаниями 30—70 %. Большая часть этих почв нуждается в известковании.

Для дерново-подзолистых почв характерны низкое содержание гумуса, общего азота, подвижного фосфора и резкое снижение их количества с глубиной профиля. Агрохимические свойства этих почв сильно варьируют в зависимости от гранулометрического состава и степени их окультуренности (табл. 21).

Содержание микроэлементов в дерново-подзолистых почвах колеблется в широких пределах: возможен как недостаток некоторых из них (В, Мо и др.), так и избыток (например, Mn).

Большинство дерново-подзолистых почв имеет сравнительно низкое содержание усвояемых (минеральных) форм азота, подвижного фосфора, а песчаные и супесчаные почвы — и калия. Величина

#### 21. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистых почв

Степень окультуренности	Мощность пахотного горизонта, см	Содержание гумуса, %	pH солевой вытяжки	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
				(по Кирсанову), мг/кг почвы	
Слабая	До 20	1,5—2	4—4,5	До 50	До 100
Средняя	20—22	2—2,5	4,6—5,0	50—100	100—150
Сильная	22—25	2,5—3,5	5,1—6,0	150—250	200—300

кислотности и содержание подвижных форм питательных элементов в почвах в сильной степени зависят от их окультуренности.

С повышением степени окультуренности этих почв (при систематическом применении органических и минеральных удобрений, известковании и т. д.) снижается кислотность, увеличивается содержание гумуса и общего азота, подвижного фосфора и калия, растет плодородие почвы.

Вследствие того что дерново-подзолистые почвы обычно бедны элементами питания, но достаточно увлажнены, применение органических и минеральных удобрений на них высокоэффективно. Из минеральных удобрений лучший результат дают азотные, а на слабоокультуренных почвах и фосфорные. На песчаных и супесчаных почвах эффективно применение калийных, особенно магнийсодержащих удобрений.

**Серые лесные почвы.** В зависимости от мощности гумусового горизонта, содержания гумуса и развития признаков оподзоливания их подразделяют на светло-серые, серые и темно-серые, отличающиеся по агрохимическим свойствам (табл. 22).

От светло-серых к темно-серым почвам увеличиваются мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, сумма обменных оснований и степень насыщенности основаниями, уменьшается кислотность. Серые лесные почвы обычно имеют невысокое содержание усвояемых соединений азота, подвижного фосфора и калия, но оно может сильно колебаться в зависимости от степени окультуренности и предшествующей удобренности почвы.

На этих почвах необходимо систематическое применение органических и минеральных удобрений, а на светло-серых почвах с кислой реакцией — также известкование. Эффективность минеральных удобрений наиболее высока в западных провинциях зоны серых лесных почв и несколько ниже в центральном и особенно восточном районах.

В повышении урожаев сельскохозяйственных культур ведущая роль на этих почвах принадлежит азотным удобрениям, на втором месте по эффективности стоят фосфорные удобрения и слабее действуют калийные, применение которых, однако, необходимо под картофель, сахарную свеклу и овощные культуры.

**Черноземы.** Агрохимические свойства основных подтипов черноземов характеризуются показателями, приведенными в таблице 23.

Черноземы от других почв отличаются более высоким естественным плодородием, имеют мощный гумусовый горизонт, зна-

## 22. Агрохимические свойства серых лесных почв

Подтип	Мощность гумусового горизонта, см	Содержание гумуса, %	pH солевой вытяжки	Гидролитическая кислотность		Сумма обменных оснований	Степень насыщенности основаниями, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O
				мг-экв/100 г почвы				(по Кирсанову), мг/кг почвы		
Светло-серая Серая Темно-серая	15—25	1,6—3,4	4,8—5,4	2,3—3,8		10—18	72—82	60	100	
	25—30	2,2—4,7	5,2—5,7	2,9—3,5		14—25	76—87	80	130	
	40—60	3,5—7,0	5,5—6,0	2,3—5,4		20—36	80—86	120	150	

## 23. Агрохимические свойства черноземов

Подтип	Мощность гумусового горизонта, см	Содержание гумуса, %	pH водной вытяжки	Гидролитическая кислотность, мг · экв./100 г почвы	Емкость поглощения	Степень насыщенности основаниями, %	Запас в слое 0—20 см, т/га			
							гумуса	азота	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Выщелоченный	80—150	6—9	5,5—6,5	2—4	45—55	85—95	100—160	5—9	3—4	45—55
Типичный	100—180	8—12	6,5—7	0,5—3	50—60	90—98	120—220	7—15	3,5—4,5	50—60
Обыкновенный	60—140	5—8	7—8	0—1	40—50	95—100	80—140	5—7	3—4	50—55
Южный	40—80	3—6	7—8	0—0,5	25—35	98—100	60—110	3—6	2—3,5	50—60

чительно больше содержат гумуса и общего азота (0,2—0,5 %) в пахотном горизонте с постепенным снижением их по профилю. Валовой запас гумуса и азота в слое 0—20 см составляет соответственно 60—220 и 3—15 т/га, а в метровом слое — в 3—4 раза больше. Общее содержание фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) колеблется от 0,1 до 0,3 %, а валовой запас его составляет 2—4,5 т/га. Все подтипы черноземов богаты калием, общее содержание его составляет 2,5—3 %, а валовой запас — 75—90 т/га. Черноземы имеют высокие емкость поглощения и степень насыщенности основаниями.

У типичного чернозема наибольшая мощность гумусового горизонта, более высокое относительное содержание гумуса и общего азота, а также фосфора и валовые их запасы (соответственно 120—220; 7—15 и 3,5—4,5 т/га) и емкость поглощения. К северу у выщелоченного чернозема и к югу у обыкновенного и особенно у южного черноземов значения этих показателей снижаются. У выщелоченного чернозема реакция почвы слабокислая, обменная кислотность, как правило, отсутствует, но гидролитическая кислотность может достигать значительных величин. У обыкновенного и южного черноземов реакция нейтральная или слабощелочная.

Несмотря на высокое потенциальное плодородие черноземов, обеспеченность их усвояемыми формами азота и подвижным фосфором (особенно старопахотных и слабо удобрявшихся черноземов) очень часто невысокая. Поэтому здесь эффективны фосфорные удобрения, а при более благоприятных условиях увлажнения и азотные. На старопахотных и слабо удобрявшихся черноземах по сравнению с целинными уменьшаются запасы общего и обменного калия. На таких почвах, особенно под калиелюбивые культуры (сахарная свекла, картофель, подсолнечник и др.), целесообразно вносить калийные удобрения (вместе с азотными и фосфорными). Применение минеральных удобрений дает наилучшие результаты в более увлажненных западных районах Черноземной зоны, в восточных районах (параллельно с ухудшением условий увлажнения) эффективность удобрений снижается.

**Каштановые почвы.** Их разделяют на темно-каштановые, каштановые и светло-каштановые. Агрохимические свойства этих почв показаны в таблице 24.

## 24. Агрохимические свойства каштановых почв

Подтип	Мощность гумусового горизонта, см	Содержание гумуса, %	pH солевой вытяжки	Сумма обменных оснований, мг·экв/100 г почвы	Общий азот	
					%	
Темно-каштановая	35—45	4—5	7—7,2	30—35	0,2—0,3	0,1—0,2
Каштановая	30—40	3—4	7,2—7,5	20—35	0,15—0,20	0,1—0,2
Светло-каштановая	25—30	2—3	7,4—8	12—15	0,10—0,15	0,08—0,15

Темно-каштановые почвы — переходные от черноземных к каштановым. На глубине 45–50 см расположен карбонатный горизонт. Реакция почвы слабощелочная, легкорастворимых солей мало, и залегают они глубже 2–2,5 м.

У каштановых и светло-каштановых почв, которые распространены в более засушливых районах сухих степей, меньше мощность гумусового горизонта, ниже содержание гумуса и общего азота, более резко снижаются запасы гумуса и азота с глубиной профиля, карбонатный горизонт залегает выше (вскипание от НСІ на глубине 30–40 см и 25–30 см), реакция слабощелочная и щелочная. Среди обменных катионов преобладает  $\text{Ca}^{2+}$ , имеется также  $\text{Mg}^{2+}$ , а у светло-каштановых почв и  $\text{Na}^+$ . Среди светло-каштановых почв много солонцеватых и сильно солонцеватых разновидностей.

Для каштановых почв характерна различная степень засоления, но солевой горизонт расположен обычно на глубине 1 м и ниже. Из верхнего горизонта водорастворимые соли вымыты, содержание их (главным образом бикарбонатов кальция и магния) небольшое (сотые доли процента). В солевом горизонте из водорастворимых солей преобладают сульфаты и хлориды.

Каштановые почвы богаты калием (его валовое содержание около 3 %), но имеют низкую обеспеченность подвижными формами азота и фосфора. Однако эффективность минеральных удобрений на этих почвах из-за недостатка влаги обычно низкая. В условиях богарного земледелия рекомендуется внесение небольших доз фосфорных удобрений в рядки при посеве зерновых культур. При орошении действие азотных и фосфорных удобрений резко усиливается, а калийные удобрения малоэффективны. Для повышения плодородия солонцовых почв и солонцов рекомендуют применять гипс.

### 3.5.2. ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ РОССИИ

Земельный фонд России составляет 1710 млн га, но более 60 % из них непригодны для использования в сельскохозяйственных целях (пригодных земель всего около 670 млн га). Площадь сельскохозяйственных угодий, по последним оценкам, равна 187 млн га (28 % пригодных земель), в том числе 123 млн га пашни (18 % пригодных земель). Доля пашни в земельном фонде, следовательно, составляет всего 7,2 %.

Наблюдается систематическое сокращение площади сельскохозяйственных угодий. За 50 лет (с 1941 по 1990 г.) она сократилась на 26 млн га, но площадь пашни за этот период возросла на 12 млн га за счет распашки малоплодородных земель. На одного человека в 1990 г. приходилось около 0,8 га пашни. Распределение земельного фонда по регионам крайне неравномерно, и доля пашни варьирует от 5 до

80 % общей площади. Распашка огромных территорий в Центрально-Черноземной зоне, на Северном Кавказе и в Поволжье превышает оптимальные размеры (50 %). Так, распаханность территории Центрально-Черноземной зоны составляет 82 % площади сельскохозяйственных угодий. В 1996–2000 гг. средняя годовая посевная площадь в России составляла около 85 млн га.

Важнейшим лимитирующим фактором продуктивности агроценозов являются погоднo-климатические условия. Высокоурожайным в России из 10 лет является один год, а среднеурожайных три. В неблагоприятные годы отклонения урожайности от средней многолетней достигают 60–80 %. В условиях достаточного увлажнения Нечерноземной зоны земледелие ведется на низкоплодородных малогумусированных кислых почвах. Свыше половины (в отдельные годы до 75 %) территории страны с более плодородными почвами страдает от засухи, а в северных районах и Сибири созревание культур лимитируется коротким периодом вегетации.

В России 45 млн га переувлажненных, заболоченных, засоренных (камнями) и закустаренных сельскохозяйственных угодий, еще 40 млн га засолены. Более 50 млн га, в том числе свыше 35 млн га пашни, подвержены водной и ветровой эрозии, площадь оврагов составляет 2,4 млн га и ежегодно возрастает на 0,1–0,2 млн га. Общая площадь подверженных опустыниванию и потенциально опасных в этом отношении земель достигает 50 млн га. В то же время подтопляются 1,6 млн га, или более 25 % орошаемых земель. Площадь подверженных водной эрозии сельскохозяйственных угодий только в Центрально-Черноземной зоне достигла 3,3 млн га (в Белгородской, Воронежской и Курской областях эродированные почвы составляют соответственно 43; 29 и 25 % общей площади сельскохозяйственных угодий). За последние 20 лет проявление эрозионных процессов здесь возросло на 15–20 %. На угодьях, подверженных эрозии, теряется большое количество питательных веществ. В среднем с 1 га эродированных почв ежегодно теряется азота 18–20 кг, фосфора — 5–10 и калия — 12–24 кг (Сычев, 2000).

Около трети пашни России составляют кислые почвы, при этом они распространены не только в Нечерноземье. Граница кислых почв постепенно смещается к югу. Значительно возросли площади пашни с высокой кислотностью уже в черноземных областях (Липецкой, Ульяновской, Пензенской, даже в Краснодарском и Ставропольском краях). В Центрально-Черноземной зоне (ПЧЗ) площади кислых почв составляют уже около 5 млн га (почти 50 % всей площади пашни). За десятилетие площадь кислых черноземов увеличилась на 1,5–2,0 млн га.

Первоочередным и наиболее радикальным приемом повышения плодородия кислых почв является известкование.

В недавнем прошлом известкование кислых почв осуществлялось за счет централизованного финансирования из федерального бюджета. В 1981–1985 гг. известкование проводилось на площади 4,5 млн га ежегодно (поставка известковых

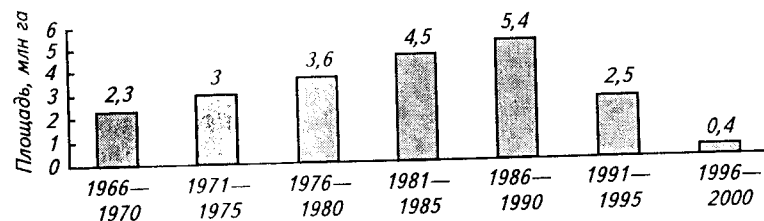


Рис. 10. Среднегодовые масштабы известкования кислых почв в Российской Федерации, млн га

удобрений составляла около 29 млн т), а в 1986–1990 гг. оно достигло 5,4 млн га (ежегодные поставки 39 млн га). Даже при таких огромных масштабах известкования за двадцать лет (с 1971 по 1990 г.) площадь кислых почв уменьшилась всего на 6 млн га. Однако в последние годы масштабы известкования кислых почв резко снизились (рис. 10).

Из-за сокращения применения подкисляющих почву минеральных удобрений общие темпы подкисления земель России могут замедлиться. Однако даже при умеренных дозах их внесения потребность в повторном известковании кислых дерново-подзолистых почв Нечерноземья полной дозой по гидролитической кислотности ( $4\text{--}6\text{ т/га CaCO}_3$ ) возникает через 5–7 лет.

На кислых почвах резко снижается отдача от всех агротехнических мероприятий и прочих затрат на повышение урожая, малоэффективно применение удобрений. В то же время и известкование без внесения удобрений может иметь более низкий и менее продолжительный эффект. При этом усугубляется и проблема дегумификации почв вследствие усиления процессов минерализации органического вещества.

Важнейшими показателями почвенного плодородия являются содержание и запас гумуса. Длительное экстенсивное сельскохозяйственное использование земель России привело к резкому ухудшению гумусового состояния почв. В России около 50 млн га почв с низким содержанием гумуса и происходит дальнейшее их истощение.

По данным академика В.Д. Панникова, за 70 лет со времени экспедиций В.В. Докучаева, т. е. еще до начала химизации, количество гумуса в почвах многих районов страны снизилось на 15–20, а местами — на 30–35 %. По более поздним данным, за 100 лет потери гумуса в почвах ЦЧЗ составили в среднем 25–30 %, на старопашотных землях содержание органического вещества сократилось вдвое. Истощение пахотных земель России по содержанию гумуса приблизилось к предельно минимальному уровню, определяемому для конкретного типа почв количеством трудногидролизуемой части органического вещества, не минерализуемой даже при соответствующих благоприятных условиях.

Средние темпы ежегодной минерализации органического вещества составляют 1 % в почвах Нечерноземья и 0,5 % в черноземах. В севооборотах с пропашными культурами интенсивность минерализации гумуса возрастает до 1,7–1,8 % в год от его валового содержания в пахотном слое почвы, а в парующих почвах превышает 2 %. Абсолютные размеры ежегодной минерализации гумуса в ЦЧЗ составляют под зерновыми культурами 0,6–0,8 т/га, пропашными — 1,7–1,9, под черным паром — 2–4 т/га. Ежегодные потери гумуса в среднем по стране равны 400–600 кг/га, а на подверженных эрозии почвах они возрастают в 1,5–2 раза. В целом по стране потери гумуса за год составляют около 70–80 млн т (1/20 часть этого количества приходится на потери азота почвы).

Интенсивность процессов дегумификации почв сильно зависит от системы земледелия и использования удобрений, особенно органических. При недостаточном внесении удобрений урожай сельскохозяйственных культур формируется в основном за счет почвенных запасов питательных веществ, прежде всего азота, освобождаемых при минерализации гумуса. При выносе азота в размере 30–35 кг на 1 т зерна и 50–60 кг на 10 т корне-, клубнеплодов должно минерализоваться (без учета потерь азота вследствие денитрификации и вымывания нитратов, эрозионных процессов) 20-кратное количество гумуса.

Для поддержания бездефицитного баланса гумуса применение навоза (или других органических удобрений в эквивалентных количествах в зависимости от степени гумификации) должно составлять 7–15 т/га в год. Величина компенсирующих доз органических удобрений зависит от почвенно-климатических условий, характера севооборотов. Так, в зернопропашных севооборотах ЦЧЗ она должна составлять около 8 т/га в год, а зернопаропропашных — не менее 12 т/га. Уровень применения органических удобрений в среднем по России за 1986–1990 гг. составил 3,7 т/га пашни в год, а за 1996–2000 гг. упал до 0,8 т/га (табл. 25).

## 25. Применение органических удобрений (в среднем за год)

Показатель	1966–1970 гг.	1986–1990 гг.	1995 г.	1996–2000 гг.
Внесено, всего:				
млн т	210	482	127	84
т/га пашни	1,6	3,7	1,0	0,8
Удобренная площадь, %	4	7	3	2

На 2005 г. планируется увеличение объемов применения органических удобрений до 205 млн т, при этом в ряде регионов страны в структуре органических удобрений значительное место вновь займут торф в виде компостов и сапропель (до 15 млн т).

В ближайшей перспективе одним из реальных и экономически выгодных путей, обеспечивающих приостановление падения плодородия почв и увеличение производства сельскохозяйственной

продукции, наряду с применением средств химизации станет интенсификация биологизации земледелия. Она предполагает помимо наиболее полного использования всех ресурсов традиционных органических удобрений и биологического азота внедрение почвозащитных севооборотов, сидератов, запашку излишков солом.

Систематическое внесение минеральных удобрений даже в высоких дозах без применения органических удобрений, как правило, не способно поддерживать на исходном уровне содержание гумуса не только на бедных почвах Нечерноземья, но и на черноземах. В то же время применение органических удобрений позволяет существенно повысить эффективность используемых минеральных удобрений. Так, в исследованиях академика РАСХН А. М. Лыкова использование растениями азота минеральных удобрений при выщипывании на удобренной почве многолетнего (с 1912 г.) опыта Д. Н. Прянишникова на полевой станции МСХА составляло всего 30—32 %, при длительном применении только минеральных удобрений — 40, а на унавоженной почве — 52—58 %.

Сокращение объемов применения органических удобрений и масштабное известкования кислых почв неизбежно приводит также к снижению доступности фосфора для растений из-за усиления его химического связывания.

Почвы России бедны фосфором. За счет систематического применения фосфорных удобрений, в том числе фосфоритной муки при окультуривании кислых почв, площади пахотных земель с низким содержанием подвижного фосфора уменьшились с 1970 по 1990 г. с 66 до 33 млн га (табл. 26). Недостаток калия установлен в 1970 г. на трети обследованных почв сельскохозяйственного использования и на 12 % площади пашни. Особенно сильный дефицит калия (а также магния) испытывают посевы на легких почвах, а также торфяниках. За 21 год (1970—1990) доля площади пахотных почв с низким содержанием калия уменьшилась до 9 %. Снижение уровня применения удобрений после 1990 г. отодвинуло эти показатели плодородия почвы на 20—30 лет назад.

26. Динамика почвенного плодородия на пахотных землях

Почвы	1970 г.		1980 г.		1990 г.		2000 г.	
	млн га	%	млн га	%	млн га	%	млн га	%
Кислые:								
всего	46	35	41	32	40	31	45	35
из них сильно- и среднекислые	26	20	22	17	17	13	25	20
С низким содержанием:								
фосфора	66	51	52	40	33	26	50	40
калия	16	12	14	11	11	9	15	12
гумуса	—	—	—	—	51	40	65	50

Сельское хозяйство России, лишенное государственной поддержки для реализации мероприятий по сохранению плодородия почв, резко сократило, а с 1993 г. практически свернуло работы по применению органических удобрений, известкованию кислых и гипсованию солонцовых почв, фосфоритованию (табл. 27) и комплексному окультуриванию почв, внесение минеральных удобрений упало до 10 кг д. в. на 1 га пашни. Вновь, как и на протяжении многих десятилетий до начала интенсивной химизации, складывается остродефицитный баланс питательных веществ в земледелии (табл. 28).

27. Площадь химической мелиорации и фосфоритования земель (в среднем за год), млн га

Показатель	1966—1970 гг.	1986—1990 гг.	1991—1995 гг.	1996—2000 гг.	2005 г. (прогноз)
Известкование	2,3	5,4	2,5	0,4	3,5
Гипсование	0,06	0,2	0,003	—	0,06
Фосфоритование	—	1,9	0,2	0,1	0,5

28. Баланс питательных веществ на пахотных землях России, кг д. в. на 1 га пашни

Показатель	1966—1970 гг.	1971—1975 гг.	1976—1980 гг.	1981—1985 гг.	1986—1990 гг.	1991—1995 гг.	1998 г.
Внесено с удобрениями	49	76	100	130	147	57	13
Из них:							
с минеральными	28	48	65	83	99	35	8
с органическими	21	28	35	47	48	22	5
Вынос, всего	109	110	116	110	128	115	73
В том числе:							
урожаем	83	84	90	85	103	94	45
сорняками	26	26	26	25	25	21	28
Баланс, ±	—60	—34	—16	+20	+19	—58	—60
Коэффициент возврата, %	45	69	86	118	115	50	18

При сохранении существующего положения созданный в почвах запас фосфора и калия будет истощаться. Убыль содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах Нечерноземья при отрицательном балансе может достигать соответственно 10—15 и 15—30 мг/кг на каждые 100 кг превышения выноса этих элементов с урожаем над внесением с удобрениями. Формирование урожая в последние годы обеспечивается в основном за счет плодородия почв. В 1995—2000 гг. с органическими и минеральными удобрениями компенсировалось лишь 15—20 % общего выноса питательных веществ из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур и сорняками.

Достигнутый за предшествующий спаду экономики страны период существенный положительный сдвиг в основных агрохими-



ческих свойствах почв (реакции, обеспеченности подвижными формами фосфора и калия) наряду с общим повышением культуры земледелия (см. табл. 26) создал определенный «запас прочности» в отношении актуального плодородия почв. Однако снижение масштабов известкования кислых почв и применения органических удобрений, объемов производства, особенно минеральных удобрений, ухудшение социально-экономической ситуации в стране неизбежно ведет к дальнейшему снижению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур.

Возврат на экстенсивный путь ведения сельского хозяйства уже вызывает снижение его продуктивности, в том числе урожайности зерновых культур и валовых сборов зерна. Приведенные в таблице 29 данные о динамике изменения урожайности в России свидетельствуют об уменьшении среднего урожая и валового сбора зерна в стране.

29. Применение минеральных удобрений и производство зерна

Показатель	1966—1970 гг.	1986—1990 гг.	Программа «Плодородие» на 1995 г.	1996—2000 гг.
Поставлено минеральных удобрений:				
млн т д. в.	3,5	12,8	16,5	1,4
кг/га пашни	28	99	127	17
Валовой сбор зерна, млн т	199	104	125	66
Урожайность зерновых, ц/га	12,8	15,9	18—20	12,8

Примечание. 1 кг д. в. минеральных удобрений позволяет получить дополнительно при внесении под основную обработку почвы 3,5—4 кг зерна, при подкормке озимых — до 7 кг и рядковым внесении под яровые зерновые — до 10 кг зерна.

Явный регресс в актуальном плодородии почвы и состоянии зернового хозяйства в значительной мере обусловлен лишением производителей сельскохозяйственной продукции государственной поддержки и невыполнением ранее принятых государственных программ повышения плодородия почв на 1990—1995 гг. и 1996—2000 гг.

Для получения реальной отдачи от возможных мер государства по химизации сельского хозяйства необходимо сохранение и совершенствование существующей системы агрохимического обслуживания и ее научного обеспечения.

В области производства и применения минеральных удобрений ведущая роль сохраняется за азотными, дающими 40—50 % общей прибавки урожая (зерновых и других культур) от полного минерального удобрения. В то же время затраты азота удобрений на формирование единицы урожая при недостаточной обеспеченности почв фосфором и калием возрастают в 1,5—2 раза, а известкование кислых почв должно во всех случаях опережать применение удобрений.

Проведение разнообразных агротехнических мероприятий, направленных на максимальное использование естественного плодородия почв, может обеспечить лишь временный положительный эффект, так как не способно решать задачу сохранения плодородия почв и повышения урожая без применения минеральных удобрений, даже при наиболее полном использовании местных удобрений и биологического азота. Тем более рациональное использование почвенного плодородия невозможно без научного обоснования.

Очевидно, что состояние земельного фонда России с качественной точки зрения неудовлетворительное и в случае сохранения существующего положения в системе землепользования можно ожидать прогрессирующей деградации плодородия почв страны.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Каково значение минерального состава почвы — источника питательных веществ для растений?
2. Расскажите о роли органического вещества почвы в ее плодородии и питании растений.
3. В чем заключается значение отдельных видов поглотительной способности почвы в превращении удобрений в почве?
4. Как емкость поглощения почв связана с содержанием органического вещества и гранулометрическим и минералогическим составом почв?
5. Каковы емкость поглощения и состав поглощенных катионов у различных типов почв? Как эти показатели связаны с реакцией почв и их буферной способностью?
6. Каково общее содержание азота в почвах и как оно связано с содержанием органического вещества? Что такое аммонификация, нитрификация и денитрификация и от каких факторов зависит интенсивность этих процессов?
7. Расскажите о роли симбиотической и несимбиотической азотфиксации в пополнении запасов азота в почве.
8. Каковы общее содержание и формы фосфора в почвах? Какой вид поглотительной способности почвы определяет подвижность фосфора и его доступность растениям?
9. Каковы общее содержание и формы калия в почвах? Как связано содержание калия с гранулометрическим составом почвы? Какие формы калия доступны растениям?
10. На каких почвах проявляется недостаток прежде всего кальция, магния, серы, железа, микроэлементов: бора, молибдена, меди, марганца, цинка?
11. С какой целью проводят агрохимическое обследование почв? Как оформляют агрохимические картограммы и паспорта полей?
12. Какие методы анализа используют для оценки кислотности и обеспеченности почв основными элементами питания?
13. На сколько групп (классов) подразделяют почвы по кислотности и обеспеченности основными элементами питания? Какая группа почв характеризует средний уровень обеспеченности питательными элементами зерновых, пропашных, овощных культур?
14. Как группируют почвы по содержанию подвижных форм микроэлементов? Учитывают ли при этом видовые особенности культур и условия их возделывания?
15. Как характеризуется уровень загрязнения почв тяжелыми металлами при агроэкологической оценке земель?
16. Каковы цели сертификации земель сельскохозяйственного использования?
17. Дайте характеристику агрохимических свойств основных типов почв. Какие агрохимические показатели характерны для почв зоны обслуживания?
18. Каково современное состояние плодородия почв и какие мероприятия необходимы в первую очередь для улучшения состояния земельного фонда страны?

#### 4.1. ИЗВЕСТКОВАНИЕ КИСЛЫХ ПОЧВ

По результатам агрохимического обследования, в России в настоящее время свыше 43 млн га только пахотных кислых почв (34 % площади пашни), нуждающихся в известковании. В Нечерноземной зоне европейской части страны на долю кислых почв приходится половина пахотных почв сильнокислые составляют 9 % и среднекислые — 31 %. Известкование их имеет первоочередное значение среди всех мероприятий по сохранению и повышению почвенного плодородия. В 2000 г. площадь сильно- и среднекислых пахотных почв в России оценивалась в 25 млн га.

##### 4.1.1. ОТНОШЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ К РЕАКЦИИ ПОЧВЫ И ИЗВЕСТКОВАНИЮ

Для каждого вида растений существует определенный наиболее благоприятный для роста и развития интервал реакции среды. Большинству сельскохозяйственных культур и полезных почвенных микроорганизмов требуется реакция, близкая к нейтральной.

Культура	pH	Культура	pH
Люцерна	7,0—8,0	Кормовые бобы	6,0—7,0
Сахарная свекла	7,0—7,5	Подсолнечник	6,0—7,0
Хлопчатник	7,0—7,5	Салат	6,0—7,0
Капуста	7,0—7,5	Просо	5,5—7,5
Конопля	7,0—7,5	Морковь	5,5—7,0
Огурец	6,5—7,5	Томат	5,0—8,0
Лук	6,5—7,5	Рожь	5,0—7,5
Пшеница	6,5—7,5	Овес	5,0—7,5
Кукуруза	6,5—7,5	Гречиха	5,0—7,5
Горчица	6,5—7,5	Редис	5,5—6,5
Соя	6,5—7,5	Лен	5,5—6,5
Горох	6,5—7,0	Сераделла	5,5—6,5
Фасоль	6,5—7,0	Картофель	4,5—6,5
Ячмень	6,0—7,5	Люпин	4,5—6,0
Клевер	6,0—7,0		

По отношению к реакции среды и отзывчивости на известкование сельскохозяйственные культуры можно подразделить на следующие группы.

1. Не переносят кислой реакции: люцерна, эспарцет, сахарная, столовая и кормовая свекла, конопля, капуста — для них оптимум pH лежит в узком интервале — от 7 до 7,5. Они сильно отзываются на известкование даже слабокислых почв.

2. Чувствительны к повышенной кислотности: пшеница, ячмень, кукуруза, подсолнечник, все бобовые культуры (за исключением люпина и сераделлы), огурец, лук, салат. Они предпочитают близкую к нейтральной реакцию (pH 6—7) и хорошо отзываются на известкование не только сильно- и среднекислых, но и слабокислых почв.

3. Менее чувствительны к кислотности: рожь, овес, просо, гречиха, тимофеевка, редис, морковь, томат. Эти культуры могут удовлетворительно расти в широком интервале pH — от кислой до слабощелочной реакции (pH 4,7—7,5), но наиболее благоприятна для их роста слабокислая и близкая к нейтральной реакция (pH 5—6). Они положительно реагируют на известкование сильно- и среднекислых почв полными дозами, что объясняется не только снижением почвенной кислотности, но и усилением мобилизации питательных веществ и улучшением питания растений азотом и зольными элементами.

4. Предпочитают слабокислую реакцию и нуждаются в известковании только на средне- и сильнокислых почвах лен и картофель. Картофель малочувствителен к реакции в диапазоне pH 4,5—6,5, а для льна лучше слабокислая реакция (pH 5,5—6,5). Высокие дозы  $\text{CaCO}_3$ , особенно при ограниченных дозах минеральных удобрений, отрицательно влияют на качество урожая этих культур. Картофель сильно поражается паршой, при этом снижается содержание крахмала в клубнях, а лен болеет бактериозом, что приводит к снижению выхода и ухудшению качества волокна. Отрицательное влияние на картофель и лен известкования кислых почв полными дозами объясняется не столько нейтрализацией кислотности, сколько уменьшением доступности растениям бора. Кроме того, при избыточной концентрации ионов кальция в почвенном растворе затрудняется поступление в растение других катионов, в частности магния и калия.

В севооборотах с большим удельным весом картофеля и льна при использовании высоких доз удобрений, особенно калийных, известкование можно проводить полными дозами. При этом лучше вносить известковые удобрения, содержащие магний, а также применять борные удобрения. В этом случае отрицательного действия известкования на лен и картофель не наблюдается, и в то же время повышается урожай других культур севооборота, чувствительных к кислотности.

5. Предпочитают кислую реакцию и чувствительны к избытку

водорастворимого кальция в почве люпин, сераделла и чайный куст. При известковании повышенными дозами эти культуры снижают урожай. При возделывании люпина и сераделлы на зеленое удобрение известь рекомендуют вносить не перед посевом, а при запашке этих культур в почву.

Таким образом, на большинство сельскохозяйственных культур повышенная кислотность почвы действует отрицательно, и они хорошо отзываются на известкование. При повышенной кислотности почвенного раствора ухудшаются рост и ветвление корней, проницаемость клеток корня (поэтому ухудшается использование растениями воды и питательных веществ почвы и удобрений), нарушается обмен веществ в растениях. Особенно чувствительны растения к повышенной кислотности почвы в первый период роста, сразу после прорастания.

Помимо непосредственно отрицательного действия повышенная кислотность почвы оказывает на растение многостороннее косвенное действие.

Кислые почвы имеют неблагоприятные биологические, физические и химические свойства. Коллоидная часть их бедна кальцием и другими основаниями, а насыщение водородом минеральных коллоидных частиц приводит к постепенному их разрушению.

В кислых почвах сильно подавлена деятельность полезных почвенных микроорганизмов, особенно азотфиксирующих свободноживущих и клубеньковых бактерий, для развития которых наиболее благоприятна нейтральная реакция. Слабо протекает образование доступных для растений форм азота, фосфора и других питательных веществ вследствие ослабления минерализации органического вещества. В то же время повышенная кислотность способствует развитию в почве грибов, среди которых много паразитов и возбудителей различных болезней растений.

Отрицательное влияние повышенной кислотности в значительной степени связано с увеличением подвижности алюминия и марганца в почве, повышением содержания их в почвенном растворе, что неблагоприятно для растений. Особенно чувствительны к повышенному количеству подвижного алюминия клевер, люцерна, озимая пшеница и рожь (при перезимовке), свекла, лен, горох, гречиха, ячмень. Эти культуры страдают при содержании его в почве свыше 2—3 мг/100 г. При высоком содержании в кислых почвах подвижного алюминия и железа усиливается связывание усвояемых форм фосфора с образованием нерастворимых и малодоступных для растений фосфатов полутораоксидов, ухудшается питание растений фосфором.

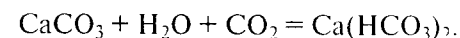
В кислых, особенно песчаных и супесчаных, почвах мало усвояемых соединений кальция и магния. Кроме того, при кислой реакции затрудняется поступление этих элементов в растение.

В кислых почвах уменьшается подвижность молибдена, и его

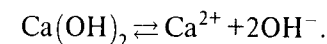
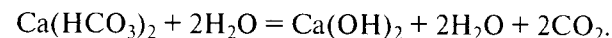
может не хватить для нормального роста растений, особенно бобовых. В отличие от молибдена для целого ряда других элементов, относящихся к тяжелым металлам (свинец, кадмий, цинк, медь, никель, хром), характерно увеличение подвижности в почве при подкислении. В кислых почвах опасность аккумуляции этих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

#### 4.1.2. ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТИ НА СВОЙСТВА И ПИТАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ

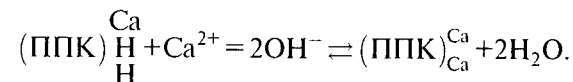
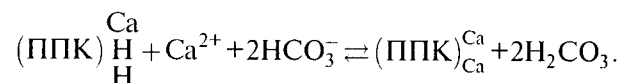
Основное нейтрализующее почвенную кислотность вещество в составе известковых удобрений — карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), или известь. При внесении в почву нерастворимый в воде карбонат кальция взаимодействует с угольной кислотой, находящейся в почвенном растворе, и нейтрализует ее с образованием растворимого в воде бикарбоната кальция.



Бикарбонат кальция представляет собой гидролитически щелочную соль, которая при растворении в воде диссоциирует на ионы.



В почвенном растворе возрастает концентрация ионов кальция, который вытесняет водород из почвенного поглощающего комплекса.



Подобным образом действуют карбонат магния, а также оксиды и гидроксиды кальция и магния, содержащиеся в известковых материалах.

При внесении извести нейтрализуются свободные органические кислоты (в том числе гуминовые), а также образующиеся в почве минеральные кислоты (например, азотная при нитрификации аммонийного азота).

Следовательно, известь нейтрализует свободные кислоты в почвенном растворе, а также ионы водорода в почвенном поглощаю-

шем комплексе, то есть устраняется активная и обменная кислотность, значительно снижается гидролитическая кислотность, повышается насыщенность почвы основаниями. Устраняя кислотность, известкование оказывает многостороннее положительное действие на свойства почвы и ее плодородие.

Замена поглощенного водорода кальцием сопровождается коагуляцией почвенных коллоидов, в результате чего уменьшаются их разрушение и вымывание, улучшаются физические свойства почвы (структурность, водопроницаемость, аэрация).

Известь снижает содержание в почве подвижных соединений алюминия и марганца, они переходят в неактивное состояние, в итоге устраняется вредное влияние их на растения. Под влиянием известкования в результате снижения кислотности и улучшения физических свойств почвы усиливаются жизнедеятельность микроорганизмов и мобилизация ими азота, фосфора и других питательных веществ из почвенного органического вещества. В известкованных почвах интенсивнее протекают процессы минерализации органического вещества (аммонификации и последующей нитрификации), лучше развиваются азотфиксирующие бактерии (клубеньковые, свободноживущие и ассоциативные), обогащающие почву азотом за счет азота атмосферы. Следовательно, улучшается азотное питание растений.

Известкование способствует переводу труднодоступных растений фосфатов алюминия и железа в более доступные фосфаты кальция и магния. Калий труднорастворимых минералов интенсивнее переходит в более подвижные соединения. Обменно-поглощенный почвой калий при известковании вытесняется кальцием в раствор, но усвоение калия растениями вследствие антагонизма между катионами  $K^+$  и  $Ca^{2+}$  затрудняется. Поэтому на известкованных почвах потребность в калийных удобрениях и их эффективность возрастают. Известкование влияет на подвижность в почве и доступность для растений микроэлементов. Соединения молибдена после внесения известки переходят в более усвояемые формы, улучшается питание растений этим элементом. Подвижность соединений бора и марганца, наоборот, уменьшается, и растения могут испытывать недостаток в них. Поэтому на известкованных почвах эффективно применение борных удобрений, особенно под культуры, требовательные к бору: сахарную и кормовую свеклу, клевер, люцерну, гречиху, лук и др.

При внесении известки почва обогащается кальцием, а при использовании доломитовой муки — и магнием. Потребность сельскохозяйственных культур в этих элементах (табл. 30) в естественных условиях обеспечивается за счет обменно-поглощенных ионов; водорастворимых соединений кальция и магния в почве обычно мало. Подавляющая часть кальция и магния находится в недоступной для растений форме — в составе минералов и трудно-растворимых солей.

30. Вынос кальция и магния с урожаем сельскохозяйственных культур (кг/т продукции) в пересчете на  $CaCO_3$

Культура	$CaCO_3$	$MgCO_3$	Сумма карбонатов**
Озимая рожь*	8,8	6,0	14,8
Озимая пшеница*	6,3	6,5	12,8
Яровая пшеница*	5,6	7,8	13,4
Ячмень яровой*	7,7	6,3	14,0
Овес*	9,7	7,2	16,9
Гречиха*	18,0	8,5	26,5
Горох*	31,5	10,0	41,5
Лен-долгунец*	17,1	16,4	33,5
Сахарная свекла (корни)	2,9	1,3	4,2
Картофель (клубни)	0,5	1,5	2,0
Кормовые корнеплоды	0,5	1,0	1,5
Кормовой люпин (зеленая масса)	2,9	1,5	4,4
Клевер луговой (сено)	42,2	19,0	61,2
Люцерна (сено)	45,5	7,8	53,3
Многолетние травы (сено)	27,0	12,5	39,5
Однолетние травы (сено)	30,0	10,6	40,6
Капуста	1,3	0,8	2,1
Луговые бобово-злаковые травы (сено)	17,1	10,2	27,3
Луговые злаковые травы (сено)	7,2	5,0	12,2

\* Зерно + солома.

\*\* Из произвесткованных почв вынос кальция и магния на 10—12 % выше.

В карбонатных почвах, насыщенных основаниями, черноземах, тяжелых серых лесных и подзолистых почвах кальция и магния вполне достаточно для питания даже требовательных культур. В легких дерново-подзолистых и серых лесных почвах мало обменно-поглощенного кальция и особенно магния. Значительные количества этих элементов выщелачиваются из почвы. При кислой реакции почвы также ограничивается поступление катионов кальция и магния в растения вследствие антагонизма с ионами водорода. Известковые материалы на таких почвах могут иметь важное значение и как источник кальция и магния для питания растений.

Улучшение питания растений азотом и зольными элементами под влиянием химической мелиорации кислых почв связано также с тем, что на известкованных почвах растения развивают более мощную корневую систему, способную усваивать больше питательных веществ.

В то же время проведение известкования способствует снижению поступления в растения тяжелых металлов, подвижность которых в почве уменьшается при устранении кислой реакции.

Известкование — одно из важных мероприятий по ограничению накопления в растениеводческой продукции и кормах радионуклидов на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению. При известковании в 1,5—2 раза снижается содержание в растениях наиболее опасных долгоживущих радионуклидов стронция-90 и цезия-137.

#### 4.1.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НУЖДАЕМОСТИ КИСЛЫХ ПОЧВ В ИЗВЕСТКОВАНИИ И ДОЗ ИЗВЕСТИ

Необходимость известкования почвы можно ориентировочно определить по некоторым внешним признакам. Кислые сильно-подзолистые почвы обычно имеют белесый оттенок, ярко выраженный подзолистый горизонт, достигающий 10 см и более. На повышенную кислотность почвы и нуждаемость ее в известковании указывают также плохой рост и сильное выпадение клевера, люцерны, озимой пшеницы при перезимовке, обильное развитие устойчивых к кислотности сорняков: щавелька, пикульника, торницы полевой, лютика ползучего, белоуса, щучки.

Потребность почвы в известковании с достаточной для практических целей точностью может быть определена по обменной кислотности (рН солевой вытяжки). При рН солевой вытяжки 4,5 и ниже потребность в известковании сильная, 4,6—5 — средняя, 5,1—5,5 — слабая, а при рН более 5,5 — отсутствует. Величина кислотности почвы — важный, но не единственный показатель, характеризующий потребность почвы в известковании. Важно учитывать также степень насыщенности почвы основаниями (V) и ее гранулометрический состав. С учетом этих трех показателей определяют степень нуждаемости почвы в известковании (табл. 31).

##### 31. Оценка степени нуждаемости в известковании в зависимости от свойств почвы (по М. Ф. Корнилову)

Почвы	Нуждаемость почвы в известковании							
	сильная		средняя		слабая		отсутствует	
	рН	V, %	рН	V, %	рН	V, %	рН	V, %
Тяжело- и среднесуглинистые	4,5	50	4,5—5,0	50—65	5,0—5,5	65—75	5,5	75
Легкосуглинистые	4,5	40	4,0—5,0	40—60	5,0—5,5	60—70	5,5	70
Супесчаные и песчаные	4,5	35	4,5—5,0	35—50	5,0—5,5	50—60	5,5	60
Заболоченные торфянистые и болотные	3,5	35	3,5—4,2	35—55	4,2—4,8	55—65	4,8	65

При известковании, кроме свойств почвы, необходимо учитывать особенности культур, возделываемых в севообороте. В севооборотах с большим удельным весом льна и картофеля слабонуждающиеся почвы не известкуют, а с чувствительными к кислотности культурами в первую очередь следует известковать почвы не только сильно-, но и среднелуждающиеся.

Доза извести зависит от степени кислотности почв, их гранулометрического состава и особенностей возделываемых культур.

Количество извести, необходимое для основного известкова-

ния — уменьшения повышенной кислотности пахотного слоя почвы до слабокислой реакции (до рН солевой вытяжки 5,6—5,8), благоприятной для большинства культур и полезных микроорганизмов, — называется *полной дозой*.

Ориентировочные дозы извести можно определить по величине рН солевой вытяжки. В зависимости от этих показателей ВИУА рекомендует вносить в дерново-подзолистые почвы Нечерноземья, содержащие не более 3 % органического вещества, следующие дозы извести (табл. 32).

##### 32. Дозы извести для почв с содержанием гумуса до 3 %, т/га

Почвы	рН <sub>KCl</sub>					
	очень сильно- и сильнокислые		среднекислые		слабокислые	
	4,5 и меньше	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4—5,5
Песчаные, супесчаные, легкосуглинистые	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0
Среднесуглинистые	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5
Тяжелосуглинистые, глинистые	8,0	7,5	6,5	5,5	5,0	4,5

Более точно установить полную дозу извести можно по величине гидролитической кислотности. При расчете дозы извести (в т)  $\text{CaCO}_3$  на 1 га величину гидролитической кислотности в  $\text{мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$  почвы ( $\text{H}_r$ ) умножают на 1,5. Величину 1,5 получают путем следующего расчета: 1  $\text{мг} \cdot \text{экв}$   $\text{H}$  эквивалентен 50  $\text{мг}$   $\text{CaCO}_3$ . Поскольку  $\text{H}_r$  выражают в  $\text{мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$  почвы, то для перехода к массе почвы пахотного слоя на площади 1 га (которая для среднесуглинистых дерново-подзолистых почв равна 3 млн кг) 50 умножают на 10 (для перехода от 100 г к 1 кг почвы) и на 3 000 000, а чтобы от миллиграммов перейти к тоннам, результат умножения делят на 1 000 000 000. Выполнив эти действия, получим 1,5. Например: если гидролитическая кислотность почвы составляет 4  $\text{мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$  почвы, то доза  $\text{CaCO}_3$  будет равна  $4 \cdot 1,5 = 6 \text{ т/га}$ .

Дозу конкретных известковых удобрений (Д) вычисляют с учетом содержания в них суммы нейтрализующих кислотность веществ (в расчете на чистый  $\text{CaCO}_3$ ) и количества крупных частиц (более 1 мм) по формуле:

$$Д = \frac{\text{Доза } (\text{CaCO}_3, \text{ т/га}) \text{ по кислотности почвы} \cdot 100 \cdot 100}{\% \text{ CaCO}_3 \text{ в удобрении} \cdot (100 - \% \text{ частиц более 1 мм})}$$

В случае необходимости вводят поправку и на влажность известкового материала.

Устанавливая дозу извести для конкретных условий, важно

учитывать гранулометрический состав почвы и особенности культур севооборота. На тяжелых почвах и под культуры, очень чувствительные к повышенной кислотности (свекла, кукуруза, клевер, люцерна, капуста и др.), лучше вносить полную дозу извести, рассчитанную по гидролитической кислотности. На более легких малобуферных почвах и для культур, не чувствительных к кислотности (картофель, лен, люпин и др.), дозу извести необходимо уменьшить на 1/3—1/2.

Известь обладает длительным действием. Полная доза извести может положительно влиять на урожай сельскохозяйственных культур в течение двух ротаций 7—8-польного севооборота, половинная доза — не более одной ротации (6—7 лет). С течением времени после внесения извести вновь происходит постепенное увеличение кислотности почвы (особенно быстро на малобуферных почвах и при систематическом применении физиологически кислых удобрений в высоких дозах) и возникает потребность в *повторном, или поддерживающем, известковании*. Необходимость повторного известкования устанавливают на основе данных агрохимического анализа почвы (определения степени ее кислотности) с учетом вымывания кальция по результатам лизиметрических опытов и его выноса с урожаем возделываемых культур. Ориентировочные уровни реакции почв, при которых целесообразно повторное известкование в зависимости от типа севооборота, приведены в таблице 33.

**33. Ориентировочные уровни  $pH_{KCl}$  для повторного известкования дерново-подзолистых и серых лесных почв**

Гранулометрический состав почвы	Тип севооборота				Культурные пастбища и сенокосы	
	полевой с высоким удельным весом льна, картофеля, люпина	полевой с многолетними травами и небольшими площадями	с сахарной свеклой и люцерной	кормовой и овоще-кормовой	злаковые	бобово-злаковые
Песчаные и супесчаные	4,8	5,1	5,3	5,3	4,8	5,1
Легко- и средне-суглинистые	5,0	5,3	5,6	5,5	5,0	5,3
Тяжелосуглинистые и глинистые	5,2	5,4	5,8	5,7	5,2	5,4
Торфяные	4,4	4,6	5,2	5,0	4,3	4,6

Дозу извести для повторного известкования определяют так же, как и для первичного. Определение необходимого количества извести для доведения реакции почвы до заданного значения  $pH$  с учетом состава возделываемых культур при основном и поддерживающем (повторном) известкованиях проводят также на основе норматива сдвига  $pH$  солевой вытяжки почвы под действием 1 т  $CaCO_3$ , который устанавливают экспериментально применитель-

но к конкретным условиям. В этом случае дозу извести (т/га) рассчитывают по формуле:

$$CaCO_3 = \frac{pH_{\text{сол. заданное}} - pH_{\text{сол. исходное}}}{\text{норматив сдвига } pH_{\text{сол.}} \text{ от 1 т } CaCO_3}.$$

Периодичность и эффективность повторного внесения извести зависят от ее дозы при первичном известковании и обеспеченности хозяйства минеральными удобрениями. При известковании половинными дозами и интенсивном применении минеральных удобрений периодичность известкования увеличивается, а эффективность повторного внесения извести достаточно высокая. На почвах, где при первичном известковании достигнута реакция почвенного раствора, близкая к нейтральной, следует ежегодно вносить известь в количествах, компенсирующих вынос кальция уро- жаями и вымывание его из корнеобитаемого слоя.

Из среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы в условиях Нечерноземья при просачивании через метровый слой 13 % среднегодового количества осадков (в среднем около 750 мм) размеры вымывания кальция и магния составляют соответственно 18—21 и 7—9 кг/га, а при систематическом внесении повышенных доз минеральных удобрений (235—300 кг д. в/га) они возрастают до 26—34 и 10—16 кг/га в расчете на соответствующий элемент. Из почв легкого гранулометрического состава при промывном режиме увлажнения потери кальция и магния в первые годы после известкования могут достигать соответственно 300 и 80 кг/га.

В овощных и прифермских севооборотах с более интенсивным использованием подкисляющих почву минеральных удобрений поддерживающее известкование рекомендуют осуществлять в дозе от 0,8 до 1,5 т/га ежегодно или пропорционально увеличенными дозами 1 раз в 2—3 года.

#### 4.1.4. ИЗВЕСТКОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Известковые удобрения получают размолом или обжигом твердых известковых пород (известняк, доломит, мел) или используют для известкования мягкие известковые породы и различные отходы промышленности, богатые известью.

**Известняковая мука.** Основное промышленное известковое удобрение, получаемое при размоле или дроблении известняков, которые состоят в основном из карбоната кальция ( $CaCO_3$ ), но чаще всего доломитизированы, т. е. содержат также  $MgCO_3$  (до 10—15 % в расчете на  $MgO$ ). Чем больше в породе  $MgCO_3$ , тем она тверже и прочнее. При повышенном содержании  $MgCO_3$  (18—20 % в расчете на  $MgO$ ) порода называется доломитом; при ее размоле получается доломитовая мука. Известковые материалы, со-

державшие магний, для многих сельскохозяйственных культур (свекла, картофель, лен, клевер, люцерна, гречиха, морковь, лук и др.) более эффективны, чем известковые удобрения, не содержащие магния, особенно на бедных магнием песчаных и супесчаных почвах. При внесении их в почву устраняется или уменьшается отрицательное действие на картофель и лен известкования полными дозами.

Качество известковых удобрений оценивают по количеству соединений, нейтрализующих кислотность почвы, и по тонине помола. Промышленные известковые удобрения должны содержать не менее 85 %  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ . Чем тоньше помол известняковой и доломитовой муки, тем скорее и полнее она взаимодействует с почвой, быстрее нейтрализует кислотность и тем выше эффективность известкования. Наиболее эффективна известняковая мука с тонинной помола менее 0,25 мм. При высоком содержании грубых частиц (крупнее 1—3 мм) эффективность ее резко снижается (табл. 34).

**34. Эффективность известняковой муки разной тонины помола (по данным полевых опытов)**

Показатель	Размер частиц известняка, мм		
	<0,25	0,25—1,00	1—3
Средняя ежегодная прибавка урожая, ц/га корм. ед.	16,6	14,8	9,4
%	100	89	57

Согласно государственному стандарту, известняковая мука первого и второго сортов первого класса должна содержать соответственно 88 и 85 % нейтрализующих веществ в расчете на  $\text{CaCO}_3$ , не более 3—5 % частиц крупнее 1 мм, 90—55 % с размером частиц менее 0,25 мм, а влажность пылящей известняковой муки не должна превышать 1,5 %, слабопылящей — 4—6 %.

**Известь.** При обжиге известняков  $\text{CaCO}_3$  превращается в  $\text{CaO}$  ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ), получается *жженая* (негашеная, комовая) *известь*. При взаимодействии ее с водой образуется гидроксид кальция  $[\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2]$ , называемый *гашеной известью* (пушонкой). Это тонкий, рассыпающийся порошок. По способности нейтрализовать кислотность почвы 1 т  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  равна 1,35 т  $\text{CaCO}_3$ . Пушонка — быстродействующее известковое удобрение. Эффективность ее в первый год после внесения может быть выше, чем  $\text{CaCO}_3$ , но с годами их действие выравнивается.

**Цементная пыль и рыхлые известковые породы, не требующие размола.** Имеют местное значение для известкования кислых почв. К ним относятся известковые туфы, гаж, мергель, торфотуфы, доломитовая природная мука.

**Цементная пыль**, улавливаемая при производстве цемента, должна содержать не менее 60 % нейтрализующих веществ в расчете на  $\text{CaCO}_3$  и влажность не более 2 %.

**Известковый туф** (ключевая известь) — ценное известковое удобрение, содержит не менее 80—70 %  $\text{CaCO}_3$ . Перед внесением иногда необходимо отсеивать более крупные твердые частицы. Месторождения известковых туфов чаще всего встречаются в пониженных элементах рельефа — притеррасных поймах, местах выхода ключей.

**Гаж** (озерная известь) должна содержать не менее 60 %  $\text{CaCO}_3$ . Она залегает в местах усыхания замкнутых водоемов, почти целиком состоит из частиц менее 1 мм. Озерная известь — быстродействующее эффективное известковое удобрение.

**Мергель** содержит от 50 до 80 %  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ . Встречается в виде рассыпчатой массы и плотной породы. Плотный мергель вывозят на поле зимой и складывают небольшими кучами. Под влиянием влаги и низкой температуры он разрыхляется, переходит в рассыпающуюся массу, которую можно вносить в почву.

**Торфотуфы** — низинные торфа, богатые известью (от 10 до 50 %  $\text{CaCO}_3$ ), наиболее пригодны для известкования кислых почв, бедных органическим веществом и расположенных вблизи мест их залегания.

**Доломитовая природная мука** содержит кроме  $\text{CaCO}_3$  также  $\text{MgCO}_3$  (в сумме 95 % и более в пересчете на  $\text{CaCO}_3$ ). Это особенно ценное известковое удобрение для почв легкого гранулометрического состава.

Доломитовая мука, используемая для известкования, должна содержать не менее 80 % нейтрализующих веществ в расчете на  $\text{CaCO}_3$  и влаги не более 12 %.

В качестве известковых удобрений могут быть использованы также различные отходы промышленности: *отходной мел, сланцевая зола, сталеплавильные и феррохромовые шлаки, хвосты флотации серной руды* и др. Они могут содержать тяжелые металлы и другие токсиканты, поэтому их применение возможно в дозе не более 7 т/га один раз в пять лет с обязательным контролем за изменением фонового количества соответствующих токсикантов в почве.

В зоне возделывания сахарной свеклы для устранения вредной для этой культуры кислотности почв может использоваться отход свеклосахарного производства — *дефекат*, содержащий 60—75 %  $\text{CaCO}_3$ . При этом необходимо контролировать содержание в нем жизнеспособных семян сорных растений.

#### 4.1.5. СРОКИ И СПОСОБЫ ВНЕСЕНИЯ ИЗВЕСТИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЕСТКОВАНИЯ

Эффективность применения извести в большей степени зависит от равномерного ее внесения и тщательного перемешивания с почвой. Известь должна быть хорошо измельчена и перед заделкой равномерно рассеяна по поверхности почвы, что лучше всего



достигается с помощью известковых сеялок и разбрасывателей. Пылевидные известковые удобрения — известняковая мука, цементная пыль, сланцевая зола и пылевидные отходы металлургической промышленности — вносят машинами пневматического типа.

Необходимо применять такой способ заделки извести, при котором обеспечивается хорошее перемешивание ее со всем пахотным слоем почвы, — под плуг с осени под зяблевую обработку или весной под перепахивку зяби, лучше всего вместе с органическими удобрениями (навозом, торфом, компостами). При использовании фосфоритной муки ее лучше вносить под вспашку зяби, а известь — под перепахивку или культивацию. С организационно-хозяйственной точки зрения наиболее удобно проведение известкования в пахотных полях. В севооборотах с клевером неотложному известкованию подлежит покровная культура. В пропашных севооборотах известь необходимо применять в первую очередь под кукурузу и корнеплоды, а в овощных — под капусту и свеклу или под их предшественники.

Только на естественных сенокосах и пастбищах известь вносят поверхностно. При залужении и создании культурных пастбищ на кислых почвах известь применяют под вспашку. Известкование кислых почв резко повышает продуктивность кормовых угодий, при этом не только возрастает урожай, но и улучшается состав травостоя, кормовые достоинства сена и пастбищного корма.

На кислых почвах практикуется локальное внесение известковых удобрений при высадке рассады (в лунки) овощных и саженцев (в посадочные ямы) плодовых культур.

Под влиянием известкования улучшается использование растениями питательных веществ почвы и удобрений и значительно повышается урожайность сельскохозяйственных культур. Этот прием на средне- и сильнокислых дерново-подзолистых почвах увеличивает урожай озимой пшеницы на 0,4—0,7 т/га, ржи, яровой пшеницы, ячменя — на 0,3—0,5, клеверного сена — на 1,8—3,0, сахарной, кормовой свеклы и капусты — на 4—10, зеленой массы кукурузы — на 3—7, картофеля — на 1—2 т/га. При известковании сильнокислых почв урожайность повышается в большей степени, чем средне- и слабокислых, прибавки урожая с повышением доз извести увеличиваются.

Известь медленно растворяется и взаимодействует с почвой, действие ее проявляется постепенно, поэтому максимальный эффект от известкования достигается на второй-третий годы.

При внесении полной дозы положительное действие извести на урожай проявляется на протяжении не менее двух ротаций 5—7-польных севооборотов. За это время каждая тонна извести дает общую прибавку урожая всех выращиваемых культур, равную в пересчете на зерно 1,2—1,5 т/га. При снижении дозы извести по сравнению с полной, рассчитанной по гидролитической кислот-

ности, и продолжительность положительного действия извести на урожай снижаются, а при внесении удвоенной дозы — возрастает (табл. 35).

35 Среднегодовые прибавки урожая при разных дозах извести (по результатам 11 длительных полевых опытов на дерново-подзолистых почвах; данные И. А. Шильникова)

Вариант опыта	Доза извести (доля от полной по Н <sub>2</sub> )			
	0,25	0,5	1,0	2,0
Первый год	1,8	3,5	4,8	6,2
	31	73	100	129
Второй год	1,3	2,8	5,6	6,5
	23	50	100	116

Примечание. В числителе — ц зерн. ед. с 1 га, в знаменателе — % к варианту с полной дозой извести по гидролитической кислотности.

**Известкование** — основное условие эффективного применения удобрений на кислых почвах. Эффективность минеральных и органических удобрений на известкованных почвах значительно повышается.

Положительное действие наблюдается от совместного внесения извести и навоза. Опыты показывают, что на кислых подзолистых почвах сочетание известкования с внесением умеренных доз навоза в большинстве случаев дает такую же или более высокую прибавку урожая сельскохозяйственных культур, как и двойная доза навоза на неизвесткованной почве.

Эффективность минеральных удобрений на сильно- и среднекислых почвах при их известковании повышается на 35—50 %, а на слабокислых — на 15—20 %. Прибавки урожая от совместного применения извести и минеральных удобрений обычно значительно выше, чем прибавки от раздельного их внесения.

По данным И. А. Шильникова, среднегодовая продуктивность севооборота за две ротации (в ц зерн. ед. с 1 га) в длительном опыте на Смоленской опытной станции ВИУА в контрольном варианте составила 14,4, при внесении минеральных удобрений без известкования — 25,3 и от одного известкования — 22,2, а при совместном применении известкования и минеральных удобрений — 33,1.

Известкование кислых почв не только повышает урожай и эффективность удобрений, но и обеспечивает получение значительного экономического эффекта. Экономическая эффективность известкования определяется соотношением величины затрат на известкование и стоимости дополнительной продукции, получаемой от него за время ее действия.

Затраты на применение известковых удобрений зависят от исходных материалов, дозы извести, вида и дальности перево-

достигается с помощью известковых сеялок и разбрасывателей. Пылевидные известковые удобрения — известняковая мука, цементная пыль, сланцевая зола и пылевидные отходы металлургической промышленности — вносят машинами пневматического типа.

Необходимо применять такой способ заделки извести, при котором обеспечивается хорошее перемешивание ее со всем пахотным слоем почвы, — под плуг с осени под зяблевую обработку или весной под перепахку зяби, лучше всего вместе с органическими удобрениями (навозом, торфом, компостами). При использовании фосфоритной муки ее лучше вносить под вспашку зяби, а известь — под перепахку или культивацию. С организационно-хозяйственной точки зрения наиболее удобно проведение известкования в пахотных полях. В севооборотах с клевером неотложному известкованию подлежит покровная культура. В пропашных севооборотах известь необходимо применять в первую очередь под кукурузу и корнеплоды, а в овощных — под капусту и свеклу или под их предшественники.

Только на естественных сенокосах и пастбищах известь вносят поверхностно. При залужении и создании культурных пастбищ на кислых почвах известь применяют под вспашку. Известкование кислых почв резко повышает продуктивность кормовых угодий, при этом не только возрастает урожай, но и улучшаются состав травостоя, кормовые достоинства сена и пастбищного корма.

На кислых почвах практикуется локальное внесение известковых удобрений при высадке рассады (в лунки) овощных и саженцев (в посадочные ямы) плодовых культур.

Под влиянием известкования улучшается использование растениями питательных веществ почвы и удобрений и значительно повышается урожайность сельскохозяйственных культур. Этот прием на средне- и сильнокислых дерново-подзолистых почвах увеличивает урожай озимой пшеницы на 0,4—0,7 т/га, ржи, яровой пшеницы, ячменя — на 0,3—0,5, клеверного сена — на 1,8—3,0, и более, сахарной, кормовой свеклы и капусты — на 4—10, зеленой массы кукурузы — на 3—7, картофеля — на 1—2 т/га. При известковании сильнокислых почв урожайность повышается в большей степени, чем средне- и слабокислых, прибавки урожая с повышением доз извести увеличиваются.

Известь медленно растворяется и взаимодействует с почвой, действие ее проявляется постепенно, поэтому максимальный эффект от известкования достигается на второй-третий годы.

При внесении полной дозы положительное действие извести на урожай проявляется на протяжении не менее двух ротаций 5—7-польных севооборотов. За это время каждая тонна извести дает общую прибавку урожая всех выращиваемых культур, равную в пересчете на зерно 1,2—1,5 т/га. При снижении дозы извести по сравнению с полной, рассчитанной по гидролитической кислот-

ности, степень и продолжительность положительного действия известкования снижаются, а при внесении удвоенной дозы — возрастают (табл. 35).

**35. Средние ежегодные прибавки урожая при разных дозах извести (по результатам 11 длительных полевых опытов на дерново-подзолистых почвах; данные И. А. Шильникова)**

Ротация севооборота	Доза извести (доля от полной по N <sub>2</sub> )			
	0,25	0,5	1,0	2,0
Первая	$\frac{1,8}{31}$	$\frac{3,5}{73}$	$\frac{4,8}{100}$	$\frac{6,2}{129}$
Вторая	$\frac{1,3}{23}$	$\frac{2,8}{50}$	$\frac{5,6}{100}$	$\frac{6,5}{116}$

**Примечание.** В числителе — ц зерн. ед. с 1 га, в знаменателе — % к варианту с полной дозой извести по гидролитической кислотности.

**Известкование** — основное условие эффективного применения удобрений на кислых почвах. Эффективность минеральных и органических удобрений на известкованных почвах значительно возрастает.

Положительное действие наблюдается от совместного внесения извести и навоза. Опыты показывают, что на кислых подзолистых почвах сочетание известкования с внесением умеренных доз навоза в большинстве случаев дает такую же или более высокую прибавку урожая сельскохозяйственных культур, как и двойная доза навоза на неизвесткованной почве.

Эффективность минеральных удобрений на сильно- и среднекислых почвах при их известковании повышается на 35—50 %, а слабокислых — на 15—20 %. Прибавки урожая от совместного применения извести и минеральных удобрений обычно значительно выше, чем прибавки от раздельного их внесения.

Так, по данным И. А. Шильникова, среднегодовая продуктивность севооборота за две ротации (в ц зерн. ед. с 1 га) в длительном опыте на Смоленской опытной станции ВИУА в контрольном варианте составила 14,4, при внесении минеральных удобрений без известкования — 25,3 и от одного известкования — 22,2, а при совместном применении известкования и минеральных удобрений — 32,1.

Известкование кислых почв не только повышает урожай и эффективность удобрений, но и обеспечивает получение значительного экономического эффекта. Экономическая эффективность известкования определяется соотношением величины затрат на его проведение и стоимости дополнительной продукции, получаемой от извести за время ее действия.

Затраты на применение известковых удобрений зависят от используемых материалов, дозы извести, вида и дальности перево-

зок, технологии хранения и внесения. В структуре издержек на известкование наибольшая доля затрат приходится на транспортировку, погрузочно-разгрузочные работы и внесение извести.

Прибавка урожая от известкования и экономическая эффективность этого приема могут широко колебаться в зависимости от степени кислотности почв, доз извести и состава культур севооборота. Наибольшие чистый доход от известкования кислых почв и окупаемость затрат обеспечиваются в таких севооборотах, где возделывают культуры, сильно отзывавшиеся на этот прием.

На сильно- и среднекислых почвах затраты на известкование окупаются стоимостью дополнительного урожая зерновых за 1—2 года, кормовых культур — менее чем за год, а картофеля и овощей — в 3—5-кратном размере в течение года. На слабокислых почвах время окупаемости затрат возрастает в 1,5 раза.

В современных условиях, когда значительно снижено проведение химической мелиорации почв, возникает вопрос о возможности их известкования меньшими дозами. Поскольку растения наиболее чувствительны к кислотности при прорастании семян и в начальный период роста, а самым губительным действием обладает обменная кислотность почвы с сопутствующей ей высокой подвижностью алюминия, то в первую очередь необходимо позаботиться об ее устранении в верхнем слое почвы.

Дозу извести по обменной кислотности (в т/га) определяют путем умножения ее величины в мг экв/100 г почвы на коэффициент 2,63. Создание более благоприятных условий реакции среды в верхнем слое почвы при заделке такой дозы извести под предпосевную обработку положительно скажется на формировании корневой системы и надземных органов растений с начала вегетации, повысит устойчивость культуры к неустраненной кислотности нижележащих слоев почвы и положительно повлияет на урожай. Очевидно, что степень и продолжительность действия, агрономическая и экономическая эффективность такого известкования будут тем меньше, чем ниже внесенная доза по сравнению с необходимой для полного устранения кислотности почвы во всем пахотном слое (см. табл. 37).

#### **4.1.6. АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИЗВЕСТКОВАНИЯ**

Агротехнические требования при проведении известкования включают следующие основные положения.

Выбор площадей, очередность известкования и дозу извести устанавливают с учетом агрохимических свойств почвы, биологических особенностей культур севооборота и степени нуждаемости их в известковании, экономической эффективности.

Применяемые известковые материалы должны отвечать требованиям ГОСТа и ТУ по содержанию нейтрализующих веществ тяжелых металлов и других токсикантов и титруемой щелочности.

При оценке качества внесения известковых материалов в поле контролируют скорость движения агрегатов, фактическую дозу внесения, неравномерность их внесения и нестабильность дозы, рабочую ширину захвата агрегата, расстояние между смежными проходами и его отклонение от рабочей ширины захвата, наличие огрехов и качество обработки поворотных полос.

Скорость движения агрегата при внесении известковых материалов должна быть постоянной и соответствовать той, при которой производилась регулировка на заданную дозу. Агрегат должен двигаться прямолинейно с соблюдением рабочей ширины захвата по всей длине гона. Неравномерность распределения слабопылящих известковых материалов по рабочей ширине захвата не должна превышать 25 %, а пылевидных материалов пневморазбрасывателями — 30 %. Разрывы смежных проходов агрегатов не допускаются, а перекрытие в смежных проходах не должно превышать 5 % от рабочей ширины захвата. Отклонение фактической дозы от заданной не должно превышать 10 %. Не допускается внесение пылевидных известковых материалов при скорости ветра более 5—7 м/с. Агрегат должен двигаться поперек направления ветра.

Известкование нужно проводить в предусмотренные проектно-сметной документацией оптимальные сроки, с последующей (или одновременной) заделкой на заданную глубину.

При известковании кислых почв необходимо соблюдать следующие общие агроэкологические ограничения. Не допускаются: внесение известковых материалов всеми способами в почву на территории первого пояса зоны санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, а во втором поясе этой зоны — в период непосредственной угрозы паводка; внесение известковых материалов в почву менее чем через 72 ч после обработки хлорорганическими пестицидами; применение известковых материалов — отходов промышленности, в которых содержание тяжелых металлов, радионуклидов и других токсичных элементов (соединений) превышает допустимый санитарными нормами уровень.

#### **4.2. ГИПСОВАНИЕ СОЛОНЦОВ**

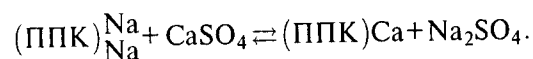
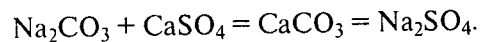
В нашей стране имеются значительные площади почв с щелочной реакцией — это солонцы и сильносолонцеватые почвы. Щелочная реакция этих почв обусловлена содержанием катионов натрия в почвенном поглощающем комплексе и соды в почвенном растворе. В зависимости от количества поглощенного натрия по-

чвы подразделяют на слабосолонцеватые, содержащие 5—10 % Na от общей емкости поглощения, солонцеватые — 10—20 % Na и солонцы — более 20 % Na.

Солонцы и солонцеватые почвы характеризуются плохими физическими свойствами: во влажном состоянии набухают и заплывают, а при высыхании твердеют, образуют корку и растрескиваются на глыбы. Обработка таких почв сильно затруднена. Щелочная реакция солонцовых почв вредна для культурных растений. Плотный солонцовый горизонт препятствует проникновению корневой системы вглубь. Урожайность сельскохозяйственных культур на таких почвах крайне низкая.

Мелиоративный фонд солонцовых земель России в сельскохозяйственных угодьях составляет около 28 млн га, в том числе 12,4 млн га в пашне. Наибольшие площади (и доли) солонцовых земель пахотных угодий находятся в Волгоградской (40 %), Ростовской (24 %), Курганской (44 %), Челябинской (16 %), Новосибирской (40 %), Омской (21 %) областях и Ставропольском крае (20 %). По уровню засоленности и морфологическому строению солонцовые почвы характеризуются большим разнообразием и требуют дифференцированных приемов мелиорации. При мелиорации солонцовых почв важнейшими являются приемы физической (мелиоративные обработки — ярусные и плантажная вспашки, мелиоративное рыхление) и химической мелиорации (внесение в почву различных веществ, вытесняющих поглощенный натрий и устраняющих щелочность, улучшающих физико-химические свойства солонцовых почв — гипсование, дефекатирование, мелование, кислование).

**Гипсование** — основной прием химической мелиорации для коренного улучшения солонцов и солонцеватых почв, содержащих более 10 % Na от общей емкости поглощения. При внесении в почву гипса устраняется сода в почвенном растворе, а поглощенный почвой натрий вытесняется и заменяется кальцием с образованием в растворе нейтральной соли — сульфата натрия.



При образовании в растворе небольшого количества  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  он не оказывает вредного действия на растения, но при гипсовании солонцов, содержащих более 20 % Na от емкости поглощения в растворе, появляется много сульфата натрия, и его необходимо удалять из почвы промыванием. В результате гипсования устраняется щелочная реакция солонцовых почв, улучшаются их физические, физико-химические и биологические свойства, повышается плодородие.

Для гипсования могут быть использованы следующие материалы.

**Гипс сыромолотый**  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Тонкоразмолотый серый или белый порошок, содержит 71—73 %  $\text{CaSO}_4$ .

**Фосфогипс** — отход туковых заводов, очень тонкий порошок, содержит 70—75 %  $\text{CaSO}_4$  и 2—3 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

**Глиногипс** добывают из природных залежей; в естественном виде рыхлый, не требует размол, содержит от 63 до 92 %  $\text{CaSO}_4$  и от 1 до 19 % глины.

Доза гипса в зависимости от количества поглощенного натрия и щелочности почвы может быть от 3 до 10 т/га. Для расчета дозы гипса можно пользоваться формулой:

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ (т/га)} = (\text{Na} - 0,1 T) \cdot 0,086 H d,$$

где Na — содержание поглощенного натрия, мг-экв/100 г почвы; 0,1—10 % Na от емкости поглощения (T), допустимое содержание поглощенного натрия в почве; 0,086 — 1 мг-экв  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , г; H — глубина пахотного слоя, см; d — объемная масса почвы гипсуемого слоя, г/см<sup>3</sup>.

При орошении доза гипса может быть уменьшена на 25—30 %. Полную дозу его можно давать в несколько приемов в течение 2—3 лет.

На корковых солонцах гипс вносят после вспашки и заделывают культиватором. На глубокостолбчатых солонцах при залегании солонцового горизонта на глубине более 15 см всю дозу гипса рассеивают и заделывают плугом с предплужником. При расположении солонцового горизонта на глубине 7—15 см гипс можно вносить под вспашку или культивацию, а также в два приема — по половинной дозе под каждую из этих обработок.

Агротехнические требования и экологические ограничения при гипсовании аналогичны приведенным ранее для известкования кислых почв.

Гипсование без орошения в Центрально-Черноземной зоне повышает урожайность зерновых в среднем на 0,3—6 т, в зоне каштановых почв — на 0,2—0,3 т/га. При орошении эффективность гипсования выше. Действие гипса значительно возрастает при заделке его под глубокую перепашку с одновременным внесением навоза, компостов, применением зеленого удобрения. При гипсовании растет эффективность как органических, так и минеральных удобрений (табл. 36).

36. Действие гипсования в сочетании с внесением навоза и минеральных удобрений на урожайность яровой пшеницы, т/га (по данным Сибирского НИИСХ)

Вариант опыта	Среднестолбчатые солонцы		Глубокостолбчатые солонцы	
	Урожайность	Прибавка урожайности	Урожайность	Прибавка урожайности
Контроль	0,17	—	0,45	—
Гипс, 5 т + $\text{N}_{60}\text{P}_{60}$	0,95	0,78	1,26	0,81
Гипс, 5 т + навоз, 40 т	1,54	1,37	1,62	1,17
Гипс, 10 т + навоз, 40 т	1,21	1,04	1,86	1,41

Положительное влияние гипсования на плодородие почвы наблюдается в течение 8—10 лет, причем вследствие постепенного взаимодействия гипса с почвой эффективность его из года в год возрастает.

Площадь солонцовых почв, нуждающихся в первоочередной химической мелиорации, составляет 3,7 млн га. С учетом соблюдения необходимого цикла гипсования (10 лет) среднегодовой объем работ по его проведению составляет 350—400 тыс. га при средневзвешенной норме внесения основного мелиоранта — фосфогипса — свыше 8 т/га.

На солонцовых почвах, у которых под солонцовым горизонтом на небольшой глубине залегает слой, богатый  $\text{CaCO}_3$  или  $\text{CaSO}_4$ , можно проводить глубокую мелиоративную вспашку, при которой этот слой выворачивается и перемешивается с солонцовым. Этот прием называют *самогипсованием солонцов*. После внесения гипса или мелиоративной вспашки на неорошаемых площадях необходимо проводить снегозадержание, а при орошении желательнее — полив. Для мелиоративной вспашки необходимо применять специальные обрабатывающие орудия и мощные тягачи с малым удельным давлением на почву. Менее сложным приемом является мелиоративное рыхление, при котором сохраняется естественное расположение генетических горизонтов почвы и осуществляется только частичное перемещение ее по профилю. Мелиоративное рыхление рекомендуют для ежегодной обработки пахотных солонцовых земель и при коренном улучшении естественных кормовых угодий.

Следует отметить, что гипс вносят не только для химической мелиорации солонцов, но и для улучшения питания растений кальцием и серой на других почвах, прежде всего в Нечерноземной зоне. Гипс, содержащий кальций и серу, как удобрение применяют прежде всего под бобовые травы — клевер и люцерну, которые потребляют этих элементов значительно больше, чем другие культуры. Вносят его под травы поверхностно, под другие культуры — в почву (0,3—0,4 т/га).

Положительное действие гипса на рост, развитие и урожайность растений на кислых почвах обусловлено не только улучшением питания кальцием и серой, но и доступностью калия, повышением устойчивости растений к кислотности при увеличении концентрации кальция в почвенном растворе. Прибавка урожая сена клевера от внесения гипса на дерново-подзолистых почвах составляет 0,7—1 т/га, на серых лесных почвах и выщелоченных черноземах — до 0,7 т/га.

Выбор метода мелиорации солонцовых почв и очередности выполнения работ определяется экономическими и экологическими критериями, предусматривающими наиболее высокую отдачу вложенных в мелиорацию средств и повышение экологической устойчивости всего агроландшафта, включающего мелиорируемые

земли. К первоочередным объектам мелиорации относятся как орошаемые солонцовые, так и богарные земли, используемые для возделывания наиболее ценных сельскохозяйственных культур.

Федеральной целевой программой «Повышение плодородия почв России на 2002—2005 годы» минимальные объемы гипсования солонцовых почв установлены в размере 140 тыс. га, а мелиоративной обработки — 185 тыс. га.

Проектно-исследовательские центры и станции агрохимической службы на основе агрохимического обследования почв разрабатывают рекомендации и документацию на работы по известкованию кислых почв и гипсованию солонцов. Для этих целей созданы специальные программные комплексы по составлению с помощью ЭВМ проектно-сметной документации на химическую мелиорацию почв, в которой указывают площади почв, подлежащих мелиорации по годам, необходимые дозы внесения и общую потребность в известковых или гипсосодержащих материалах, перечень технологических процессов и потребность в машинах для транспортировки и внесения мелиорантов, затраты на химическую мелиорацию и данные по ее окупаемости в хозяйстве. Химическая мелиорация почв — важнейшая составная часть комплексного агрохимического окультуривания полей, прием радикального улучшения кислых и солонцовых почв, повышения эффективности любых агротехнических мероприятий и окупаемости произведенных затрат.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Какие требования предъявляют различные растения к реакции среды и как они относятся к известкованию кислых почв? 2. В чем заключается отрицательное действие повышенной кислотности на растения и почву? 3. Как происходит взаимодействие извести с почвой, какое влияние она оказывает на свойства почвы и питание растений? 4. Как влияет известкование кислых почв на урожайность сельскохозяйственных культур, эффективность органических и минеральных удобрений? 5. Как определить потребность почвы в известковании? 6. Что такое полная доза извести, как ее устанавливают? В чем различие между основным и повторным известкованием? 7. Какие материалы используют для известкования кислых почв? 8. Какими способами и когда вносят известь? 9. Расскажите об особенностях известкования в севооборотах со льном и картофелем. 10. На каких почвах необходимо проводить гипсование? 11. Что происходит в почве при внесении гипса? 12. Что такое самогипсование солонцовых почв? 13. Какие материалы используют для гипсования почв? 14. Как рассчитать дозы гипса? 15. Какие условия повышают эффективность гипсования? 16. Как используют гипс в качестве удобрения, содержащего серу и кальций? 17. Какие основные агротехнические требования и экологические ограничения необходимо соблюдать при проведении химической мелиорации почв?

### 5.1. КЛАССИФИКАЦИЯ УДОБРЕНИЙ

Удобрениями называют вещества, используемые для питания растений и повышения плодородия почв.

По химическому составу все удобрения подразделяют на минеральные и органические. К удобрениям относятся разнообразные минеральные и органические вещества и материалы, которые содержат необходимые для растений элементы питания, усиливают мобилизацию питательных элементов из почвенных запасов и улучшают свойства почвы. По характеру действия удобрения разделяют на прямые и косвенные.

**Удобрения прямого действия.** Содержат необходимые растениям питательные элементы и оказывают непосредственное положительное влияние на питание сельскохозяйственных культур. При внесении азотных удобрений улучшается азотное питание растений, а фосфорных удобрений — фосфорное питание и т. д.

**Удобрения косвенного действия.** Применяют главным образом не для непосредственного улучшения условий питания растений каким-либо элементом, а для улучшения свойств почвы, изменения реакции почвенного раствора и усиления процесса мобилизации имеющихся в почве запасов питательных элементов, т. е. они оказывают косвенное воздействие на условия питания растений.

К косвенным удобрениям относят используемые для химической мелиорации почв известковые удобрения и гипс, а также бактериальные удобрения.

В зависимости от происхождения, способа и места получения удобрения делятся на промышленные и местные.

**Промышленные удобрения.** К ним относят почти все минеральные удобрения, которые получают в результате размола или химической переработки агроруд на специальных химических заводах, а также синтетические продукты азотной промышленности, побочные продукты химических производств, выпускаемые промышленным способом органические и органо-минеральные удобрения. Сюда же условно можно отнести и бактериальные удобрения — препараты, получаемые на заводах при размножении определенных видов микроорганизмов.

**Местные удобрения.** Получают на местах их использования, в самих хозяйствах или вблизи них. К таким удобрениям относят прежде всего различные органические удобрения (навоз, навозная жижа, птичий помет, фекалии, различные компосты, торф, прудовый ил, зеленое удобрение и пр.), местные известковые материалы, отходы металлургической и других видов промышленности, используемые в сельском хозяйстве вблизи мест соответствующих производств.

**Минеральные удобрения.** Они могут быть как промышленного, так и ископаемого происхождения (например, фосфоритная мука, известковые удобрения). Они, как правило, содержат питательные вещества в виде минеральных солей (например, нитрата аммония — в аммиачной селитре, монокальцийфосфата  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$  — в суперфосфате,  $\text{KCl}$  — в хлористом калии). Однако азотное минеральное удобрение мочевины содержит азот в составе органического соединения карбамида —  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ .

В зависимости от того, какие питательные элементы находятся в удобрениях, их подразделяют на две группы.

**Простые** (однокомпонентные) **удобрения** содержат какой-либо один элемент питания. К ним относятся азотные, фосфорные, калийные удобрения и микроудобрения, содержащие один микроэлемент.

Комплексные удобрения включают одновременно не менее двух главных питательных элементов.

Термином «вид минерального удобрения» обозначают категорию удобрения, выделяемую по действующему веществу, а термином «форма минерального удобрения» — их характеристику по химическому составу.

Так, азотные удобрения (вид удобрения) выпускают в различных формах (аммиачная селитра, мочевины, безводный аммиак, сульфат аммония и др.).

Содержание действующего вещества выражают в процентах массы: в азотных удобрениях в расчете на  $\text{N}$ , в фосфорных — на  $\text{P}_2\text{O}_5$  и в калийных — на  $\text{K}_2\text{O}$ . Для пересчета дозы удобрения в килограммах действующего вещества на физические удобрения указываемую дозу  $\text{N}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  или  $\text{K}_2\text{O}$  делят на процент содержания действующего вещества в удобрении. Например, нужно внести дозу 70 кг азота на 1 га в виде аммиачной селитры: так как содержание азота в ней 34,5 %, то количество физического удобрения будет  $70/34,5 \approx 2$  ц/га.

### 5.2. ПРОИЗВОДСТВО И АССОРТИМЕНТ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Как уже отмечалось, в бывш. СССР благодаря целенаправленным усилиям были созданы мощная сырьевая база и химическая промышленность для производства минеральных удобрений. В

Российской Федерации в 1986—1990 гг. производилось (табл. 37) в среднем за год 17 млн т питательных веществ (около 50 % общего производства в бывш. СССР) в составе широкого ассортимента простых и комплексных удобрений (табл. 38). В период максимальной загрузки производственных мощностей (1988 г.) из 37,1 млн т удобрений в расчете на питательные вещества в России выпускалось 18 млн т, в том числе азотных — 7,6, фосфорных — 5,1, калийных — 5,4 млн т.

**37. Производство и потребление минеральных удобрений в России за 1986—1999 гг., млн т д. в. в год**

Показатели	1986—1990 гг. (в среднем)	1991 г.	1992 г.	1993 г.	1994 г.
Производство:					
азотные удобрения	7,8	6,7	5,8	4,8	4,1
фосфорные »	4,7	4,2	3,0	2,5	1,7
калийные »	4,5	4,1	3,5	2,6	2,5
Всего	17,0	15,0	12,3	9,9	8,3
Поставка в АПК,	13,0	10,1	5,5	3,7	1,4
%	76	67	45	37	17
Разница между производством и потреблением	4,0	4,9	6,8	6,2	6,9

*Продолжение*

Показатели	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.	1999 г.*
Производство:					
азотные удобрения	4,9	4,8	4,3	3,9	5,1
фосфорные »	1,9	1,6	1,8	1,7	2,2
калийные »	2,8	2,7	3,4	3,7	4,8
Всего	9,6	9,1	9,5	9,3	12,1
Поставка в АПК,	1,6	1,6	1,5	1,2	1,2
%	17	18	16	13	10
Разница между производством и потреблением	8,0	7,5	8,0	8,1	10,9

\* По оценке Д. М. Хомякова.

**38. Ассортимент минеральных удобрений, поставляемых сельскому хозяйству (% от валовых показателей)**

Вид и форма удобрений	Процент действующего вещества	1970 г.	1980 г.	Прогноз на 2005—2010 гг.
<i>Азотные</i>				
Аммиачная селитра	35	45,0	40,1	17,6
Мочевина	46	27,3	27,1	25,5
Водные растворы мочевины и аммиачной селитры (КАС)	28—32	—	—	20,6
Сульфат аммония	21	7,3	5,1	2,0
Аммиачная вода	16—20	14,4	7,1	9,8
Жидкий аммиак	82	—	—	—

*Продолжение*

Вид и форма удобрений	Процент действующего вещества	1970 г.	1980 г.	Прогноз на 2005—2010 гг.
В составе комплексных (сложных) удобрений		5,0	19,3	23,5
Прочие		1,0	1,3	1,0
<i>Фосфорные</i>				
Однокомпонентные, в том числе:		86,6	36,6	61,6
суперфосфат простой	20	63,6	16,0	9,9
суперфосфат двойной	45	21,3	19,5	15,4
фосфатшлаки	8—20	1,7	0,5	—
фосфоритная мука	19—30	—	—	23,1
В комплексных (сложных) удобрениях		11,2	54,5	39,5
в том числе:				
твердых		11,1	46,8	27,4
жидких		0,1	7,7	12,1
Кормовые фосфаты		2,2	9,7	—
<i>Калийные</i>				
Хлористый калий	52—60	57,7	77,5	65,7
Калийная соль	40	27,9	4,1	4,5
Сульфат калия	45—52	—	1,5	3,0
Калимагнезия	26—28	1,9	1,4	3,0
Калийно-магнизиальный концентрат	—	1,7	—	—
Электролит	32	2,4	0,7	—
Каинит	8—12	5,7	—	—
В составе комплексных (сложных) удобрений	—	2,7	14,8	23,8

\* И. Н. Чумаченко и др., 2001.

Распад СССР и переход к рыночным отношениям привели к резкому спаду производства и применения минеральных удобрений. В сфере производства отмечается рост производственных расходов и себестоимости удобрений за счет увеличения цен на основные ресурсы (сырье, энергоносители) и транспортные расходы. В сфере потребления диспаритет цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию, а также отсутствие эффективной системы кредитования сельхозпроизводителей привело к острому недостатку у хозяйств оборотных средств, в том числе для закупки удобрений. В итоге наблюдается значительное уменьшение производства минеральных удобрений (загрузка сохранившихся в России промышленных мощностей составляет 40—45 %), происходят физическое и моральное старение средств производства, потеря квалифицированных кадров.

В сельском хозяйстве сокращение потребления удобрений привело к падению урожайности и валового сбора продукции, истощению почвенного плодородия. Отсутствие платежеспособных потребителей минеральных удобрений в России и странах бывш. СССР заставило химические заводы переориентироваться на экспорт продукции. В результате доля экспорта составила свыше 85 % от общего производства минеральных удобрений в 1996—2000 гг. Если учесть, что цена 1 т минеральных удобрений (в среднем для НРК на мировом рынке) сопоставима со стоимостью 1 т зерна, а окупаемость затрат на удобрения прибавкой урожая за рубежом достаточно высока (по данным ФАО средняя прибавка урожая на 1 кг питательных веществ составляет 7,3 кг зерна пшеницы, 8,8 кг — кукурузы и 5,5 кг — сои), то очевидна абсурдность сложившейся ситуации.



При характерной для России относительно низкой окупаемости единицы питательных веществ минеральных удобрений трех-, четырехкратной прибавкой урожая зерна их применение экономически выгодно только для зарубежных сельскохозяйственных производителей. Диспаритет же цен на внутреннем рынке страны привел к тому, что для компенсации затрат на применение единицы массы наиболее эффективных азотных удобрений — мочевины и аммиачной селитры — под озимую пшеницу ныне необходимо получать не менее чем 4—4,5-кратное количество зерна; в 1980 г. для этого достаточно было иметь окупаемость внесенного азота всего в 2,2 раза.

В последние годы ассортимент поставляемых на внутренний рынок минеральных удобрений значительно сузился.

Некоторая стабилизация (начиная с 1996 г.) потребления удобрений в России вселяет надежду на постепенное восстановление спроса и масштабов применения минеральных удобрений отечественными сельскохозяйственными производителями. Однако, по имеющимся экспертным оценкам, этот процесс займет не менее 8—10 лет. На 2005 г., согласно намечаемым программам развития сельского хозяйства, планируют рост применения минеральных удобрений до 5 млн т д. в. при нарастающей поддержке кредитования хозяйств на эти цели со стороны государства и производителей минеральных удобрений под будущий урожай на льготных условиях.

В то же время ученые ВИУА оценивают минимальный уровень потребности земледелия России в минеральных удобрениях в 7,1 млн т д. в., поддерживающий и перспективный — соответственно в 11,8 и 16,0 млн т в год. Оптимальная обеспеченность на 2010 г. оценивается в 26,0 млн т, в том числе азотных — 10,2, фосфорных и калийных соответственно 9,1 и 6,7 млн т д. в. при следующем научно-обоснованном ассортименте (см. табл. 38).

Крайне необходимо восстановление и укрепление материально-технической базы для правильного, эффективного и экологически безопасного применения нарастающего потока минеральных удобрений, развитие дилерской сети и сервисного агрохимического обслуживания хозяйств. К первоочередным задачам относятся строительство складов, возобновление производства и совершенствование специализированной техники для обеспечения всей технологической цепи на пути удобрений от завода до поля, тем более техники общего назначения для реализации оптимальных технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

### 5.2.1. АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

На многих почвах нашей страны, особенно в достаточно увлажненных районах на дерново-подзолистых, серых лесных и выщелоченных черноземах, а также при орошении на других почвах азотные удобрения имеют решающее значение в повышении урожая. Они обеспечивают до 50 % общей прибавки урожая, получаемой от полного минерального удобрения (NPK).

В России выпуск и применение азотных удобрений в среднем за 1986—1990 гг. составили соответственно 7,8 и 5,9 млн т (или около 50 кг азота в расчете на 1 га пашни). При этом большую их долю занимали более концентрированные твердые удобрения — мочевина и аммиачная селитра, а около 20 % произведенного азота применяли в составе комплексных удобрений. На другие разнообразные формы приходилось около 10 % выпускавшихся азотных удобрений (см. табл. 38).

Однокомпонентные азотные удобрения подразделяют на следующие группы:

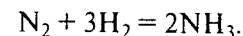
нитратные удобрения (соли азотной кислоты или селитры), содержащие азот в нитратной форме;

аммонийные и аммиачные удобрения (твердые и жидкие), содержащие азот соответственно в аммонийной и аммиачной формах; аммонийно-нитратные удобрения, в них азот находится в аммонийной и нитратной формах (аммиачная селитра);

удобрение, в которое азот входит в амидной форме (мочевина или карбамид);

водные растворы мочевины (карбамида) и аммиачной селитры, получившие название КАС (карбамид-аммиачная селитра).

Производство различных азотных удобрений основано главным образом на образовании синтетического аммиака из молекулярного азота и водорода. Азот получают пропусканием воздуха через генератор с горящим коксом, а источником водорода служат природный газ, нефтяные и коксовые газы. Из смеси  $N_2$  и  $H_2$  (в отношении 1 : 3) при высокой температуре и давлении в присутствии катализаторов получают аммиак:



Синтетический аммиак используют для производства не только мочевины, аммонийных солей и жидких аммиачных удобрений, но и азотной кислоты, которая идет для получения аммонийно-нитратных и нитратных, а также комплексных удобрений. Производство азотных удобрений является энергоемким и технологически сложным процессом.

Мощности по производству аммиака в России достигают свыше 15 млн т. Сейчас выпускают главным образом аммиачную селитру и мочевину, которую практически полностью экспортируют за рубеж. За счет реконструкции устаревших для производства этих удобрений агрегатов налажен и будет расширяться выпуск жидких азотных удобрений, в том числе КАС.

#### 5.2.1.1. НИТРАТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Нитратные удобрения — натриевая и кальциевая селитры — являются побочным продуктом основных химических производств и всегда составляли небольшую долю (менее 1 %) выпускаемых

азотных удобрений. Однако ознакомление с их свойствами и превращениями в почве интересно с точки зрения правильного понимания особенностей применения других азотных удобрений.

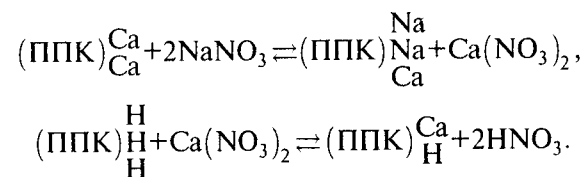
**Натриевая селитра** (нитрат натрия, азотнокислый натрий, чилийская селитра) —  $\text{NaNO}_3$ . Содержит не менее 16 % азота и 26 % натрия. Это мелкокристаллическая соль белого или желтовато-бурого цвета, хорошо растворимая в воде. Обладает слабой гигроскопичностью, но при хранении в неблагоприятных условиях может слеживаться. При правильном хранении не слеживается и сохраняет хорошую рассеваемость.

**Кальциевая селитра** (нитрат кальция, азотнокислый кальций) —  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Содержит не менее 13 % азота. Это кристаллическая соль белого цвета, хорошо растворимая в воде. Обладает высокой гигроскопичностью и даже при нормальных условиях хранения сильно отсыревает, расплывается и слеживается. Хранят и перевозят ее в специальной водонепроницаемой упаковке. Для уменьшения гигроскопичности кальциевую селитру гранулируют с применением гидрофобных покрытий, однако даже это полностью не устраняет неблагоприятные физические свойства удобрения.

Натриевая и кальциевая селитры — физиологически щелочные удобрения. Растения в большем количестве потребляют анионы, чем катионы  $\text{Na}^+$  или  $\text{Ca}^{2+}$ , которые, оставаясь в почве, сдвигают реакцию в сторону подщелачивания. Эти удобрения при систематическом применении на кислых почвах снижают почвенную кислотность.

Особенно хорошие результаты на кислых, бедных основаниями почвах дает кальциевая селитра. При ее внесении уменьшается кислотность и улучшаются физические свойства почвы, так как кальций коагулирует почвенные коллоиды.

В почве селитры быстро растворяются и вступают в обменные реакции с катионами ППК:



Катионы  $\text{Na}^+$  или  $\text{Ca}^{2+}$  поглощаются почвой, а анионы  $\text{NO}_3^-$  остаются в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность. Поэтому в условиях влажного климата или при обильном орошении, особенно на легких почвах, нитратный азот может вымываться, а также теряться в виде газообразных продуктов в ходе денитрификации.

Селитры не рекомендуют вносить осенью, их лучше заделывать весной под предпосевную обработку почвы. Очень хорошо ис-

пользовать эти удобрения в подкормки под озимые и пропашные культуры, а натриевую селитру — также в рядки при посеве сахарной свеклы, кормовых и столовых корнеплодов. Высокая эффективность натриевой селитры при внесении под корнеплоды вызвана ролью натрия. Он усиливает отток углеводов из листьев в корни, в результате повышаются урожай корнеплодов и содержание в них сахара. Нитратные формы азотных удобрений с успехом используют в овощеводстве защищенного грунта.

#### 5.2.1.2. АММОНИЙНЫЕ И АММИАЧНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Твердые аммонийные удобрения составляют около 4 % валового производства азотных удобрений. Доля производства жидких аммиачных удобрений постоянно возрастает.

К твердым аммонийным удобрениям относят сульфат аммония и хлористый аммоний.

**Сульфат аммония** (сернокислый аммоний) —  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Содержит 21 % азота. Кристаллическая соль, хорошо растворимая в воде. Гигроскопичность ее очень слабая, поэтому при нормальных условиях хранения слеживается мало и сохраняет хорошую рассеваемость.

Сульфат аммония можно получать улавливанием серной кислотой аммиака из газов, образующихся при коксовании каменного угля, или нейтрализацией синтетическим аммиаком отработанной серной кислоты различных химических производств. Небольшие количества сульфата аммония вырабатываются в качестве побочного продукта при сохранившемся производстве капролактама.

Синтетический сульфат аммония белого цвета, а коксохимический из-за органических примесей имеет серую, синеватую или красноватую окраску.

Содержит около 24 % серы и служит хорошим источником этого элемента для питания растений.

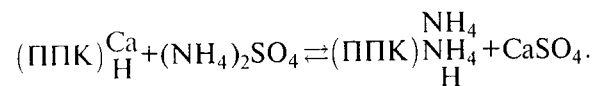
**Сульфат аммония-натрия** —  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ . Содержит 16—17 % азота и 8 % натрия. Его получают также при производстве капролактама. Кристаллическая соль белого, темно-серого или желтого цвета. Его используют так же, как и сульфат аммония, целесообразно вносить под сахарную свеклу и другие корнеплоды из-за содержания в нем натрия.

**Хлорид аммония** (хлористый аммоний) —  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Побочный продукт при производстве соды. Удобрение содержит 25 % азота. Из-за большого количества хлора (67 %)  $\text{NH}_4\text{Cl}$  малопригоден для культур, чувствительных к этому элементу (табак, цитрусовые, картофель и др.).

Сульфат аммония и хлористый аммоний — удобрения физиологически кислые, так как растения из этих солей быстрее и в

большем количестве потребляют катионы  $\text{NH}_4^+$ , чем анионы  $\text{SO}_4^{2-}$  (или  $\text{Cl}^-$ ). При однократном внесении умеренных доз этих удобрений заметного подкисления почвы не наблюдается, но при систематическом использовании на малобуферных почвах происходит значительное их подкисление.

После внесения в почву аммонийных удобрений они быстро растворяются в почвенной влаге и вступают в обменные реакции с катионами ППК:



Поглощенный аммоний хорошо доступен для растений. Подвижность его в почве и опасность вымывания в условиях обычного увлажнения уменьшаются. Аммонийные удобрения можно применять заблаговременно, с осени под вспашку.

В рядки или подкормку лучше вносить нитратные удобрения, аммонийные применяют преимущественно до посева в качестве основного удобрения. С течением времени различия в подвижности нитратных и аммонийных удобрений нивелируются, так как аммонийный азот постепенно подвергается нитрификации и переходит в нитратную форму.

Хлористый аммоний нитрифицируется медленнее, чем сульфат аммония, что связано с отрицательным влиянием хлора на деятельность нитрифицирующих бактерий. Это удобрение целесообразно применять под рис.

В результате нитрификации аммонийных удобрений образуются  $\text{HNO}_3$ , освобождается  $\text{H}_2\text{SO}_4$  или  $\text{HCl}$ . Эти кислоты подкисляют почвенный раствор и вытесняют основания из почвенного поглощающего комплекса. При систематическом применении аммонийных удобрений, особенно на малобуферных и слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах, повышается актуальная, обменная и гидролитическая кислотность, уменьшается степень насыщенности почвы основаниями, увеличивается содержание подвижных форм алюминия и марганца. В результате ухудшаются условия роста растений и снижается эффективность удобрений. Возрастает потребность в известковании.

На подкисляющее действие аммонийных удобрений особенно сильно реагируют культуры, чувствительные к почвенной кислотности: клевер, пшеница, ячмень, свекла, капуста. Для них аммонийные удобрения уже с первых лет применения менее эффективны, чем нитратные. Известкование устраняет отрицательное влияние аммонийных удобрений на свойства почвы. Хорошая заправка почвы навозом, повышая ее буферность, также снижает отрицательное действие этих удобрений на свойства почвы и имеет важное значение для более эффективного их применения.

К жидким аммиачным удобрениям относят безводный аммиак и аммиачную воду.

**Безводный аммиак** —  $\text{NH}_3$ . Содержит 82,2 % азота. Получают снижением газообразного аммиака под давлением. По внешнему виду бесцветная, подвижная жидкость, плотность при 20 °C 0,61, температура кипения 34 °C. При хранении в открытых сосудах быстро испаряется. Обладает высокой упругостью паров (при 10 °C 0,51 МПа и при 38 °C 1,37 МПа), поэтому его хранят и транспортируют в стальных баллонах или цистернах, выдерживающих высокое давление.

**Аммиачная вода** (водный аммиак) —  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Это водный 25- % и 22 %-ный раствор аммиака. Выпускается двух сортов — с содержанием азота 20,5 и 18 %. Бесцветная или желтоватая жидкость с резким запахом аммиака (нашатырного спирта). Упругость паров небольшая. Хранить и транспортировать можно в герметически закрывающихся резервуарах (цистернах, баках), рассчитанных на невысокое давление. В аммиачной воде азот находится в форме  $\text{NH}_3$  и  $\text{NH}_4\text{OH}$ , причем аммиака содержится больше, чем аммония. Этим обусловлена вероятность потерь азота за счет улетучивания  $\text{NH}_3$  при перевозке, хранении и внесении удобрения. Использовать ее в качестве удобрения проще и безопаснее, чем безводный аммиак. Однако это удобрение имеет существенный недостаток — содержит мало азота.

Преимущество жидких азотных удобрений заключается в том, что производство и применение их значительно дешевле, чем твердых. При производстве жидких аммиачных удобрений отпадает необходимость строительства цехов азотной кислоты, а также кристаллизации, упаривания, гранулирования, сушки. Это позволяет значительно снизить капиталовложения на строительство азотно-тукового завода равной (по азоту) мощности. Стоимость единицы азота в безводном и водном аммиаке примерно в 1,5—2 раза меньше, чем в аммиачной селитре. Кроме того, в 2—3 раза сокращаются затраты труда на внесение жидких удобрений. Это связано с тем, что исключаются все работы по подготовке удобрений к внесению (дробление, просеивание, засыпка в туковые сеялки и т. д.), а все операции по их использованию (погрузка, выгрузка, внесение в почву) полностью механизированы. При правильном применении жидкие азотные удобрения дают такие же прибавки урожая культур, как и равная доза азота в аммиачной селитре.

Однако обеспечение технологии транспортировки, хранения и внесения жидких аммиачных удобрений, особенно безводного аммиака, требуют больших капитальных затрат (на создание специальных транспортных средств, хранилищ и агрегатов для внутрипочвенного внесения с герметичными, а для безводного аммиака — рассчитанными на высокое давление емкостями). Кроме того, к работе с технологическим оборудованием по применению удобрений допускают только специально обученный персонал.

Жидкие аммиачные удобрения вносят специальными машинами, обеспечивающими немедленную заделку их на глубину не менее 10—12 см на тяжелых почвах и 14—18 см на легких. Поверхностное внесение этих удобрений недопустимо, так как аммиак быстро испаряется. При более мелкой заделке также возможны значительные его потери, особенно на легких песчаных и супесчаных почвах. Из влажной почвы потери аммиака значительно меньше, чем из сухой.

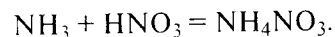
При внесении жидких аммиачных удобрений ион аммония (безводный аммиак превращается в газ и связывается почвенной влагой с образованием гидроксида аммония) обменно поглощается и поэтому слабо передвигается в почве. В первые дни после заделки удобрений почва подщелачивается, а затем по мере нитрификации аммиачного азота ее реакция сдвигается в сторону подкисления. При нитрификации азота удобрений возрастает его подвижность в почве. В зоне внесения безводного аммиака происходит временная стерилизация почвы и скорость нитрификации замедляется.

Жидкие аммиачные удобрения можно применять для основного (допосевного) внесения под все культуры не только под предпосевную культивацию, но и осенью под вспашку. Их можно использовать и для подкормки пропашных культур. В этом случае во избежание ожогов растений удобрения заделывают в середину междурядий или на расстоянии не менее 15 см от растений.

При работе с жидкими аммиачными удобрениями следует соблюдать правила техники безопасности, так как пары аммиака вызывают раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей, удушье и кашель. При осмотре и ремонте емкостей из-под этих удобрений необходимо соблюдать меры предосторожности, так как смесь аммиака с воздухом взрывоопасна.

### 5.2.1.3. АММОНИЙНО-НИТРАТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

**Аммиачная селитра** (азотнокислый аммоний, нитрат аммония) —  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Это основное поставляемое сельскому хозяйству одностороннее азотное удобрение, содержит 34 % азота. Получается нейтрализацией азотной кислоты аммиаком:



Удобрение выпускают в виде кристаллов белого цвета или гранул размером 1—3 мм, различной формы (сферической, в виде чешуек, пластинок). Негранулированная кристаллическая аммиачная селитра обладает высокой гигроскопичностью, при хранении слеживается, поэтому хранить ее следует в водонепроницаемых мешках в сухом помещении. Гранулированная селитра менее гиг-

роскопична, меньше слеживается, сохраняет хорошую рассеиваемость, особенно если в процессе ее получения в нее в небольших количествах вводят специальные кондиционирующие (гидрофобные) добавки.

Следует помнить, что аммиачная селитра пожаро- и взрывоопасна, при хранении в больших количествах способна к детонации. Поэтому при работе с ней соблюдают особые меры предосторожности; ее складывают в специально оборудованных помещениях, вдали от легковоспламеняющихся и взрывчатых веществ.

Аммиачная селитра — хорошо растворимое безбалластное высококонцентрированное универсальное удобрение. Ее можно применять под любые культуры и на всех почвах перед посевом, при посеве в рядки или лунки и в подкормку.

Одна половина азота в удобрении находится в нитратной, а другая — в аммонийной форме. Еще в начале XX в. Д. Н. Прянишников определил, что азотнокислый аммоний — физиологически кислая соль вследствие более интенсивного усвоения растениями аммонийного, чем нитратного, азота. В полевых условиях аммиачная селитра обладает явным, но более слабым по сравнению с сульфатом аммония подкисляющим действием на почву.

Однако дальнейшими работами Д. Н. Прянишникова и его учеников доказано, что аммонийный и нитратный азот при определенных условиях — равноценные источники питания для растений.

Преимущественное использование растениями аммонийного или нитратного азота зависит от ряда факторов, важнейшие из которых: биологические особенности культуры, обеспеченность ее углеводами, реакция среды, наличие кальция, калия и других элементов питания, в том числе микроэлементов.

При недостатке углеводов и, следовательно, органических кетокислот (особенно при прорастании семян, имеющих малый запас углеводов, например сахарной свеклы) избыточное поступление аммонийного азота в растения может оказывать отрицательное действие. В этом случае аммонийный азот не успевает использоваться на синтез аминокислот и накапливается в тканях, вызывая «аммиачное отравление» растений. Те растения, в посевном материале которых содержится много углеводов (например, крахмала у картофеля), быстро усваивают поступающий аммонийный азот и хорошо отзываются на внесение аммонийных удобрений.

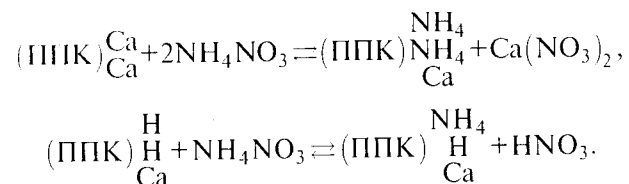
При нейтральной реакции аммонийный азот усваивается растениями лучше, а при кислой — хуже, чем нитратный. Повышенное содержание кальция, магния и калия создает более благоприятные условия для усвоения аммонийного азота, а при нитратном питании важное значение имеет достаточная обеспеченность фосфором и молибденом.

Недостаток молибдена тормозит восстановление нитратов и ог-

раничивает ассимиляцию нитратного азота растениями. В естественных условиях сравнительная ценность для растений нитратных и аммиачных (аммонийных) форм азотных удобрений в значительной степени определяется их превращениями в почве и ее свойствами.

Подкисляющее действие аммиачной селитры на почву — результат как проявления ее возможной физиологической кислотности, так и трансформации удобрения в почве.

При взаимодействии  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  с ППК катион  $\text{NH}_4^+$  поглощается почвой, а анион  $\text{NO}_3^-$  остается в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность:



На почвах, насыщенных основаниями, в растворе образуется селитра — кальциевая (или магниевая), и почвенный раствор не подкисляется даже при систематическом внесении высоких доз удобрения. Для этих почв аммиачная селитра — одна из лучших форм азотных удобрений.

На кислых дерново-подзолистых почвах, содержащих в поглощенном состоянии мало кальция и много ионов  $\text{H}^+$ , в почвенном растворе образуется  $\text{HNO}_3$ , поэтому он подкисляется. Подкисление носит временный характер, так как исчезает по мере потребления нитратного азота растениями. В первое же время, особенно при внесении большой дозы аммиачной селитры и неравномерном ее рассеивании, в почве могут создаваться очаги с высокой кислотностью.

При длительном применении аммиачной селитры на малобуферных дерново-подзолистых почвах подкисление может быть довольно сильным, в результате эффективность этого удобрения, особенно при внесении под культуры, чувствительные к повышенной кислотности, заметно снижается.

Для повышения эффективности  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на кислых почвах большое значение имеет их известкование (или нейтрализация кислотности самого удобрения известью или доломитом при соотношении 1 : 1).

На кислых дерново-подзолистых почвах более высокий эффект, особенно при систематическом применении, дает нейтрализованная, или *известково-аммиачная селитра* ( $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$ ). Ее получают сплавлением или смешиванием нитрата аммония с определенным количеством извести, мела или доломита. Извест-

ково-аммиачная селитра не подкисляет почву, значительно меньше слеживается при хранении и не взрывоопасна. Выпускаемое удобрение содержит 26 % (марка А) и 22 % (марка В) азота и соответственно 17 и 27 % карбоната кальция.

#### 5.2.1.4. МОЧЕВИНА

Мочевина (карбамид) —  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Содержит не менее 46 % азота. Получают синтезом из аммиака и диоксида углерода при высоких давлениях и температуре. Белый мелкокристаллический продукт, хорошо растворимый в воде. Гигроскопичность при температуре до 20 °С сравнительно небольшая. При хороших условиях хранения слеживается мало, сохраняет удовлетворительную рассыаемость. Особенно хорошими физическими свойствами обладает гранулированная мочевина.

Во время грануляции мочевины образуется биурет  $[(\text{CONH}_2)_2\text{NH}]$ , обладающий токсичным действием, однако содержание его в гранулированном удобрении не превышает 1 % и практически безвредно для растений при обычных способах применения.

В почве под влиянием уробактерий, выделяющих фермент уреазу, мочевина быстро (за 2—3 дня) аммонифицируется с образованием карбоната аммония:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ . В первые дни после внесения мочевины вследствие образования  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  (гидролитически щелочная соль) происходит временное местное подщелачивание почвы.  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  поглощается почвой и постепенно нитрифицируется [причем нитрификация его протекает быстрее, чем  $(\text{NH}_4)_2\text{NO}_4$ ], и временное подщелачивание почвы сменяется некоторым подкислением.

На малобуферных легких почвах смещение реакции почвенного раствора может быть особенно заметным. Для нейтрализации подкисляющего действия 1 ц мочевины требуется 0,83 ц  $\text{CaCO}_3$ .

Мочевина — одно из лучших азотных удобрений и по эффективности равноценна аммиачной селитре, а на рисе — сульфату аммония.

Ее можно применять как основное удобрение или в подкормку под все культуры и на различных почвах. При внесении в почву мочевины необходимо своевременно ее заделывать, так как при поверхностном размещении удобрения возможны потери азота вследствие улетучивания аммиака из углекислого аммония, легко разлагающегося на воздухе, особенно на карбонатных и щелочных почвах:  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 = \text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{NH}_3$ . Значительные потери в форме аммиака могут происходить при использовании мочевины в подкормку на лугах и пастбищах, поскольку дернина обладает высокой уреазной активностью. Мочевину с успехом можно применять для некорневой подкормки овощных и плодовых культур,

а также для поздних подкормок пшеницы для повышения содержания белка в зерне.

В отличие от других азотных удобрений мочевины даже в повышенной концентрации (> 5 %) не обжигает листья и вместе с тем хорошо усваивается растениями. Кроме того, мочевины применяют в животноводстве как азотную добавку к углеводистым кормам.

#### 5.2.1.5. КАС — ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ И МОЧЕВИНЫ

Смеси водных растворов карбамида и аммиачной селитры (КАС) с содержанием 28—32 % азота получили широкое распространение за рубежом и производятся в нашей стране.

Растворы КАС получают из плавлен карбамида и аммиачной селитры, производимых по традиционной технологии (себестоимость единицы азота в этом случае ниже, чем в твердых удобрениях, из-за исключения дорогостоящих и энергоемких операций доупаривания, гранулирования и кондиционирования), а также по еще более экономичной интегральной схеме — путем получения плава карбамида упрощенным способом и нейтрализации непрореагировавшего аммиака азотной кислотой. В качестве противокоррозионного агента в КАС вводят небольшие количества фосфатов.

В отличие от жидких аммиачных удобрений КАС практически не содержит свободного аммиака, его можно вносить с помощью высокопроизводительных агрегатов без одновременной заделки в почву, а также с поливной водой.

КАС с ингибитором коррозии можно перевозить в обычных железнодорожных цистернах и автоцистернах; особенно выгодна транспортировка КАС по трубопроводам и водным транспортом.

Низкая температура кристаллизации и замерзания (табл. 39) позволяет транспортировать и хранить КАС круглогодично, особенно в заглубленных в почву естественно утепленных хранилищах из бетона и асфальта с внутренним покрытием из пленки, армированного стекловолокна или мягкой стали.

#### 39. Состав и свойства растворов КАС

Показатель	КАС-28	КАС-30	КАС-32
Состав по массе, %:			
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	40,1	42,2	43,3
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	30,0	32,7	36,4
$\text{H}_2\text{O}$	29,9	25,1	20,3
Плотность при 15,6 °С, т/м <sup>3</sup>	1,283	1,303	1,327
Температура выпадения кристаллов, °С	-18	-10	-2

КАС имеют высокий удельный вес, что позволяет значительно сократить капитальные вложения в транспортировку и хранение.

Так, при равном объеме удобрений в КАС-32 содержится в 1,3 раза больше азота, чем в гранулированной мочевины, и в 1,5 раза больше, чем в аммиачной селитре.

При использовании КАС обеспечиваются высокая точность дозирования и равномерность внесения по всей площади. Для транспортировки и внесения КАС можно использовать ту же технику, что и для жидких комплексных удобрений, аммиачной воды и гербицидов. В условиях интенсивных и энергосберегающих технологий возделывания культур важное значение приобретает возможность введения в КАС микроэлементов и пестицидов.

Таким образом, использование КАС в сельском хозяйстве имеет несомненные преимущества перед твердыми удобрениями: обеспечивается полная механизация всех погрузочно-разгрузочных работ, резко уменьшаются потери, снижаются затраты на производство и применение, улучшаются условия труда, исключаются расход тары и слеживаемость, обеспечивается высокая равномерность внесения азота, упрощается приготовление необходимых тукосмесей, в том числе с добавкой микроэлементов и пестицидов.

КАС можно с успехом применять в зональных технологиях возделывания культур, особенно в крупных хозяйствах. Однако для использования КАС необходима высокопроизводительная техника для транспортировки и внесения этих удобрений, а также приготовленных на их основе жидких комплексных удобрений.

#### 5.2.1.6. БАЛАНС АЗОТА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ РОССИИ. ПУТИ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Расчеты валового баланса азота в земледелии нашей страны на основе только сопоставления выноса этого элемента с урожаями сельскохозяйственных культур и поступления в почву (с минеральными удобрениями, навозом и за счет биологического азота) свидетельствуют, что дефицит азота уменьшился с 49 % в 1960 г. до 15 % в 1980 г. В последующие 10 лет складывался практически бездефицитный баланс азота, а в отдельных регионах — положительный, с превышением поступления азота в почву над выносом с урожаями сельскохозяйственных культур более чем на 20 %.

Произошедшее затем снижение масштабов применения азотных минеральных удобрений и навоза, а также поступления биологического азота, наряду с увеличением выноса азота сорной растительностью и его потерь за счет усиления эрозионных процессов, привело к резкому увеличению дефицита азота в земледелии России. По данным ЦИНАО, приходные статьи баланса (включая не только азот удобрений и фиксированный из атмосферы бобовыми культурами и свободноживущими азотфиксирующими микроорганизмами, но и поступивший в почву с семенами и атмос-

ферными осадками) в 1996—1998 гг. в целом по России только на 60 % компенсировали суммарный вынос азота культурами и сорняками, потери его вследствие денитрификации, вымывания и эрозии почв. По регионам европейской части страны дефицит азота ниже, чем в среднем по стране, и составлял в Центральном 20 %, а в Поволжском и Северо-Кавказском — 30 % (Сычев, 2000).

При оценке реального, или активного, баланса азота в земледелии необходимо учитывать коэффициент использования растениями этого элемента из удобрений. Потребление азота сельскохозяйственными культурами в течение севооборота (согласно данным разностного метода, т. е. коэффициента, рассчитанного по разнице выноса азота с урожаем при внесении и без внесения азота) составляет около 70 % из азотных удобрений и 50—60 % из навоза и пожнивно-корневых остатков бобовых трав. Реальные коэффициенты использования растениями азота удобрений, определенные с применением стабильного изотопа азота  $^{15}\text{N}$ , на 20—30 % ниже, чем определяемые разностным методом. Это связано с усилением мобилизации почвенного азота при внесении азотных удобрений и лучшим его усвоением растениями. Для сохранения почвенного плодородия необходимо увеличить применение азотных удобрений при обязательном использовании всех резервов органических удобрений и источников биологического азота.

В современных условиях при решении проблемы азота в земледелии страны исключительно важная роль принадлежит биологическому азоту, фиксируемому бобовыми растениями в симбиозе с клубеньковыми бактериями, а также свободноживущими и ассоциативными почвенными микроорганизмами. Особое значение имеет симбиотическая азотфиксация многолетними бобовыми травами (клевер, люцерна), которые на 1 т сена накапливают в пожнивно-корневых остатках до 15 кг/га азота, используемого последующими культурами севооборота на 50—60 %. Не обделяют почву азотом и однолетние бобовые культуры, которые также являются хорошими предшественниками. Возделывание бобовых культур не только способствует лучшему обеспечению страны полноценным пищевым и кормовым белком, но и имеет важное значение в сохранении почвенного плодородия при дефиците органических и азотных минеральных удобрений, в повышении урожаев последующих культур севооборота, использующих после минерализации азот пожнивно-корневых остатков бобовых предшественников, особенно многолетних трав. При существующих структуре посевных площадей и продуктивности бобовых культур общие размеры фиксации ими азота атмосферы на пашне России составляют 2,5 млн т (Елагин, 1993). При этом 1/3 усвоенного азота остается в пожнивно-корневых остатках.

На кислых, бедных органическим веществом и питательными элементами почвах, в регионах с низкими температурами и в засушливых нельзя рассчитывать на высокую активность не только

симбиотической азотфиксации бобовыми, но и свободноживущими и ассоциативными азотфиксирующими микроорганизмами, связывающими даже в оптимальных для их жизнедеятельности условиях до 15—20 кг/га атмосферного азота. Их вклад в приходную статью баланса азота в земледелие России в сочетании с азотом семян и атмосферных осадков может быть сопоставим с количеством азота, теряющегося из почвы за счет эрозии и вымывания нитратов.

Самый действенный путь увеличения поступления биологического азота в почву — расширение посевов и повышение урожайности бобовых многолетних трав и зернобобовых, однолетних бобово-злаковых трав, увеличение доли бобовых в смешанных травостоях. Выращивание бобовых создает хороший агрофон для земледелия и позволяет экономить за счет биологического азота более дорогой азот минеральных удобрений.

Наблюдающееся в России при агрохимическом мониторинге истощение азотного фонда почв связано со снижением содержания в них органического вещества и уровня применения азотных минеральных удобрений. В отличие от фосфорных и калийных минеральных удобрений, азотные практически не обладают последствием. Подкисление почвы неизбежно приводит к ухудшению азотного питания растений вследствие снижения азотфиксации бобовыми культурами, свободноживущими азотфиксаторами и ассоциативной микрофлорой, торможения минерализации и последующей нитрификации почвенного азота, увеличения его потерь за счет «хемо-денитрификации».

Ограниченное поступление свежего органического вещества с навозом, корневыми и пожнивными растительными остатками негативно сказывается на ходе иммобилизационных процессов и гумусообразования. Снижение уровня обеспеченности почв подвижным фосфором и калием влечет увеличение затрат азотных удобрений на формирование единицы урожая сельскохозяйственных культур. Так, например, затраты азота удобрений на получение 1 т зерна озимой ржи на дерново-подзолистой почве возрастают с 25 кг при оптимальной обеспеченности почвы фосфором и калием до 58 кг при очень низком содержании подвижных их форм в почве. Для озимой пшеницы на почве с нейтральной реакцией расход азота удобрений возрос соответственно с 22 до 39 кг/т зерна, а на среднекислой почве — с 26 до 50 кг/т зерна (Шафран, 1995). Падение плодородия и уровня окультуренности почв ведет к снижению абсолютных прибавок урожая от применения удобрений и окупаемости единицы внесенного азота полученной продукцией.

Исследования с применением  $^{15}\text{N}$  показали, что в полевых условиях в год внесения растения используют лишь 30—50 % азота удобрений. Из наиболее распространенных азотных удобрений 25—45 % азота закрепляется в почве в органической форме, а 10—



30 % — безвозвратно теряется из почвы. Использование растениями азота различных удобрений, внесенных до посева, оказалось довольно близким, однако закрепление его в почве в органической форме больше из аммонийных удобрений и мочевины, чем из селитр, а потери — соответственно меньше.

Основной источник потерь азота удобрений на связных почвах — денитрификация. Наиболее интенсивно газообразные потери азота в ходе биологической и косвенной денитрификации происходят в первые 10—20 дней после внесения азотных удобрений и в условиях ограниченного биологического поглощения в почве. С увеличением доз азотных удобрений потери, как правило, возрастают.

Потери азота удобрений за счет вымывания нитратов на связных почвах обычно незначительны — не более 5 % (чаще 1—3 %) внесенного количества, а на легких хорошо дренированных почвах с промывным режимом увлажнения (при орошении и в периоды выпадения избыточного количества осадков) они могут достигать до 10—25 %). Потери вследствие улетучивания аммиака наблюдаются при нарушении технологии внесения аммиачных форм жидких азотных удобрений, а также при поверхностном внесении мочевины или несвоевременной заделке удобрений типа КАС на карбонатных, щелочных почвах.

Снижение потерь и повышение эффективности азота удобрений обеспечиваются при увеличении степени его усвоения сельскохозяйственными культурами за счет оптимизации режима и условий питания растений (применение оптимальных доз и форм азота, приближение срока внесения удобрений к периоду интенсивного потребления азота, сбалансированного питания другими макро- и микроэлементами, локализации азотных удобрений в почве и т. д.), а также агротехнических мероприятий и создания благоприятных водного режима и реакции почвы.

Под влиянием азотных удобрений, особенно в условиях достаточного увлажнения и на мелиорированных почвах, усиливается минерализация органического вещества и возрастают не только усвоение растениями почвенного азота, но и его потери. Потери азота удобрений и почвы могут быть снижены за счет усиления иммобилизации и (или) торможения минерализации органического вещества почв путем внесения органических удобрений, в том числе соломы, проведения агротехнических почвозащитных и природоохранных мероприятий, выращивания пожнивных и промежуточных культур, возделывания трав, использования зеленого удобрения и т. д.

При систематическом применении азотных удобрений (особенно в дозах, необходимых для получения высокой урожайности) возникает экологическая опасность, связанная с накоплением в растениях избыточных количеств нитратов (и нитритов), а также с загрязнением ими водоемов и источников питьевой воды вследствие

смыва, вертикальной миграции и подпочвенного стока. В связи с этим в России установлены регламенты доз азотных удобрений, соблюдение которых полностью исключает эти негативные явления.

Для снижения потерь азота и устранения опасности загрязнения нитратами растениеводческой продукции и окружающей среды разрабатывают новые формы азотных удобрений — медленно-растворимые, капсулированные с контролируемой скоростью высвобождения азота, модифицированные ингибиторами нитрификации. Последние препараты при внесении в почву в относительно небольших дозах вместе с аммонийными, аммиачными удобрениями и мочевиной тормозят нитрификацию в течение 1,5—2 мес и сохраняют минеральный азот почвы и удобрений в аммонийной форме. Подавляя нитрификацию азота удобрений, ингибиторы (как показали опыты с  $^{15}\text{N}$ ) снижают в 1,5—2 раза его потери в газообразной форме и вследствие вымывания нитратов. В результате значительно повышаются урожайность различных культур и эффективность азотных удобрений. Наиболее перспективно применение ингибиторов нитрификации с аммонийными удобрениями и мочевиной в районах орошаемого земледелия, особенно под рис, а также другие культуры в зоне достаточного увлажнения на легких почвах.

## 5.2.2. ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Значительная доля почв сельскохозяйственного назначения, в том числе пахотных земель, в России имеет низкую обеспеченность фосфором. Особенно бедны фосфором почвы легкого гранулометрического состава. Низкое содержание подвижного и, следовательно, доступного для растений фосфора характерно для кислых почв с высокой способностью к химическому поглощению его в труднодоступных формах. На черноземах и других почвах с повышенным содержанием гумуса фосфор является элементом питания, в первую очередь лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур.

В настоящее время более 30 млн га пахотных земель России имеют содержание подвижного фосфора ниже среднего. Особенно заметное падение запасов подвижных форм фосфора в почвах за последнее десятилетие отмечается в Дальневосточном, Восточно-Сибирском, Уральском и Северо-Кавказском экономических регионах России.

В отличие от азота никаких других источников восполнения запасов фосфора в почвах помимо частичного его возврата с навозом и применения фосфорсодержащих минеральных удобрений не существует.

Фосфорные удобрения в зависимости от растворимости и доступности фосфора для растений подразделяют на три группы:

содержащие фосфор в водорастворимой форме, — суперфосфат простой и двойной. Фосфор из этих удобрений легко доступен растениям;

фосфор которых не растворим в воде, но растворим в слабых кислотах (2 %-ной лимонной кислоте) или в щелочном растворе цитрата аммония, — преципитат, томасшлак, термофосфаты, обесфторенный фосфат. Фосфор в них находится в доступной растениям форме;

не растворимые в воде и плохо — в слабых кислотах, полностью растворимые только в сильных кислотах, — фосфоритная и костяная мука. Это более труднодоступные источники фосфора для растений.

Источник получения фосфорных удобрений — природные фосфорсодержащие агоруды (фосфориты и апатиты), а также богатые фосфором отходы металлургической промышленности (томасшлак, мартеновские шлаки). Основное значение имеют апатиты и фосфориты.

Фосфорные удобрения производят путем кислотной и термической переработки фосфатов, они содержат фосфор в виде солей ортофосфорной кислоты. Кроме того, некоторые сложные фосфорсодержащие удобрения получают на основе полифосфорных (суперфосфорных) кислот.

В бывш. СССР производство фосфорных удобрений за период с 1950 по 1985 г. возросло с 0,53 млн т до 7,61 млн т д. в., т. е. более чем в 14 раз. В ассортименте выпускаемых удобрений преобладал суперфосфат, постоянно возрастало производство двойного суперфосфата и фосфорсодержащих комплексных удобрений, подавляющая часть фосфорных удобрений поставлялась отечественному сельскому хозяйству. Среднегодовое производство фосфорных удобрений в России за 1986—1990 гг. составляло 4,7 млн т. Систематический рост применения фосфорных (и, в определенной мере, органических) удобрений обеспечивал увеличение и стабилизацию урожаев и способствовал повышению содержания подвижного фосфора в почвах. Так, к 1990 г. на европейской части территории Российской Федерации площади почв с низким содержанием подвижного фосфора по сравнению с 1970 г. сократились в среднетаежной, южно-таежной лесной и лесостепной зонах более чем в 3 раза, в степной — в 1,8 раза. В азиатской части страны из-за более низкого уровня применения фосфорных удобрений положительные сдвиги в обеспеченности почв были менее значительны.

В России функционирует половина (20) заводов по производству фосфорных удобрений, фосфорной кислоты и кормовых фосфатов мощностью 8,6 млн т в расчете на  $P_2O_5$ , или 57 % от существовавшей в бывш. СССР. Во избежание полной остановки производства большинство заводов переориентировано на экспортные поставки удобрений, доля их экспорта от общего объема производства увеличилась с 3,8 % в 1988 г. до 65 % в 1995 г.

В настоящее время Россия располагает единственным действующим источником фосфатного сырья для производства первоклассных фосфорных удобрений — Хибинским месторождением апатито-нефелиновых руд. Это уникальное, одно из крупнейших и богатейших месторождений в мире. Его суммарные разведанные

запасы составляют около 3,8 млрд т руды, из которых 1,5 млрд т являются государственным резервом. Промышленные запасы месторождения оцениваются в 1600 млн т руды с содержанием  $P_2O_5$  14 %. Основной продукцией ОАО «Апатит», осуществляющего добычу и переработку руд Хибинского месторождения, является апатитовый концентрат с содержанием  $P_2O_5$  39,4 %. Он широко известен в мире под названием «Кольский апатит». Годовой выпуск апатитового концентрата сейчас составляет менее 6 млн т (по сравнению с 20 млн т в 1988 г.).

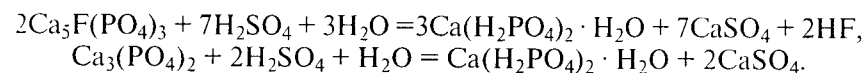
Резко повысившиеся цены на концентрат и высокие транспортные расходы сделали это сырье недоступным для отечественных производителей фосфорных удобрений. Особенно неблагоприятно сложилась ситуация для заводов, удаленных от источника сырья и потребителей при экспорте. Для отдельных заводов стоимость перевозки апатитового концентрата превысила стоимость самого товара. Остановились или работают в ограниченном режиме 19 химических заводов России, а подавляющая доля производимого апатитового концентрата уходит за границу. Экспортные возможности ОАО «Апатит» на ближайшие годы оцениваются в 3,0—3,5 млн т апатитового концентрата. Он отличается минимальным содержанием экологически нежелательных примесей (кадмия, ртути, урана и др.), что делает его особенно привлекательным в условиях ужесточения требований к экологической чистоте минеральных удобрений. Контролирующие отрасль финансово-промышленные объединения рассматривают увеличение экспорта как долгосрочную тенденцию и с восстановлением спроса на внутреннем рынке будут принимать решения о соответствующем увеличении объема производства фосфорных удобрений.

Не лучше положение с производством фосфоритной муки на основе месторождений фосфоритов в европейской части страны и Сибири. Предприятия ПО «Фосфаты» Московской области, Брянским фосфоритным заводом и Верхне-Камским фосфоритным рудником в Пермской области практически прекращен выпуск фосфоритной муки, а имеющиеся запасы готовой продукции не востребованы из-за низкой платежеспособности сельскохозяйственных производителей.

В 1996—2000 гг. в России применялось в среднем менее 3 кг/га д. в. фосфорных удобрений. На 2005 г. намечено увеличение льготных поставок фосфорных удобрений до уровня, который не покрывает потребности сельского хозяйства даже только для рядового внесения. В ассортименте поставляемых сейчас на внутренний рынок фосфорсодержащих удобрений преобладают комплексные — аммофосы и нитрофоски.

#### 5.1.2.1. СУПЕРФОСФАТ

**Суперфосфат простой.** Получают обработкой размолотого апатита серной кислотой. При действии серной кислоты на фосфатное сырье происходит разложение апатита или фосфорита с образованием водорастворимого однозамещенного фосфата кальция  $[Ca(H_2PO_4)_2]$  и гипса ( $CaSO_4$ ), не растворимого в воде.



Гипс остается в составе удобрения и занимает около 50 % его массы, фосфора в таком суперфосфате вдвое меньше, чем в исходном сырье. По этой причине низкопроцентные фосфориты не используют для изготовления суперфосфата. В России для получения этого удобрения применяют Кольский апатитовый концентрат.

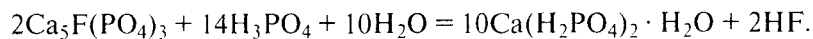
Простой суперфосфат из апатита содержит около 20 % усваиваемого фосфора  $P_2O_5$ . Большая часть фосфора в суперфосфате находится в виде монокальцийфосфата, 5—5,5 % массы удобрения содержится в виде свободной фосфорной кислоты. В суперфосфате находится небольшое количество дикальцийфосфата ( $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ ), а также трикальцийфосфата, фосфатов железа и алюминия. Суперфосфат оценивают по содержанию в нем усвояемого фосфора, т. е. растворимого в воде и цитратном растворе (аммиачный раствор цитрата аммония). Усвояемый фосфор в суперфосфате составляет 88—98 % общего содержания.

Суперфосфат выпускают в виде гранул размером 1—4 мм. Гранулированный суперфосфат обладает благоприятными физическими свойствами: не слеживается, сохраняет хорошую рассыпаемость. При гранулировании свободная фосфорная кислота нейтрализуется и суперфосфат высушивается, поэтому количество воды и свободной фосфорной кислоты снижается соответственно до 1—4 и 1—1,5 %.

При нейтрализации свободной кислотности суперфосфата аммиаком получают *аммонизированный суперфосфат* с содержанием азота около 1,5—3 %.

**Суперфосфат двойной.** В отличие от простого имеет высокое содержание усваиваемого фосфора ( $P_2O_5$ ) — 42—49 % и не содержит гипса. Фосфор находится в нем в виде водорастворимого монокальцийфосфата —  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$  и небольшого количества свободной фосфорной кислоты (2,5—5 %). Зарубежное удобрение такого состава называют тройным суперфосфатом.

При производстве двойного суперфосфата апатит (или фосфорит) обрабатывают серной кислотой. Ее берут больше, чем при производстве простого суперфосфата, для того чтобы получить не монокальцийфосфат, а фосфорную кислоту, которой затем обрабатывают новую порцию сырья и получают двойной суперфосфат —  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ .



Двойной суперфосфат выпускают в гранулированном виде. Химические и физические свойства, применение и эффективность его такие же, как и простого суперфосфата. Однако при удобрении культур, положительно реагирующих на гипс (клевер и другие бобовые), более сильное положительное действие оказывает простой суперфосфат.

Гранулированный суперфосфат из апатитового концентрата может выпускаться также с добавками микроэлементов бора, марганца, молибдена, меди и кобальта.

В почве фосфор суперфосфата вследствие химического взаимо-

действия с полутораоксидами железа и алюминия, карбонатами кальция и магния (или поглощенным кальцием) превращается в нерастворимые в воде фосфаты, менее доступные для растений, т. е. подвергается химическому поглощению, или ретроградации. На почвах, насыщенных основаниями (черноземы и особенно сероземы и другие карбонатные почвы) образуются слаборастворимые фосфаты кальция — отокальцийфосфат и др.

В кислых дерново-подзолистых почвах и красноземах, содержащих большое количество подвижных форм полутораоксидов, образуются фосфаты алюминия и железа, фосфор из которых слабо доступен для растений. Чем больше в почве содержится подвижных форм полутораоксидов, тем сильнее происходит химическое поглощение фосфора суперфосфата. В результате уменьшается использование фосфора растениями и снижается его эффективность.

Фосфор суперфосфата почти полностью закрепляется в месте его внесения и очень слабо передвигается в почве. При внесении суперфосфата до посева в качестве основного удобрения его следует заделывать под плуг, чтобы удобрение находилось в более глубоком и постоянно влажном слое почвы, где размещается основная масса деятельных корней растений. Особое значение глубокая заделка суперфосфата имеет в засушливых условиях.

При мелкой заделке суперфосфата основная масса удобрения оказывается в верхнем слое почвы, который быстро высыхает. Корни в этом слое отмирают, поэтому фосфор удобрения хуже используется растениями. Поверхностное внесение его в подкормку без заделки (под зерновые и другие культуры сплошного посева) малоэффективно.

Связывание фосфора суперфосфата в кислых почвах происходит сильнее при более полном контакте удобрения с почвой (разбросное внесение, мелкие размеры частиц), фосфор гранулированного суперфосфата меньше закрепляется почвой, чем порошководного. На нейтральных и карбонатных почвах фосфор удобрения лучше усваивается при более равномерном распределении в почве и гранулирование суперфосфата существенно не влияет на эффективность удобрения.

Закрепление фосфора суперфосфата, особенно гранулированного, в кислых почвах снижается при местном внесении его в рядки или гнезда при посеве, а также при ленточном внесении до посева. Поэтому и эффективность гранулированного суперфосфата на кислых почвах при одинаковых способах внесения (как при разбросном внесении до посева, так и при местном — в рядки или лунки при посеве) значительно выше, чем порошководного.

При рядковом внесении небольшие дозы суперфосфата дают такие же прибавки урожая, как и значительно большие дозы при разбросном допосевном внесении. Это обусловлено снижением химического связывания фосфора вследствие уменьшения площади соприкосновения удобрения с кислой почвой, а также тем, что удобрение размещается вблизи прорастающих семян и обеспечи-

васт питание растений легкодоступным фосфором с самого раннего периода роста.

В рядки при посеве зерновых, зернобобовых культур, льна и сахарной свеклы вносят 10—15 кг  $P_2O_5$  на 1 га в виде суперфосфата; в лунки при посадке картофеля и овощных культур — 15—30, при посеве кукурузы — 4—8 кг/га  $P_2O_5$ .

Коэффициент использования фосфора из суперфосфата в год его внесения при допосевном применении взброс под вспашку составляет 10—15 %, а при рядковом внесении возрастает в 1,5—2 раза. За 2—3 года коэффициент использования фосфора суперфосфата равен примерно 40 %.

Для получения высокого урожая сахарной свеклы, кукурузы, льна, картофеля, зерновых, овощных и других культур целесообразно сочетать внесение суперфосфата в основном удобрении до посева с внесением небольшой дозы его в рядки или лунки при посеве. При этом создаются хорошие условия питания растений фосфором как в первый период роста за счет рядкового удобрения, так и в последующие периоды за счет основного удобрения, внесенного под плуг. Однако на почвах с высоким содержанием подвижного фосфора или при внесении больших доз фосфорных удобрений до посева применение суперфосфата в рядки при посеве может не дать эффекта.

#### 5.2.2.2. ЦИТРАТНОРАСТВОРИМЫЕ ФОРМЫ

**Преципитат**  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$  — двухзамещенный фосфат кальция (дикальцийфосфат). Содержит 38 % фосфора ( $P_2O_5$ ). Получают преципитат путем кислотной переработки фосфатов при осаждении фосфорной кислоты известковым молоком или мелом, а также как продукт отхода при желатиновом производстве. Используют для минеральной подкормки скота и как удобрение.

Фосфор преципитата не растворим в воде, но растворяется в цитрате аммония и хорошо усваивается растениями. Удобрение обладает ценными физическими свойствами: не слеживается, сохраняет хорошую рассыаемость, может смешиваться с любым удобрением. Преципитат можно применять как основное удобрение под различные культуры на всех почвах. Его фосфор меньше, чем фосфор суперфосфата, закрепляется в почве, поэтому преципитат более эффективен на богатых полтораоксидами железа и алюминия кислых почвах и карбонатных черноземах. На других черноземах преципитат по эффективности близок к суперфосфату.

**Фосфатшлак мартеновский.** Побочный продукт переработки мартеновским способом богатых фосфором чугунов на сталь и железо. Содержит фосфор в основном в виде силикофосфатов и свободный оксид кальция. Состав может быть условно представлен как  $4CaO + P_2O_5 \cdot CaSiO_3$ .

Применяемый в качестве удобрений фосфатшлак должен содержать не менее 10 % растворимого в 2 %-ной лимонной кислоте фосфора ( $P_2O_5$ ) и иметь тонкий помол (80 % продукта должно проходить через сито с диаметром ячеек 0,18 мм). Его можно использовать как основное удобрение на всех почвах, но он наиболее эффективен, благодаря щелочным свойствам, на кислых дерново-подзолистых и серых лесных почвах. Фосфатшлак нельзя смешивать с аммонийными удобрениями во избежание потерь азота в форме аммиака.

**Томасшлак** —  $4CaO \cdot P_2O_5 + 4CaO \cdot P_2O_5 \cdot CaSiO_3$  обладает подобными свойствами. Побочный продукт при переработке богатых фосфором чугунов на сталь и железо по щелочному способу Томаса. В мировом производстве фосфорных удобрений занимает существенное место. Томасшлак, производимый из керченских руд, применяют в ограниченных количествах. В нем должно содержаться не менее 14 % растворимого в 2 %-ной лимонной кислоте фосфора ( $P_2O_5$ ).

**Термофосфаты** —  $Na_2O \cdot 3CaO \cdot P_2O_5 + SiO_2$ . Получают сплавлением или спеканием размолотого фосфорита или апатита с щелочными солями — содой или поташом, или природными магниевыми силикатами, а также с сульфатами калия, натрия и магния. При этом образуются усвояемые растениями кальциево-натриевые или кальциево-калиевые фосфаты, а также другие фосфаты и силикофосфаты.

Термофосфаты содержат 20—30 % лимоннорастворимого фосфора ( $P_2O_5$ ). По свойствам и эффективности они близки к томасшлаку. Могут применяться в качестве основного удобрения на всех почвах, но как щелочные удобрения эффективнее на кислых почвах.

**Плавленные магниевые фосфаты.** Получают при сплавлении фосфорита или апатита с силикатами магния. Они содержат 19—21 % усвояемого лимоннорастворимого фосфора ( $P_2O_5$ ) и 8—14 %  $MgO$ . Особенно эффективны на бедных магнием легких песчаных и супесчаных почвах.

Термофосфаты также применяют как основное удобрение. Их нельзя смешивать с аммонийными удобрениями.

**Обесфторенный фосфат.** Получают из апатита путем обработки водяным паром смеси апатита с небольшим количеством кремнезема (2—3 %  $SiO_2$ ) при температуре 1450—1550 °С. При этом разрушается кристаллическая решетка фторапатита и удаляется фтор в газообразной форме, а фосфор переходит в усвояемую (лимоннорастворимую) форму. Обесфторенный фосфат содержит не менее 36 %  $P_2O_5$ , растворимой в 0,4 %-ной  $HCl$ . Удобрение негигроскопично, не слеживается. Тонина помола такова, что 95 % продукта должно проходить через сито с диаметром ячеек 0,15 мм.

Обесфторенный фосфат, так же как и томасшлак, нельзя смешивать с аммонийными удобрениями. Его можно применять как основное удобрение на всех типах почв. На дерново-подзолистых и черноземных почвах по эффективности не уступает суперфосфату.

### 5.2.2.3. ФОСФОРИТНАЯ МУКА

Фосфоритную муку получают размолот фосфорита до состояния тонкой муки. Фосфор в ней содержится в виде соединений фторапатита, гидроксилапатита, карбонатапатита, т. е. находится в основном в форме трехзамещенного фосфата кальция —  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Эти соединения не растворимы в воде, слабых кислотах и слабодоступны для большинства растений.

Фосфоритная мука негигроскопична, не слеживается, может смешиваться с любым удобрением, кроме извести. Выпускается четыре сорта фосфоритной муки, общее содержание фосфора в расчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  в которых следующее: высший сорт — 30 %, I — 25, II сорт — 22, III — 19 %.

Для изготовления фосфоритной муки могут быть использованы низкопроцентные фосфориты, не пригодные для химической переработки в суперфосфат. Фосфоритная мука — самое дешевое фосфорное удобрение.

Эффективность фосфоритной муки зависит от состава фосфоритов, тонины помола, особенностей растений, свойств почвы и сопутствующих удобрений. Фосфориты желвакового типа, более молодые с точки зрения геологического возраста и не имеющие хорошо выраженного кристаллического строения, доступнее для растений. При их размолот получают муку, пригодную для непосредственного удобрения. Фосфориты более древнего происхождения, имеющие кристаллическое строение, труднодоступны и поэтому не пригодны для приготовления фосфоритной муки.

Эффективность фосфоритной муки увеличивается с повышением тонины помола. Чем тоньше частицы, тем больше их поверхность и соприкосновение с почвой и лучше происходит разложение фосфоритной муки под действием почвенной кислотности до усвояемых растениями соединений. Значение тонины помола для повышения эффективности фосфоритной муки особенно велико на почвах, имеющих недостаточную кислотность для разложения этого удобрения, на оподзоленных и выщелоченных черноземах. По стандарту не менее 80 % частиц должно проходить через сито с размером ячеек 0,18 мм.

Лишь немногие растения (люпин, горчица, гречиха и отчасти эспарцет, горох и конопля) могут усваивать фосфор фосфоритной муки при нейтральной реакции почвенного раствора, т. е. без предварительного разложения ее под действием почвенной кислотности. В лаборатории Д. Н. Прянишникова было установлено, что кислые выделения корней люпина сильно подкисляют почву, оказывая растворяющее действие на трехзамещенный фосфат и способствуя его переводу в усвояемую форму. Исследования Ф. В. Чирикова показали, что у растений, способных усваивать фосфорит, соотношение  $\text{CaO} : \text{P}_2\text{O}_5$  в золе больше 1,3, а у растений, не способных его усваивать, — меньше 1,3 %. Значительно

большее потребление растениями кальция по сравнению с фосфором приводит к обеднению питательной среды кальцием, в результате чего облегчается переход  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  в усвояемую форму.

Большинство растений — все злаки, лен, свекла, картофель — могут использовать фосфорит только при определенной кислотности почвы, достаточной для его разложения. Поэтому на почвах с нейтральной реакцией (обыкновенные, типичные и южные черноземы) применение фосфоритной муки малоэффективно. На кислых дерново-подзолистых и серых лесных почвах, красноземах и выщелоченных черноземах она может не уступать суперфосфату.

В разложении фосфоритной муки участвует не только активная, но и потенциальная кислотность. Под влиянием почвенной кислотности фосфоритная мука превращается в усвояемый растениями  $\text{CaHPO}_4$ . Исследования показали, что на почвах, имеющих гидролитическую кислотность менее 2—2,5 мг экв/100 г, разложение фосфоритной муки происходит слабо и эффективность ее очень низкая. Чем больше гидролитическая кислотность, тем выше эффективность фосфоритной муки. Однако действие ее зависит не только от величины кислотности почвы, но и от емкости поглощения и степени насыщенности основаниями. При одной и той же гидролитической кислотности действие фосфоритной муки тем выше, чем меньше емкость обменного поглощения катионов почвы (рис. 11).

Дозу фосфоритной муки устанавливают также в зависимости от кислотности почвы. На сильно- и среднекислых почвах (рН 5 и менее) можно вносить ту же дозу фосфоритной муки, что и суперфосфата, а на слабокислых — двойную и даже тройную. На производственных почвах эффективность ее снижается.

Фосфоритную муку применяют как основное удобрение, вносить ее лучше заблаговременно, с осени, обязательно с глубокой заделкой под плуг. Наиболее эффективно внесение ее вместе с навозом в пару под озимые культуры, а также под пропашные — сахарную свеклу, картофель, кукурузу и др. Положительное действие фосфоритной муки продолжается несколько лет. Чем больше доза этого удобрения, тем эффективнее и продолжительнее его действие.

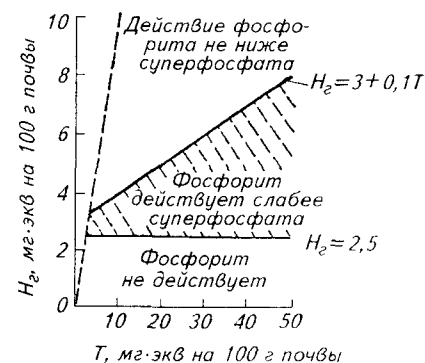


Рис. 11. Схема зависимости действия фосфоритной муки от гидролитической кислотности ( $H_2$ ) и емкости обменного поглощения катионов ( $T$ )

Для увеличения содержания подвижного фосфора в кислых почвах применяют *фосфоритование* — внесение высоких доз фосфоритной муки. При этом одновременно достигают некоторого снижения кислотности почвы. Фосфоритование кислых почв — один из основных технологических элементов работ по комплексному агрохимическому окультуриванию полей (КАХОП).

Оптимальное содержание подвижных форм фосфора в дерново-подзолистых и серых лесных почвах при выращивании культур в полевых зерноотрубных севооборотах составляет около 200 мг  $P_2O_5$ /кг почвы, в зернопропашных — 250, в овощных — 300 мг/кг. На выщелоченных черноземах под полевыми, зернопаровыми и зернопропашными севооборотами фосфатный уровень целесообразно доводить до 150—200 мг  $P_2O_5$ /кг почвы, а в кормовых и овощных севооборотах — до 200—300 мг/кг.

Для повышения содержания  $P_2O_5$  на 10 мг/кг почвы в пахотном горизонте (в интервале 50—300 мг/кг) необходимо вносить в виде фосфоритной муки следующее количество  $P_2O_5$  (кг/га): на дерново-подзолистых почвах в зависимости от гранулометрического состава — 60—120, на серых лесных — 70—140, на оподзоленных и выщелоченных черноземах — 90—120.

#### 5.2.2.4. БАЛАНС ФОСФОРА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ РОССИИ. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

подавляющая часть почв сельскохозяйственного использования в нашей стране отличается недостаточным содержанием подвижного фосфора. Много пахотных почв с низкой обеспеченностью фосфором в Сибири, на Дальнем Востоке, Урале и Северном Кавказе. Низким содержанием подвижного фосфора характеризуются кислые почвы Нечерноземья. Потребность в фосфорных удобрениях возрастает в условиях достаточной обеспеченности азотом. На хорошо гумусированных почвах недостаток фосфора — нередко основной фактор, ограничивающий рост урожайности и не позволяющий получить полную отдачу от других видов удобрений. Фосфорные удобрения не только повышают урожай, но и влияют на качество продукции (повышают содержание белка в зерне, сахаристость корнеплодов сахарной свеклы, крахмалистость клубней картофеля), способствуют увеличению доли бобовых компонентов в травостоях и содержания белка в сене и пастбищном корме и т. д.

Усиление фосфорного питания способствует повышению зимостойкости растений, ускоряет их развитие и созревание. Так, под влиянием фосфорных удобрений сроки созревания зерновых культур сокращаются на 5—6 дней, что особенно важно для районов с непродолжительным периодом вегетации растений. Фосфорные удобрения ограничивают отрицательное действие засухи

на растения, снижают коэффициент водопотребления. При оптимальном фосфорном питании растения лучше укореняются, у них развивается более мощная корневая система, что также повышает их морозо- и засухоустойчивость.

Применение фосфорных удобрений — единственный путь пополнения запасов фосфора в почве и обеспечения бездефицитного баланса этого элемента в хозяйстве. Напомним, что основная часть потребленного растениями фосфора отчуждается из хозяйства с товарной продукцией и лишь частично возвращается в почву с пожнивными остатками и в составе местных органических удобрений.

Фосфор водорастворимых форм удобрений сильно закрепляется почвами и имеет низкий коэффициент использования растениями. Из суперфосфата в год внесения растениями используется в среднем 15—20 % фосфора. При внесении удобрения локально — в рядки при посеве и посадке культур — коэффициент усвоения фосфора растениями возрастает в 1,3—1,5 раза. За ротацию севооборота (7—9 лет) использование фосфора удобрения составляет 40—50 %, остальное количество внесенного фосфора связывается в усвояемых и в труднодоступных для растений формах. Из органических удобрений в год внесения усваивается 25—30 %, а за 7—9 лет — до 50 % содержащегося в них фосфора. Следовательно, для получения планируемой прибавки урожая необходимо вносить не менее чем в 2 раза больше фосфора с удобрениями, чем выносятся его с желаемой прибавкой урожая.

На слабоокультуренных почвах внесение фосфора в почву должно превышать его вынос с урожаем сельскохозяйственных культур в 1,5—2,0 раза, а на хорошо обеспеченных фосфором почвах достаточно компенсировать его вынос с урожаем. В отличие от азота фосфор практически не вымывается из почвы, не существует также газообразных потерь этого элемента. Остаточные количества фосфора удобрения пополняют запас его в почве, а также частично могут использоваться растениями и действуют постепенно на протяжении многих лет. Убыль фосфора в земледелии связана не только с выносом его урожаями, сорной растительностью, а также и эрозийными процессами. Поступление его в почву происходит с минеральными и органическими удобрениями, а также с семенами.

Для получения высоких и стабильных урожаев, сохранения и повышения плодородия почв интенсивность баланса фосфора (т. е. степень превышения приходной его части над расходной, выраженная в процентах) должна составлять для лесостепной зоны 150—200 %, а степной — 200—250 %. Фактическая интенсивность баланса фосфора в земледелии на территории европейской части страны и в целом по России приведена в таблице 40.

40. Динамика интенсивности баланса фосфора в земледелии на европейской части страны и в целом по России, % (по данным ЦИНАО; Сычев, 2000)

Регион	1971— 1975 гг.	1976— 1980 гг.	1981— 1985 гг.	1986— 1990 гг.	1996— 1998 гг.
Северный	340	550	490	640	220
Северо-Западный	440	680	640	640	140
Центральный	260	400	430	430	80
Центрально-Черноземный	110	150	190	260	70
Поволжский	70	90	120	210	60
Северо-Кавказский	110	140	150	250	50
Российская Федерация	130	170	210	290	20

Систематическое применение возрастающих доз фосфорных удобрений в России с начала интенсивной химизации до 1990 г. не только устранило отрицательное действие недостатка фосфора на урожайность сельскохозяйственных культур, но и обеспечило снижение на 40 % доли пахотных почв с низким содержанием подвижного фосфора. В то же время на значительных площадях пашни, особенно в Нечерноземной зоне, продолжали вносить высокие дозы фосфорных удобрений там, где содержание подвижного фосфора уже превысило оптимальный уровень и наблюдалось зафосфачивание почв. При повышении содержания подвижного фосфора в почвах выше оптимального уровня отдача от вновь применявшихся удобрений снижалась, но создавался определенный запас фосфора для увеличения продуктивности растений в последующий период.

В условиях, когда поставка минеральных удобрений и внесение местных органических удобрений резко сократились, применение фосфорных удобрений не покрывает даже вынос фосфора с урожаями сельскохозяйственных культур, сорной растительностью и потери его за счет эрозии почв. В этих обстоятельствах огромную роль играют правильное прогнозирование потребности и строго дифференцированное применение фосфорных удобрений с учетом фактической их эффективности и результатов агрохимического обследования почв. Институты агрохимического профиля и агрохимическая служба научно обосновывают и устанавливают оптимальные уровни содержания подвижных фосфатов в почвах, а также дозы удобрений, разрабатывают технологии их рационального, экономически эффективного и экологически безопасного применения в зональных системах земледелия. При остром дефиците удобрений должны обеспечиваться высокая окупаемость каждого килограмма их действующего вещества получаемой продукцией, наиболее полное использование питательных веществ растениями.

С этих позиций самый экономный и высокоэффективный прием использования водорастворимых фосфорных удобрений — рядковое (локальное) их внесение при посеве и посадке сельскохозяйственных культур. Для этого обычно применяют суперфос-

фат, а при более высоком содержании подвижного фосфора в почве лучше использовать аммофос и другие комплексные удобрения. При локальном способе внесения снижается химическое связывание фосфора и он приближается к корневой системе растений, что обеспечивает повышение коэффициента использования фосфора удобрения на 5—8 % и увеличение урожая по сравнению с разбросным внесением. Внедрение локального ленточного способа внесения фосфорных водорастворимых удобрений до посева сдерживает нехватка специальных машин.

В засушливых условиях особое значение имеет глубокая заделка основного фосфорного удобрения.

Важный резерв повышения эффективности водорастворимых фосфорных удобрений на кислых почвах — известкование.

Рациональное размещение фосфорных удобрений в севообороте обеспечивает лучшее использование фосфора. Усвоение его растениями, эффективность удобрений и остаточных фосфатов в почве возрастают при сбалансированном снабжении другими элементами питания, в том числе микроэлементами. В свою очередь, оптимальное снабжение фосфором повышает эффективность других удобрений.

Трудности в восстановлении и наращивании производства промышленных фосфорных удобрений, наличие огромных площадей бедных фосфором почв, недостаточный уровень поставок и применения удобрений в стране придают особую важность решению проблемы фосфора в земледелии. Очевидна необходимость наиболее рационального использования имеющихся ресурсов фосфорных удобрений, совершенствования их ассортимента. Помимо аммофоса, необходимо увеличить поставки суперфосфата для рядкового и основного внесения, а также сухого тукоsmешения. Предстоит расширить ассортимент содержащих фосфор комплексных, твердых и жидких удобрений. Отечественной промышленностью была освоена технология получения высококонцентрированных удобрений на основе суперфосфорной кислоты (содержит около 75 %  $P_2O_5$ ), которые на карбонатных почвах эффективнее стандартных форм.

Целесообразно использование в нашей стране фосфорных удобрений на основе неполной кислотной переработки фосфатов. К ним относится уже намечавшийся к производству суперфос с содержанием 37—38 %  $P_2O_5$ , в том числе около 60 % в водорастворимой форме. Производство этого удобрения позволит не только сэкономить серную кислоту, получать удобрение с хорошими физико-механическими свойствами, по эффективности близкое к суперфосфату, но и использовать фосфориты, малоприспособные для непосредственного получения фосфоритной муки.

В современных условиях важное значение имеют агрохимическая и экологическая оценки, а также организация производства фосфоритной муки на основе местных, малоприспособных для про-



мысленной переработки, фосфоритов (их в России более 200). Местная фосфоритная мука значительно дешевле, транспортные расходы на ее доставку ниже, а по эффективности она может не уступать промышленному удобрению. При отсутствии агроэкологических противопоказаний местную фосфоритную муку можно использовать непосредственно для внесения в кислые почвы и для компостирования с навозом и другими органическими удобрениями. Разработку и размол местных агоруд можно осуществить в короткие сроки с минимальными затратами за счет организации мелких предприятий, как это сделано в Татарстане и Хакасии на базе фосфоритов Сюндюковского и Обладжанского месторождений.

### 5.2.3. КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

В повышении урожаев сельскохозяйственных культур и улучшении качества получаемой продукции наряду с азотными и фосфорными удобрениями важная роль принадлежит минеральным калийным удобрениям. Их применение наиболее эффективно на почвах легкого гранулометрического состава и на торфянистых почвах с низким содержанием калия. На других почвах с высокими валовыми запасами калия надобность в калийных удобрениях возникает при возделывании потребляющих большое количество калия культур — корне- и клубнеплодов, силосных и овощных, подсолнечника и других, особенно при низком уровне применения навоза и иных органических удобрений.

Эффективность калийных удобрений всегда выше при достаточной обеспеченности растений другими основными элементами питания. В этом случае более четко проявляется также положительная роль калия в повышении устойчивости растений к неблагоприятным погодным условиям, к поражению болезнями и повреждению вредителями.

Для производства калийных удобрений используют природные месторождения калийных солей. На территории России находится крупнейшее месторождение хлористых калийных солей — Верхнекамское (Соликамское — Березняки).

В 1986—1990 гг. среднегодовой выпуск калийных удобрений в России составлял 4,5 млн т д. в. (в расчете на  $K_2O$ ), в 1993—1996 гг. он сократился до 2,5—2,7 млн т, а затем стабилизировался на уровне 3,5—4,0 млн т. Загрузка производственных мощностей объединений «Уралкалий» и «Сильвинит», работающих на базе Верхнекамского месторождения, составляет в настоящее время менее 50 %, значительная доля продукции поставляется в СНГ и в другие страны мира. Предприятия выпускают гранулированные и непыляющие формы хлористого калия. Освоен выпуск хлористого калия с различными микродобавками (цинк, медь, бор), калийной

селитры, а также сложного калийно-магниевого удобрения и аммониевой калимагнезии. Хлористый калий используют в качестве составной части для производства целого ряда комплексных минеральных удобрений, а гранулированный хлористый калий — для смешанных, содержащих все три основных элемента питания.

Необходимо отметить, что выпускаемый хлористый калий находит применение в текстильной, стекольной, мыловаренной, фармацевтической, целлюлозно-бумажной, кожевенной и других отраслях промышленности, а также в металлургии, пиротехнике и фотографии.

#### 5.2.3.1. ПРОМЫШЛЕННЫЕ КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

**Хлористый калий** (хлорид калия),  $KCl$ . Высококонцентрированное водорастворимое удобрение, содержащее не менее 60 % д. в. (в расчете на  $K_2O$ ). Его получают из сильвинитовой руды Верхнекамского месторождения, добываемой подземным способом с глубины 100—200 м. Мощность основного сильвинитового горизонта от 7 до 40 м. Добыча руды фактически полностью механизирована. Используются высокопроизводительные комбайны в комплексе с бункерами-перегрузчиками и самоходными вагонами, а затем транспортные конвейеры и подъемники. На обогатительных фабриках для получения хлористого калия из сильвинита ( $nKCl \cdot mNaCl$ , содержит 17—40 %  $KCl$  и 60—80 %  $NaCl$ ) используют в основном флотационный способ отделения  $KCl$  из размолотой породы. Для отделения  $KCl$  от  $NaCl$  к пульпе из размолотого сильвинита добавляют поверхностно-активные вещества (флотореагенты), которые адсорбируются только на поверхности зерен  $KCl$ . При интенсивной продувке кристаллы его всплывают, а кристаллы  $NaCl$  оседают. Флотационный хлористый калий имеет вид крупных естественных кристаллов розового цвета. Реагенты, удержанные поверхностью кристалла  $KCl$ , резко уменьшают гигроскопичность и слеживаемость удобрения. Конечный продукт содержит 95 %  $KCl$ .

Продолжают использовать и старые, более энергоемкие, системы получения галургического хлористого калия путем обработки руды горячим щелоком с последующим разделением солей благодаря различной растворимости от температуры. Получаемый белый мелкокристаллический продукт, содержащий 95 %  $KCl$ , при хранении сильно слеживается.

Грануляция флотационного и галургического кристаллического продукта улучшает физические свойства удобрения.

Гранулированный хлористый калий выпускается с массой долей фракции 1—4 мм 95 %; 90 и 70 %. Спрессованные гранулы имеют хорошую динамическую прочность (массовая доля неразрушенных гранул не менее 80 %) и 100%-ную рассыпчатость. Гра-

нулы неправильной формы имеют красно-бурый цвет различных оттенков (до розоватого).

Негранулированный хлористый калий (так называемый мелкий) представляет собой мелкие кристаллы серовато-белого цвета или их смесь с мелкими зернами различных оттенков красно-бурого цвета (ненасыщенный хлористый калий с пылкостью не более 0,2 г/кг).

Мелкий хлористый калий используют, как правило, в производстве комплексных удобрений — азофосок, нитрофосок и диаммофосок, а также при производстве удобрений, относящихся к товарам народного потребления.

Гранулированный хлористый калий пригоден для сухого смешивания и используется для изготовления смешанных и сложно-смешанных комплексных удобрений.

Хлористый калий — основное промышленное калийное удобрение в России, доля других, в том числе бесхлорных форм, незначительна.

**Хлоркалий-электролит.** Продукт, получаемый при производстве магнезия из соликамского карналлита, содержит от 32 до 45 %  $K_2O$  в форме  $KCl$ , кроме того, около 30 %  $NaCl$  и 2—3 %  $MgCl_2$  (16 %  $Na_2O$  и 0,2 %  $MgO$ ). В качестве основного удобрения его можно применять при внесении с осени под все культуры. На Березниковском комбинате освоено производство гранулированного калий-электролита (42 % д. в.), обогащенного магнием (6—7 %  $Mg$  в пересчете на  $MgO$ ). Это относительно дешевое удобрение, эффективное для применения под менее чувствительные к хлору, но положительно отзывающиеся на магний и натрий культуры, особенно выращиваемые на легких почвах.

**Калимагнезия**,  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$ . Содержит 28—30 %  $K_2O$  и 8—10 %  $MgO$ .

**Калимаг** (калийно-магнезиальный концентрат),  $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ . Содержит 17,5—19,5 %  $K_2O$  и столько же магнезия, сколько калимагнезия. На Соликамском магниевом заводе при переработке карналлита освоено производство калимага хлористого гранулированного с содержанием 45—65 %  $KCl$  и 4,5—15,0 %  $MgCl_2$ . Это хорошее удобрение для культур, потребляющих наряду с калием много магния (картофель, лен, клевер), особенно на бедных калием и магнием песчаных и супесчаных почвах.

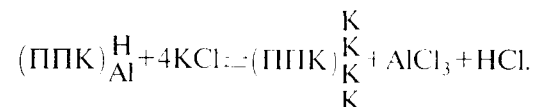
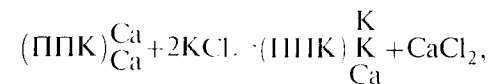
**Сульфат калия** (сернокислый калий),  $K_2SO_4$ . Содержит не менее 46 %  $K_2O$  и не более 2 % влаги. Это мелкокристаллическая соль сероватого цвета, растворимая в воде.

Небольшие количества сульфата калия по разным сложным и энергоемким технологиям выпускают в ОАО «Уралкалий» (с 50 %  $K_2O$ ), а также на глиноземных заводах при переработке нефелиновых и других горных пород.

Сульфат калия имеет хорошие физические свойства, негигроскопичен, не слеживается. Его можно применять на любых почвах

и под все культуры, но особенно под чувствительные к хлору культуры (табак, виноград, цитрусовые, лен, картофель и др.). Однако, производство сульфата калия дорогое, поэтому он занимает незначительный удельный вес среди калийных удобрений.

Все калийные промышленные удобрения хорошо растворимы в воде. При внесении в почву они быстро растворяются и вступают во взаимодействие с почвенным поглощающим комплексом.



Калий и другие катионы ( $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ), входящие в состав калийных удобрений, поглощаются коллоидной частью почвы, а хлор остается в почвенном растворе и легко вымывается. В результате перехода калия в поглощенное состояние снижается его подвижность в почве и предотвращается вымывание, за исключением песчаных и супесчаных почв с малой емкостью поглощения. Обменно-поглощенный почвой калий удобрений хорошо доступен растениям. Коэффициент использования калия из минеральных удобрений составляет 60—70 %.

На почвах среднего и тяжелого гранулометрического составов калийные удобрения необходимо вносить с осени под зяблевую обработку. Их размещают в более влажном слое почвы, где развивается основная масса деятельных корней, поэтому калий лучше усваивается растениями.

На легких почвах с низкой емкостью поглощения катионов, особенно в районах с большим количеством осадков, где возможно вымывание калия, калийные удобрения целесообразно вносить весной под предпосевную обработку почвы.

Все калийные удобрения — физиологические кислые соли. Однако физиологическая кислотность у них меньше, чем у аммонийных удобрений, и проявляется она более заметно только при длительном применении этих удобрений под культуры, потребляющие большое количество калия, — подсолнечник, гречиху, корнеплоды, картофель, овощные. Катионы  $K^+$  и  $Na^+$ , содержащиеся в калийных удобрениях, поглощаясь почвой, вытесняют из нее эквивалентное количество катионов  $Ca^{2+}$  или  $H^+$  и  $Al^{3+}$  (на кислых почвах). Вытеснение ионов  $H^+$  и  $Al^{3+}$  из почвы приводит к подкислению почвенного раствора и увеличению содержания в нем алюминия.

В более резкой форме подкисление наблюдается только при систематическом внесении высоких доз калийных удобрений,

особенно низкопроцентных калийных солей, на не насыщенных основаниями почвах. Для предотвращения отрицательного влияния калийных удобрений на эти почвы необходимо проводить известкование и вносить содержащие кальций азотные и фосфорные удобрения. На почвах, насыщенных основаниями (черноземах и сероземах), отрицательного действия калийных удобрений на физические свойства и реакцию почвы не наблюдается.

### 5.2.3.2. МЕСТНЫЕ КАЛИЙСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Определенный вклад в устранение дефицита калия в земледелии страны может внести использование непромышленных калийсодержащих удобрительных материалов — сырых калийных солей (прежде всего сильвинита Соликамского месторождения и недавно открытого в Сибири Непского калиеносного бассейна), широко распространенных кварц-глауконитовых песков, а также отходов алюминиевой и цементной продукции, растительной золы (особенно подсолнечника). Однако использование этих местных источников калия может иметь экономические, экологические и организационные ограничения. Часто в районах, где имеются залежи калийсодержащих материалов, они действуют слабо, а дальние их перевозки нерентабельны. Ниже приводится краткая характеристика наиболее употребляемых местных калийсодержащих материалов.

**Сырые калийные соли.** Получают размолом природных калийных солей. Характеризуются низким содержанием калия и большим количеством примесей, что значительно увеличивает расходы на транспортировку и внесение. Поэтому применять сырые калийные соли целесообразно лишь вблизи месторождений калийных руд. Из сырых калийных солей в России наиболее распространен сильвинит. Он содержит большое количество хлора (более 4 кг на 1 кг  $K_2O$ ), что также ограничивает его применение.

**Сильвинит**,  $KCl + NaCl$ . Содержит 12—15 %  $K_2O$  и 35—40 %  $Na_2O$ . Выпускается в грубом размоле (размер кристаллов 1—5 мм и более). Представляет смесь крупных кристаллов белого, розового, бурого и синего цвета. Обладает незначительной гигроскопичностью, но при хранении во влажном помещении отсыревает, а при подсушивании слеживается.

Сильвинит целесообразно применять только в качестве основного удобрения и вносить с осени под зяблевую вспашку. При этом значительная часть хлора вымывается в нижние слои почвы, а калий поглощается почвой.

Содержание большого количества натрия ( $Na_2O$ ) в сильвините (2,5 кг на 1 кг  $K_2O$ ) полезно для свеклы, кормовых и столовых корнеплодов, некоторых других овощных культур.

**Цементная пыль.** Содержит от 14 до 35 %  $K_2O$  в форме карбонатов, бикарбонатов и сульфата калия. По эффективности при применении под чувствительные к избытку хлора культуры (картофель, лен, гречиха) не уступает сульфату калия. Неблагоприятные физические свойства (пылит и гигроскопична) можно устранить путем грануляции.

**Нефелиновые хвосты.** Это тонкоизмельченный нефелин, отход производства апатитового концентрата из Кольских апатитов. Содержит 5—6 %  $K_2O$  и другие основания (10—13 %  $Na_2O$  и 8—10 %  $CaO$ ). Низкое содержание калия в нефелине исключает его перевозку на дальние расстояния. Применение нефелиновых хвостов эффективно на распространенных в зоне месторождения кислых торфяных почвах.

**Растительная зола.** Получают при сжигании дров или соломы. Содержит калий, фосфор, калий и ряд микроэлементов и является ценным калийно-фосфорным и известковым удобрением (табл. 41).

41. Содержание (%) калия, фосфора и кальция в золе

Зола	$K_2O$	$P_2O_5$	$CaO$
Лиственных пород	10,0	3,5	30,0
Хвойных пород	6,0	2,5	35,0
Соломы:			
ржаной	16,2	4,7	8,5
гречишной	35,3	2,5	18,5
Подсолнечника	36,3	2,5	18,5
Навоза, кизяка	11,0	5,0	9,0
Горфа	1,0	1,2	20,0
Каменного угля	2,0	1,0	—

Калий в золе содержится в виде карбоната калия ( $K_2CO_3$ ), хорошо растворимого в воде. Эта форма калия лучшая для всех культур, особенно чувствительных к хлору. Наиболее богата калием зола гречихи и подсолнечника, а также ржаной соломы. В древесной золе калия меньше, но значительно больше кальция, чем в золе соломы. Торфяная зола содержит мало фосфора и калия и используется преимущественно как известковое удобрение. Зола каменного угля не имеет практического значения как источник калия для растений.

Золу необходимо хранить в сухом помещении, так как вода выщелачивает из нее питательные вещества (прежде всего калий) и удобрительная ценность золы снижается.

Золу можно применять на любых почвах под все культуры. Как удобрение, содержащее известь, наиболее высокий эффект она дает на кислых почвах, особенно на бедных калием песчаных и супесчаных почвах и торфяниках.

### 5.2.3.3. УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ. БАЛАНС КАЛИЯ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Калийные удобрения наиболее эффективны на легких песчаных и супесчаных, а также на торфянистых и пойменных почвах. На этих бедных калием почвах все сельскохозяйственные культуры сильно отзываются на внесение калийных удобрений. На торфяниках, которые содержат достаточно азота, а часто и фосфора, внесение только одних калийных удобрений может дать высокий эффект.

Важное условие эффективного применения калийных удобрений — хорошее обеспечение растений азотом и фосфором. На почвах, бедных азотом и фосфором, одни калийные удобрения не дают желаемого результата.

На дерново-подзолистых, суглинистых и глинистых почвах, содержащих значительное количество калия, потребность всех культур в калийных удобрениях проявляется обычно только при одновременном внесении азотных и фосфорных удобрений. На черноземных почвах, еще лучше обеспеченных калием, применение калийных удобрений (обязательно в сочетании с азотными и фосфорными) необходимо только под культуры, потребляющие много калия, — сахарную свеклу, кукурузу, подсолнечник, картофель и овощные, а на каштановых почвах — только при орошении. На солонцах, обычно богатых валовыми запасами и содержанием подвижного калия, калийные удобрения неэффективны, а внесение их способствует дальнейшему засолению этих почв.

При систематическом применении азотных и фосфорных удобрений эффективность калийных удобрений повышается и потребность в них с годами возрастает. С увеличением применения навоза, содержащего относительно много калия, на всех типах почв потребность в калийных удобрениях, наоборот, уменьшается.

Калийные удобрения на связных почвах лучше вносить осенью (при этом ограничивается отрицательное действие хлора), а на легких почвах — весной под предпосевную обработку или частично в подкормку. На лугах при сенокосном и особенно пастбищном использовании травостоя калийные удобрения целесообразно вносить дробно, чтобы избежать избыточной концентрации калия в корме и обеднения его магнием. На известкованных почвах потребность в калийных удобрениях возрастает. На легких песчаных и супесчаных почвах особенно эффективны магнийсодержащие калийные удобрения.

При определении дозы калия руководствуются размерами потребления его с планируемыми урожаями культур и уровнем (группой) обеспеченности почв подвижным калием. Калийные удобрения, как правило, оказывают положительное влияние на урожай при содержании подвижного калия на уровне 1—3-й группы (до 80—120 мг/кг в некарбонатных и 30—40 мг/кг в карбонат-

ных почвах). При более высокой обеспеченности почв калием потребность в калийных удобрениях снижается и их эффективность зависит от состава возделываемых культур и агротехники, применения азотных и калийных удобрений, известкования кислых почв и других факторов.

Для основных регионов установлены оптимальные уровни содержания калия в почвах применительно к конкретным условиям и разработаны рекомендации по применению калийных удобрений. При оценке роли калия в земледелии недостаточно учитывать значение этого элемента в повышении устойчивости растений к комплексу неблагоприятных факторов. Средние прибавки урожаев от калийных удобрений в неблагоприятные годы значительно выше, чем в благоприятные. Так, по результатам обобщения многолетних опытных данных НИУИФ (проведенного В. В. Прокошевым), они составляли при выращивании озимой пшеницы соответственно 42 и 17 %, ячменя — 55 и 36 %. При достаточном калийном питании наблюдаются меньшая поражаемость растений болезнями и повреждаемость вредителями, повышение устойчивости к полеганию, заморозкам и повышенным температурам, неблагоприятным условиям водного режима и т. д.

Сбалансированное калийное питание растений способствует получению продукции высокого качества, снижает потери при хранении. При достаточном содержании калия и в почве растения более экономно расходуют влагу, а также азот и фосфор на формирование единицы товарного урожая.

Д. Н. Прянишников считал допустимым дефицит калия при оценке баланса этого элемента для страны в целом на уровне 20—22 кг/га. На тяжелых почвах с высоким запасом калия допустимый дефицит баланса может составлять большие величины, а на песчаных почвах при интенсивном возделывании культур должен поддерживаться бездефицитный баланс калия.

Для контроля за правильностью доз калийных удобрений, применяемых в севообороте, обеспечивающих его максимальную продуктивность и сохранение оптимального уровня содержания калия в почве, целесообразно определять баланс калия. При этом необходимо учитывать поступление калия из навоза и его использование. На почвах более тяжелого гранулометрического состава возможно внесение калийных удобрений в запас на 2—4 года.

В России с начала интенсивной химизации земледелия (в 1965 г.) до распада СССР применение калийных удобрений шло возрастающими темпами, особенно в Нечерноземной и Центрально-Черноземной зонах страны. Вследствие положительного баланса калия на дерново-подзолистых, серых лесных почвах и выщелоченных черноземах среднее содержание в них подвижного калия возросло в 1,2—1,4 раза. Однако по отдельным областям ситуация складывалась неоднозначно из-за различий в уровне применения минеральных и органических удобрений. Так, если в Московской области за 20 лет (1971—1990 гг.) доля почв с низким содержанием подвижного калия снизилась с 56 до 9 %, а высоким — увеличилась с 6 до 5 %, то в Ярославской, Пермской областях, Удмуртии и Мордовии доля почв с

высокой обеспеченностью калием заметно снизилась, при этом в Ярославской, Тверской, Калужской и Смоленской областях более трети пахотных почв с низким содержанием подвижного калия. В целом по Центрально-Черноземной зоне, несмотря на дефицит в балансе калия (в 1971—1975 гг. — 50%, в 1976—1980 гг. — 30, 1981—1986 гг. — 10, 1986—1990 гг. — 20 %), среднее содержание подвижного калия в почвах существенно не изменилось благодаря высоким валовым запасам этого элемента и постепенной его мобилизации. В остальных регионах страны (кроме Дальневосточного с положительным балансом калия в земледелии) баланс калия постоянно складывался со значительным дефицитом, однако средневзвешенное содержание подвижного калия в почвах оставалось на достаточно высоком уровне. Тем не менее сокращение доли почв с высоким содержанием подвижного калия за этот 20-летний период произошло в Тамбовской, Саратовской областях, Ставропольском крае. Уменьшение запасов подвижного калия прослеживается в Кемеровской, Новосибирской, Томской, Амурской областях и в Алтайском крае.

Применение калийных удобрений в России за последние 10 лет снизилось с 22 до 2—3 кг/га пашни. Одновременно из-за уменьшения поголовья скота, недостатка и дороговизны техники и топливно-смазочных материалов в хозяйствах сократилось применение навоза. Формирование резко снизившихся урожаев сельскохозяйственных культур обеспечивается за счет имеющихся запасов питательных веществ, в том числе калия из почвы. По данным ЦИНАО, в 1996—1998 гг. приходные статьи баланса калия компенсировали расходную часть баланса в земледелии Нечерноземной зоны в среднем на 40 %, Центрально-Черноземной зоны и Поволжского региона — на 20 %, Северо-Кавказского региона — всего на 10 %, еще в меньшей степени в других регионах страны. При этом площадь только пахотных почв с низкой обеспеченностью калием в России превышает 10 млн га.

В условиях низкой платежеспособности сельскохозяйственных производителей необходимо усиление государственной поддержки, льготного кредитования поставок калийных удобрений. Очевидна необходимость более полного использования имеющихся ресурсов органических удобрений. Ведь с 30—40 т навоза в почву вносится 180—240 кг калия, который в первые три года используется растениями на 60—80 %, т. е. в той же мере, как калий минеральных удобрений.

При правильном применении калийных удобрений каждый килограмм  $K_2O$  обеспечивает в среднем получение следующего количества дополнительной товарной продукции (кг/га): сахарной свеклы 35—40, картофеля 20—33, льноволокна 1,5, зерна озимых культур 3—5, яровых зерновых 2—3, клеверного или люцернового сена 20—30. Еще большая окупаемость единицы калия на легких и торфянистых почвах.

По данным агрохимической службы России, долевое участие калия в прибавке урожая основных культур от полного минерального удобрения составляет 17—26 %.

Следует также отметить исключительно важную роль калийных удобрений в снижении содержания одного из наиболее опасных долгоживущих радионуклидов — цезия-137 в растительной и жи-

вотноводческой продукции на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению. «Калиевая терапия» подвергшихся радиоактивному загрязнению после чернобыльской катастрофы легких дерново-подзолистых почв Брянской области в сочетании с их известкованием позволила не только повысить продуктивность зернокармального и зернокармопропашного севооборота, но и получить товарную продукцию возделываемых культур с уровнем загрязнения цезием-137 ниже установленных ограничений по этому параметру (Тулин и др., 1994).

#### 5.2.4. МИКРОУДОБРЕНИЯ

Для увеличения производства качественной сельскохозяйственной продукции наряду с основными удобрениями важное значение имеют микроудобрения, содержащие микроэлементы. Микроэлементы необходимы растениям в очень небольших количествах — их содержание составляет тысячные и десятитысячные доли процента массы растений. Однако каждый из них выполняет строго определенные функции в обмене веществ, питании растений и не может быть заменен другим элементом.

При выращивании сельскохозяйственных культур на почвах с недостаточным, а в некоторых биогеохимических провинциях с избыточным содержанием доступных форм микроэлементов снижается урожай и ухудшается качество продукции. Недостаток или избыток отдельных микроэлементов в растениеводческой продукции и кормах может вызывать заболевания человека и сельскохозяйственных животных.

В условиях интенсификации сельского хозяйства рост урожаев сопровождается увеличением выноса всех питательных элементов, в том числе микроэлементов. Это повышает потребность в отдельных микроудобрениях на почвах не только с недостаточным, но и с умеренным содержанием соответствующих микроэлементов в доступной растениям форме.

**Борные удобрения.** Необходимость внесения борных удобрений проявляется прежде всего на дерново-глебовых и темноцветных заболоченных почвах, а также на известкованных дерново-подзолистых и насыщенных основаниями почвах. Низким содержанием бора, как и других микроэлементов, отличаются песчаные и супесчаные почвы.

Основные формы борных удобрений — боросуперфосфат (простой с содержанием водорастворимого бора 0,2 % и двойной с 0,4 % бора), бормагниевые удобрения (не менее 2,3 % бора), борная кислота (17,3 % бора) и ее натриевая соль — бура (11 % бора).

Борную кислоту и буру применяют для предпосевной обработки семян (в дозах соответственно 20—50 и 35—80 г/ц семян) и для некорневых подкормок (0,2—0,4 кг В на 1 га).

Боросуперфосфат используют прежде всего для внесения в рядки при посеве и посадке растений. Остальные борсодержащие удобрения вносят в почву из расчета 0,5—1,5 кг В на 1 га.

Использование борных удобрений на почвах с низким содержанием доступных форм бора полностью устраняет заболевание корнеплодов гнилью сердечка и дуплистостью корня, льна — бактериозом, картофеля — паршой, плодовых — суховершинностью деревьев, пятнистостью и опробковением плодов. Урожайности корнеплодов сахарной свеклы и кормовых корнеплодов возрастает на 3—5 т/га, волокна и семян льна — на 0,5—1,5 ц/га, зерна бобовых культур — на 2,0—4,0 ц/га, семян клевера и люцерны — на 50—100 кг/га.

В корнеплодах сахарной свеклы при внесении бора увеличивается содержание сахара, в клубнях картофеля — крахмала, улучшается качество волокна льна, повышается количество белка у бобовых, сахара и витаминов в овощах, ягодах и плодах.

**Молибденовые удобрения.** Наиболее эффективно применение молибдена под зерновые бобовые и овощные культуры, многолетние и однолетние бобовые травы, на лугах и пастбищах с бобовым компонентом в травостое на кислых дерново-подзолистых, серых лесных почвах и выщелоченных черноземах. Подвижных форм молибдена в кислых почвах очень мало, так как при кислой реакции он находится в недоступной для растений форме. При известковании кислых почв увеличивается подвижность молибдена в почве и его доступность для растений, уменьшается или полностью устраняется потребность в молибденовых удобрениях.

В качестве молибденовых удобрений применяют молибдат аммония (содержащий 52 % молибдена); порошок, содержащий молибден (14,5—16,5 %), молибденизированный суперфосфат простой и двойной (соответственно 0,1 и 0,2 % молибдена) и отходы электроламповой промышленности (0,3—0,4 % молибдена в водорастворимой форме). Первые два удобрения используют для предпосевной обработки семян (20—50 г Мо 1 ц семян при опрыскивании раствором молибдата аммония или в 1,2—1,5 раза большее количество при опудривании порошком, содержащим Мо).

Молибдат аммония применяют для некорневых подкормок из расчета 150—200 г Мо на 1 га. Молибденизированный суперфосфат вносят в рядки при посеве (с обычной дозой фосфора 10—15 кг/га вносится 50—75 г Мо на 1 га), а содержащие молибден отходы промышленности применяют до посева (0,5—1,5 кг Мо на 1 га).

Применение молибдена на кислых почвах повышает урожай гороха на 0,3—0,4 т/га, сена клевера и вики — соответственно на 0,8—1 и 0,7—0,9, семян клевера — на 0,05—0,1, моркови — на 7—8 т/га, салата, редиса и капусты — на 20—30 %. Под влиянием молибдена значительно улучшается и качество продукции: увеличивается содержание белка в зерне и сене бобовых культур, витаминов и сахара в овощах.

**Марганцевые удобрения.** Недостаток марганца чаще всего проявляется на черноземах и дерново-карбонатных почвах с нейтральной или щелочной реакцией, особенно на песчаных и супесчаных, а также на карбонатных торфяниках. Дерново-подзолистые кислые почвы характеризуются высоким содержанием подвижного (обменного) марганца, поэтому применение марганцевых удобрений на этих почвах может оказать отрицательное действие, так как избыток марганца вреден для растений. При известковании кислых почв внесение марганцевых удобрений дает положительный эффект.

Марганцевые удобрения применяют главным образом под сахарную свеклу, кукурузу, картофель, овощные, плодовые и ягодные культуры, что способствует значительному повышению урожайности. Так, применение марганцевых удобрений на черноземах позволяет получать прибавку урожайности сахарной свеклы 1,4—2,5 т/га при одновременном увеличении сахаристости корнеплодов на 0,11—0,33 %, озимой пшеницы — 0,32—0,47 т/га, капусты, картофеля и огурца — 4—5 т/га.

Используют следующие марганцевые удобрения: сульфат марганца (21—22 % марганца), марганизированный гранулированный суперфосфат (1—2 % марганца) и отходы марганцеворудной промышленности — марганцевые шламы (9—15 % марганца в труднорастворимой форме).

Марганцевые шламы можно вносить до посева под основную обработку почвы (300—400 кг/га) или в почву при подкормках пропашных культур (50—100 кг/га). Марганизированный суперфосфат используют в основном для припосевного внесения в рядки. Сульфат марганца — растворимая соль, ее применяют для предпосевной обработки (намачивания или опудривания) семян (50—100 г/ц семян) и для некорневой подкормки (0,05%-ный раствор соли при норме расхода 400—500 л/га).

**Медные удобрения.** Особенно бедны медью вновь освоенные низинные торфяники и заболоченные почвы с нейтральной или щелочной реакцией, а также дерново-глеевые почвы. Применение медных удобрений на этих почвах — непременное условие получения высоких урожаев. Зерновые культуры на торфяниках без медных удобрений дают ничтожные урожаи зерна (0,2—0,3 т/га), а при их внесении урожайность повышается до 2,5 т/га. Хорошо отзываются на медь также лен, конопля, сахарная свекла, подсолнечник, горчица, горох, тимофеевка, менее отзывчивы кормовая и столовая свекла, турнепс, морковь. Медные удобрения положительно влияют и на качество продукции: увеличивается содержание белка в зерне, сахара в корнеплодах, витамина С в плодах и овощах. Наиболее устойчивы к недостатку меди картофель, капуста и рожь.

В качестве медных удобрений применяют главным образом пиритные огарки — отходы сернокислотной промышленности

(0,25—0,6 % меди), а также медный купорос  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (23—25 % меди). Пиригные огарки вносят 1 раз в 4—5 лет с осени под зяблевую обработку почвы (0,8—1,5 кг Cu на 1 га) или весной, не позднее чем за 10—15 дней до посева. Медный купорос можно применять для некорневой подкормки и предпосевного намачивания семян. Для подкормки 1 га посевов растворяют 200—300 г медного купороса в 400—500 л воды. Расход соли для предпосевной обработки — 50—100 г/ц семян. Предусмотрен также выпуск суперфосфата с добавкой меди (1,0 %). На торфяных почвах эффективно применение медно-калийных удобрений (57 %  $\text{K}_2\text{O}$  и 1 % Cu в водорастворимой форме).

**Цинковые удобрения.** Недостаток цинка чаще всего проявляется у плодовых и цитрусовых культур на карбонатных почвах с нейтральной и слабощелочной реакцией. Среди полевых культур к недостатку цинка более чувствительны кукуруза, фасоль, соя, картофель и некоторые овощные растения. Валовое содержание цинка в почвах колеблется от 25 до 65 мг/кг почвы. Более подвижен и доступен растениям цинк в кислых почвах. Бедны им карбонатные почвы, особенно зафосфаченные, вследствие систематического применения высоких доз фосфорных удобрений. На этих почвах потребность в цинковых удобрениях возникает чаще.

К цинковым удобрениям относятся: сульфат цинка ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , содержащий 21—23 % Zn), цинко суперфосфат (0,1 % Zn в водорастворимой форме) и отходы промышленности, в частности шлаки медеплавильных заводов (2—7 % Zn).

Доза внесения шлаков в почву чаще всего составляет 50—150 кг/га. Сульфат цинка применяют для некорневой подкормки (100—150 г соли на 1 га в виде водного раствора) и предпосевной обработки семян (50—100 г соли на 1 ц семян). Для подкормки плодовых деревьев их опрыскивают весной по распустившимся почкам раствором сульфата цинка (200—500 г на 100 л воды) с добавлением 0,2—0,5 % гашеной извести для его нейтрализации во избежание ожогов листьев. Обогащенный цинком суперфосфат вносят (100—150 г соли на 1 га в виде водного раствора) в почву при посеве и реже — как основное удобрение.

Потребность различных сельскохозяйственных культур в отдельных микроэлементах на разных почвах неодинакова. Хорошо окультуренные систематически удобряемые навозом почвы обычно содержат достаточное количество подвижных форм микроэлементов и поэтому на них не требуется внесение микроудобрений.

При недостатке в почвах доступных форм бора, марганца, меди, молибдена, а в определенных условиях также кобальта, цинка, йода, ванадия и других микроэлементов наблюдаются специфические заболевания культур и они дают низкий урожай плохого качества. В этом случае применение соответствующих микроудобрений устраняет заболевания растений и значительно повышает урожай и качество растениеводческой продукции. Под действием

микроэлементов у многих растений повышается сахаристость, увеличивается содержание крахмала или белка, витаминов и жиров, возрастает устойчивость к засухе, высоким и низким температурам, снижается поражаемость болезнями и повреждаемость вредителями. С недостатком микроэлементов часто связаны многие заболевания животных и людей.

Недостаток в почве отдельных микроэлементов можно обнаружить при появлении специфических внешних признаков растений. Однако на практике чаще приходится встречаться с менее острым недостатком микроэлементов, когда четких внешних признаков не наблюдается, но рост, развитие растений угнетаются и они дают низкие урожаи. Поэтому потребность в применении микроудобрений определяется по результатам агрохимического обследования почв на содержание доступных для растений форм микроэлементов. С еще большей уверенностью о необходимости внесения микроудобрений в конкретных почвенно-климатических условиях можно судить по результатам полевых опытов.

Более высокая эффективность применения микроудобрений наблюдается, как правило, при хорошей обеспеченности растений основными элементами питания — азотом, фосфором и калием. В то же время применение необходимых микроэлементов значительно повышает действие азотных, фосфорных и калийных удобрений. При внесении микроэлементов растения лучше используют питательные элементы из почвы и минеральных удобрений.

Потребность сельского хозяйства в микроудобрениях частично удовлетворяют за счет производства обогащенных микроэлементами основных форм простых и комплексных минеральных макроудобрений. Полевые испытания показывают высокую эффективность микроудобрений, однако их нужно использовать только там, где соответствующий микроэлемент действительно необходим, и под культуры, особенно требовательные к их внесению.

Ненужное или избыточное применение микроудобрений может привести к накоплению микроэлементов в почвах и сельскохозяйственной продукции, вызвать негативные экологические последствия. С этих позиций наиболее экономичными и экологически безопасными способами применения микроэлементов являются предпосевная обработка семян, некорневые подкормки (с небольшим расходом водорастворимых солей) и рядковое внесение макроудобрений, содержащих микроэлементы.

Агрохимическая служба России выполняет большой объем полевых исследований и аналитических работ для разработки научно обоснованных градаций обеспеченности почв различных зон страны отдельными микроэлементами и рекомендаций по применению микроудобрений в севооборотах с учетом состава возделываемых культур.

Микроудобрения можно использовать только в том случае, если их применение оправдано как с агрономической, так и эко-



номической точек зрения и под наиболее требовательные к соответствующим элементам культуры. В целом применение микроудобрений в условиях недостатка доступных форм микроэлементов в почвах весьма выгодно. Микроудобрения обеспечивают рост урожаев в среднем на 10—12 % и улучшают качество продукции. При использовании одновременно нескольких микроэлементов их положительное действие на урожай нередко ослабляется. Чаще всего оправдано сочетание, например, бора и молибдена под бобовые и овощные культуры, бора и марганца под корнеплоды. В то же время совместное применение меди и молибдена дает положительный эффект только на бедных или легких почвах.

Строго дифференцированное, с учетом обеспеченности почв и потребности растений, применение микроудобрений — важное звено технологии возделывания сельскохозяйственных культур, позволяющее увеличивать производство высококачественной продукции.

#### 5.2.5. КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Комплексными называются минеральные удобрения, содержащие не менее двух главных питательных элементов. Их подразделяют на двойные (например, азотно-фосфорные, азотно-калийные или фосфорно-калийные) и тройные (азотно-фосфорно-калийные или азофоски).

По составу и способу производства комплексные удобрения делят на сложные, сложносмешанные (комбинированные) и смешанные.

*Сложные удобрения* содержат два или три питательных элемента в составе одного химического соединения. Например, аммофос ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ), калийная селитра ( $\text{KNO}_3$ ), магний-аммоний-фосфат ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$ ). Соотношение между питательными элементами в этих удобрениях определяется их формулой. В последние годы термином «сложные удобрения» обозначают все комплексные твердые и жидкие минеральные удобрения (независимо от способов получения), в которых все растворы, частицы, кристаллы или гранулы имеют одинаковый или близкий химический состав.

К *сложно-смешанным удобрениям* относятся комплексные удобрения, получаемые в едином технологическом процессе и содержащие в одной грануле два или три основных элемента питания растений, хотя и в виде разных химических соединений. Их производят с помощью специальной как химической, так и физической обработки первичного сырья или различных одно- и двухкомпонентных удобрений. К таким удобрениям относятся нитрофос и нитрофоска, нитроаммофос и нитроаммофоска, полифосфаты аммония и калия, карбоаммофосы, фосфорно-калийные прессован-

ные удобрения, жидкие комплексные удобрения (ЖКУ). Соотношение между элементами питания в этих удобрениях определяется количеством исходных материалов при их получении.

Для сложных и сложно-смешанных удобрений характерны высокая концентрация основных питательных элементов и отсутствие либо малое количество балластных веществ, что позволяет уменьшить общую физическую массу минеральных удобрений и объем их перевозок, а следовательно, значительно снизить расходы на их транспортировку, хранение и внесение в почву.

Расчеты показывают, что увеличение концентрации питательных веществ в удобрениях на 10 % снижает транспортные перевозки в целом по стране на 5 млн т км в год. Агрономическая эффективность равных доз питательных веществ в составе комплексных и смеси односторонних удобрений практически одинакова с некоторым преимуществом комплексных за счет более равномерного распределения питательных веществ в почве и лучшей их доступности корневой системе растений. В то же время затраты на подготовку и применение односторонних удобрений при их раздельном внесении в 1,5—2 раза выше, чем комплексных. Однако соотношение между отдельными питательными элементами в составе комплексных удобрений не всегда соответствует потребностям культур при выращивании на почвах с различной обеспеченностью этими элементами. Поэтому нередко необходимо дополнять применение комплексных удобрений внесением односторонних удобрений либо использовать тукосмешение.

*Смешанные удобрения* — это смеси простых и сложных удобрений, получаемые в заводских условиях либо на тукосмесительных установках на местах использования удобрений путем сухого или мокрого смешивания.

##### 5.2.5.1. СЛОЖНЫЕ УДОБРЕНИЯ

**Аммофос** ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) и **диаммофос**  $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$ . Получают нейтрализацией ортофосфорной кислоты аммиаком. Удобрения мало гигроскопичны, хорошо растворимы в воде.

В аммофосе содержится 9—11 % N и от 42 до 50 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , т. е. соотношение N :  $\text{P}_2\text{O}_5$  в удобрении чрезмерно широкое (азота в 4 раза меньше, чем фосфора). В диаммофосе может содержаться 19—21 % N и 49—53 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , соотношение N :  $\text{P}_2\text{O}_5$  составляет 1 : 2,5. Это высококонцентрированные удобрения, содержащие азот и фосфор в хорошо усвояемой растениями, преимущественно водорастворимой форме.

Аммофос и диаммофос используют в качестве основного удобрения, в рядки при посеве под все культуры и в подкормку для внутривидового внесения под пропашные — технические и овощные культуры. Благодаря хорошим физическим свойствам и

высокой концентрации питательных веществ они служат хорошим компонентом для тукосмесей. Производят также трехкомпонентные сложно-смешанные комплексные удобрения на основе аммофосов с добавлением хлористого калия. Например, ОАО «Череповец» выпускает диаммофоску с содержанием питательных элементов ( $N-P-K$ ) 10—26—26.

**Магний-аммонийфосфат**,  $MgNH_4PO_4$ . Тройное сложное удобрение, содержащее 10—11 % азота, 39—40 % доступного фосфора и 15—16 % магния. Удобрение слабо растворимо в воде, медленнодействующее. Однако  $N$ ,  $P$  и  $Mg$ , входящие в удобрение, доступны для растений. Его можно вносить как основное удобрение под все культуры в больших дозах без вреда для растений. Оно эффективно при выращивании овощей в защищенном грунте.

**Калийная селитра** (нитрат калия),  $KNO_3$ . Содержит около 13 % азота и 46 % калия. Благодаря отличным физическим свойствам калийная селитра пригодна как для приготовления смешанных удобрений, так и для непосредственного внесения в почву.

Удобрение не содержит хлора и поэтому дает хороший эффект при внесении под картофель, виноград и другие культуры, чувствительные к этому элементу. Применение калийной селитры перспективно в овощеводстве защищенного грунта.

**Метафосфат аммония** ( $NH_4PO_3$ , содержит 14 % азота и 32 % фосфора) и **метафосфат калия** ( $KPO_3$ , содержит 60 % фосфора и 40 % калия). Они также имеют два основных элемента питания в составе одного химического соединения. Удобрения не растворимы в воде. Поэтому элементы питания не выщелачиваются из почвы, но благодаря гидролизу постепенно переходят в доступное для растений состояние. Смеси, приготовленные на метафосфатах аммония и калия, имеют удовлетворительные физические свойства. Удобрения целесообразно применять под культуры, отрицательно реагирующие на хлор.

#### 5.2.5.2. СЛОЖНО-СМЕШАННЫЕ, ИЛИ КОМБИНИРОВАННЫЕ УДОБРЕНИЯ

Нитрофосы и нитрофоски получают разложением апатита или фосфорита азотной кислотой.

**Нитрофосы (нитрофосфаты)**. Содержат 20—24 % азота и 14—12 % фосфора, при этом весь азот и половина фосфора находятся в водорастворимой форме.

**Нитрофоски**. Тройные удобрения, получаемые при добавлении хлорида калия к нитрофосам.

В нитрофосках азот и калий содержатся в форме легко растворимых соединений ( $NH_4NO_3$ ,  $NH_4Cl$ ,  $KNO_3$ ,  $KCl$ ), а фосфор — в виде дикальцийфосфата, не растворимого в воде, но доступного для растений, и частично в форме водорастворимого фосфата ам-

мония и монокальцийфосфата. В зависимости от технологической схемы получения удобрения содержание в нитрофосках водорастворимого и нитраторастворимого фосфора может изменяться.

Содержание питательных элементов в нитрофосках может колебаться от 35 до 50 %, в том числе  $N$  — 10—17,  $P_2O_5$  — 8—30 и  $K_2O$  — 12—20 %.

В нашей стране выпускают гранулированные нитрофоски с содержанием питательных элементов ( $N-P-K$ ) 16—16—16, 12—12—12 и 11—10—11 и долей водорастворимого фосфора не менее 55 %.

Нитрофоску вносят в качестве основного удобрения до посева, в рядки или лунки при посеве, а также в подкормки. Эффективность ее практически такая же, как и эквивалентных количеств смеси простых удобрений.

Нитрофоски имеют определенное соотношение между азотом, фосфором и калием, а так как разные почвы различаются по содержанию отдельных питательных элементов и потребности в них растений, то при внесении нитрофосок (как и других сложных и сложно-смешанных удобрений) часто возникает необходимость в дополнительном внесении того или иного недостающего элемента в виде простых удобрений.

**Нитроаммофосы и нитроаммофоски**. Получают при нейтрализации аммиаком смеси азотной и фосфорной кислот. Удобрение, производимое на основе моноаммонийфосфата, называют нитроаммофосом; при введении калия — нитроаммофоской. Эти комплексные удобрения отличаются высоким содержанием питательных элементов, причем при их получении имеется широкая возможность для изменения соотношения  $N : P_2O_5 : K_2O$  в их составе. Нитроаммофосы могут выпускаться с содержанием  $N$  10—30 % и  $P_2O_5$  27—14 %. В нитроаммофосках (NPK-удобрениях) общее содержание питательных веществ составляет 51 % (в марках А 17—17—17 и Б 13—19—19). Питательные элементы, не только весь азот и калий, но и фосфор (около 90 %), содержатся в водорастворимой форме и легкодоступны растениям.

**Карбоаммофосы**. Содержат азот в амидной и аммиачной формах, фосфор находится в водорастворимой форме. Их производство основано на способности мочевины образовывать комплексные соединения с фосфорной кислотой или аммо- и диаммофосом. Удобрения могут содержать 24—48 %  $N$  и 48—18 %  $P_2O_5$ .

**Карбоаммофоски**. Тройное комбинированное удобрение, для получения которого вводят хлористый калий. Суммарное содержание питательных элементов в карбоаммофосках — до 60 %. Карбоаммофоски выпускают со следующим соотношением  $N : P : K$  1:1:1; 1,5:1:1; 2:1:1:1 и 1:1,5:1.

**Полифосфаты аммония**. Получают путем нейтрализации аммиаком полифосфорной кислоты. Удобрение содержит 17 %  $N$  и 60 %  $P_2O_5$ , обладает хорошими физическими свойствами, его мож-

но применять под все культуры. Полифосфат аммония — хороший компонент для тукосмесей и приготовления ЖКУ. На основе суперфосфорной кислоты можно производить и другие сложные твердые удобрения, например полифосфат калия с содержанием 57 %  $P_2O_5$  и 37 %  $K_2O$ , а также жидкие высококонцентрированные комплексные удобрения.

**Жидкие комплексные удобрения (ЖКУ).** Получают при нейтрализации орто- и полифосфорной кислот аммиаком с добавлением азотсодержащих растворов (мочевины, аммиачной селитры) и хлорида или сульфата калия, а в отдельных случаях и солей микроэлементов. При насыщении ортофосфорной кислоты аммиаком образуются аммофос и диаммофос.

Общее содержание питательных элементов в ЖКУ на основе ортофосфорной кислоты сравнительно невысокое (24—30 %), так как в более концентрированных растворах при низких температурах происходит кристаллизация солей и выпадение их в осадок. Соотношение азота, фосфора и калия в ЖКУ может быть различным, содержание N составляет 5—10 %,  $P_2O_5$  — 5—14 и  $K_2O$  — 6—10 %. В нашей стране выпускают ЖКУ с соотношением питательных веществ в основном 9 : 9 : 9, а также 7 : 14 : 7; 6 : 18 : 6; 8 : 24 : 0 и др.

На основе полифосфорной кислоты получают ЖКУ с более высоким общим содержанием питательных элементов (более 40 %), в частности удобрения состава 10 : 34 : 0 и 11 : 37 : 0, образующиеся при насыщении суперфосфорной кислоты аммиаком. Эти «базисные» удобрения используют для получения тройных ЖКУ различного состава, добавляя к ним растворы мочевины и аммиачной селитры (КАС) и хлористый калий.

Для повышения концентрации питательных элементов в ЖКУ используют стабилизирующие добавки к ним — 2—3 % коллоидной глины или торфа. Эти удобрения называют *суспендированными*. Базисное суспендированное удобрение имеет состав 12 : 40 : 0, на его основе можно готовить тройные ЖКУ различных составов (15 : 15 : 15; 10 : 30 : 10; 9 : 27 : 13 и др.). Коллоидная глина или торф удерживают соли от выпадения в осадок.

ЖКУ по эффективности не уступают смеси твердых односторонних туков и комплексным удобрениям типа нитроаммофоски. Их применение особенно эффективно на карбонатных почвах. Для перевозки, хранения и внесения ЖКУ необходим комплекс специального оборудования. Вносить их можно теми же способами, что и твердые: сплошным распределением по поверхности почвы под вспашку и культивацию, локально внутрипочвенно в основном удобрение, а также в подкормки — при междурядной обработке пропашных или поверхностно в посевах многолетних трав. ЖКУ содержат все питательные элементы в водорастворимой легкодоступной растениям форме.

**Сложно-смешанные гранулированные удобрения.** Получают смешиванием простых и сложных порошковидных удобрений (аммо-

фоса, простого или двойного суперфосфата, аммиачной селитры или мочевины, хлористого калия) в барабанном грануляторе с добавлением аммиака для нейтрализации свободной кислотности суперфосфата и фосфорной кислоты (или аммофоса) для обогащения смеси фосфором. Выпускаемые промышленные сложно-смешанные гранулированные удобрения имеют различное соотношение питательных элементов при общем содержании их от 25 до 60 %.

Освоен выпуск новых высококонцентрированных комплексных удобрений: азофоски с различными добавками (в том числе серосодержащими), диаммофоски, нитродиамофоски и аммофосфата, которые уже поставляются на внутренний рынок.

В состав комплексных твердых и жидких удобрений в процессе их производства могут быть введены другие макро- и микроэлементы, а также пестициды и некоторые органические материалы.

**Растворин** (кристаллин). Для тепличного овощеводства производят три марки растворина (табл. 42): комплексного, полностью растворимого в воде удобрения.

42. Содержание питательных веществ (%) в растворе

Марка растворина	N	$P_2O_5$	$K_2O$	MgO
A	10	5	20	6
Б	18	6	18	—
В	20	16	10	—

### 5.2.5.3. СМЕШАННЫЕ УДОБРЕНИЯ

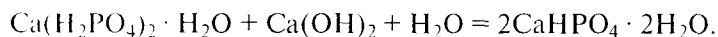
Смешанные удобрения получают путем механического смешивания готовых односторонних или комплексных негранулированных или гранулированных удобрений на специальных тукосмесительных заводах, на крупных механизированных складах агрохимической службы или непосредственно в хозяйствах. При этом достигается значительная экономия труда и времени на внесение удобрений по сравнению с раздельным применением и повышается их эффективность. Смешанные удобрения вносят в один след и они при схожем гранулированном составе равномерно распределяются по полю или в зоне локального внесения, при этом все представленные в смеси элементы питания находятся в общих очагах.

Тукосмеси готовят разного состава с неодинаковым соотношением N : P : K в зависимости от потребностей удобряемой культуры и свойств почвы. В этом отношении тукосмеси имеют преимущество перед комплексными удобрениями, которые выпускают с фиксированным содержанием питательных элементов, не всегда подходящим для определенной культуры и почвы. Однако не все удобрения можно смешивать друг с другом, так как в результате


химических реакций между ними могут происходить нежелательные изменения — ухудшение физических свойств, или уменьшение растворимости, или потеря необходимых питательных веществ (рис. 12).


При смешивании аммонийных солей (сульфата аммония, нитрата аммония, аммофоса) со щелочными удобрениями (известью, золой, томасшлаком и термофосфатами) происходят потери азота вследствие выделения аммиака.

Например,  $2\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ . При смешивании суперфосфата с известью растворимая в воде соль монокальцийфосфат переходит в нерастворимую форму — в ди- или трикальцийфосфат



Удобрения	Сульфат аммония гранулированный	Сульфат аммония кристаллический	Аммиачная селитра	Мочевина	Суперфосфат гранулированный	Суперфосфат порошкообразный	Аммофос, диаммофос	Нитроаммофос, нитрофос	Нитроаммофоска, нитрофоска	Карбо- аммофос	Карбо- аммофоска	КСГ гранулированный крупнозернистый	КСГ кристалличес- кий, сульфат калия
Сульфат аммония гранулированный													
Сульфат аммония, кристаллический													
Аммиачная селитра													
Мочевина													
Суперфосфат гранулированный													
Суперфосфат, порошкообразный													
Аммофос, диаммофос													
Нитроаммофос, нитрофос													
Нитроаммофоска, нитрофоска													
Карбо- аммофос													
Карбо- аммофоска													
КСГ гранулированный крупнозернистый													
КСГ кристалличес- кий, сульфат калия													

 Можно смешивать заблаговременно

 Можно смешивать только перед внесением


 Не рекомендуется смешивать

Рис. 12. Схема смешивания удобрений

Поэтому указанные удобрения нельзя смешивать друг с другом. При заблаговременном смешивании аммиачной селитры с суперфосфатом получают мажущуюся смесь, неудобную для рассева, которая при хранении затвердевает. Поэтому смешивать эти удобрения следует непосредственно в день внесения.

Для улучшения физических свойств смеси наиболее распространенных удобрений — аммиачной селитры и суперфосфата в гранулированных формах и хлористого калия — необходимо для нейтрализации свободной кислотности суперфосфата и снижения его гигроскопичности добавлять небольшое количество (10—15 %) нейтрализующих добавок (молотого известняка или доломита, фосфоритной муки). При этом хорошая рассеваемость смеси сохраняется при хранении ее даже в течение 4—5 мес.

Приготовленные смеси минеральных удобрений должны обладать хорошими физико-механическими свойствами — не слеживаться, не расслаиваться при транспортировке и внесении. Физические свойства и рассеваемость смесей резко улучшаются при смешивании гранулированных удобрений, особенно с близкими размерами гранул.

Согласно агротехническим требованиям к тукосмешению, исходные компоненты должны иметь влажность не выше (%): аммиачная селитра — 0,3, мочевина — 0,2, суперфосфат — 4, аммофос — 1, гранулированный хлористый калий — 1,2; свободная кислотность суперфосфатов должна быть не более 1 % (в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). В отдельных пробах готовой смеси удобрений (берут 10 проб по 50 г) среднее отклонение от заданного соотношения не должно превышать  $\pm 10$  %. Дозирующее устройство должно обеспечивать подачу каждого компонента с отклонением не более 3 % от заданного количества.

Приготовление тукосмесей необходимо проводить с учетом потребности отдельных культур в определенном соотношении питательных элементов ( $\text{N} : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O}$ ), а также свойств почвы и способов внесения удобрений (основное, припосевное, подкормка). Для приготовления тукосмесей с высоким общим содержанием питательных веществ и хорошими физическими свойствами необходимо использовать в первую очередь мочевину или аммиачную селитру, суперфосфат двойной и аммонизированный или аммофос, гранулированный хлористый калий.

Механизированное приготовление и внесение тукосмесей дают больший экономический эффект по сравнению с раздельным применением односторонних удобрений.

На товарных базах агрохимической службы и межхозяйственных пунктах химизации для дозирования и смешивания простых (односторонних) удобрений используют тукосмесительную установку УТС-30 в агрегате с ленточным транспортером ПКС-80,

смеситель-загрузчик СЗУ-20 в комплексе с фронтальным погрузчиком ПФ-0,75, а также установки, изготовленные на базе кузовных разбрасывателей.

Как уже отмечалось, в настоящее время на заводах России осуществляют крупнотоннажное производство главным образом односторонних минеральных удобрений (аммиачная селитра, мочевины, хлористый калий), аммофоса и нитрофоски. Сухое тукосмещение, как показывает мировой и отечественный опыт, позволяет создавать широкий ассортимент удобрений с любым необходимым соотношением основных питательных веществ и микроэлементов. Например, предприятие АО «Уральский» выпускает под названием «аммофоскамид» удобрительную смесь из гранулированных аммофоса, мочевины и хлористого калия с содержанием каждого из основных элементов питания (NPK) не менее 15 %. По требованию потребителя удобрительная смесь может выпускаться с любым соотношением питательных веществ (1:1:1; 0:0:1; 1:1:1,7; 0,6:1:2; 0,5; 1:1; 0:1:1,8), а также при необходимости с добавлением магния и микроэлементов.

Однако централизованная система сухого тукосмещения в России пока практически отсутствует. Предполагается создание в основных сельскохозяйственных регионах России сети (35—40 установок) тукосмесительных станций. Головная установка сухого тукосмещения мощностью 35—40 тыс. т  $P_2O_5$  (начавшая работать в Орловской области в 1998 г.) позволяет выпускать любой ассортимент смесей на базе фосфатов аммония, а также карбамида и гранулированного хлористого калия. В дальнейшем планируется выпуск других разнообразных смесей, содержащих микроэлементы. Выпускаемые смеси пользуются большим спросом у сельскохозяйственных производителей, поскольку учитывают конкретный тип почвы, неодинаковую обеспеченность почв отдельных полей элементами питания и различную требовательность в них возделываемых сельскохозяйственных культур.

**Комплексные удобрения мелкотоварного производства.** Создание небольших фермерских хозяйств и широкое развитие коллективного и частного огородничества и садоводства привели к возникновению в нашей стране отечественной «малой химии» удобрений, а также появлению на внутреннем рынке разнообразных удобрительных зарубежных препаратов. При различных крупных производствах минеральных удобрений, других химических заводах начали выпускать традиционные удобрения в мелкой упаковке, а также широкий ассортимент продуктов мелкотоварного производства (менее 10 тыс. т) и товаров народного потребления для оптовой и розничной торговли. Они представляют собой различные твердые и жидкие, таблетированные и суспензированные минеральные удобрения, питательные смеси общего назначения и для отдельных видов растений. Их торго-

вые названия не всегда полно и достоверно отражают состав и свойства продукта. Потребителю чаще всего предлагаются комплексные, содержащие все основные элементы питания растений, минеральные удобрения с добавкой других макро- и микроэлементов (табл. 43).

**43. Ассортимент некоторых комплексных удобрений мелкотоварного производства и производимых в качестве товаров народного потребления (разрешенных к применению)**

Товарное название продукта (удобрения)	Содержание, %					Производитель
	N	$P_2O_5$	K <sub>2</sub> O	MgO	MЭ*	
Универсальное	7	7	8	1	—	ОАО «Воскресенские минеральные удобрения»
Эффект (жидкое)	4	6	10	1	—	
Смесь «Огородная и плодово-ягодная»	5	10	5	—	—	
	6	9	9	—	—	
NPK Микро (таблетки)	16	10	24	—	+	ОАО «Урал-калий»
Супер	11	24	24	+	+	ЗАО «Кемира-агро» (Москва)
Универсал	10	10	20	2,5	+	
Гидро	6,4	11	31	2,7	+	
Комби	14	11	25	1,4	+	
Полевое	13	16	18	+	+	
Картофельное	12	14	17	2,5	+	
Свекловичное (2,5 % $Na_2O$ )	15	12	8	+	+	ОАО «Буйский химический завод»
Органо-минеральное удобрение «Универсал»	7	7	8	+	+	
Органо-минеральные удобрения	36 форм					ЗАО МНПП «Фарт» (Москва, С.-Петербург)

\* Микроэлементы.

Хотя все допускаемые к продаже товары проходят сертификацию и регистрацию с целью соответствия ГОСТам и безопасности, это не всегда служит гарантией получения обещаемого рекламными проспектами эффекта.

### 5.3. СЕРТИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Одна из функций агрохимической службы — контроль за качеством и безопасностью удобрений и других агрохимикатов (химических мелиорантов, химических кормовых добавок, консервантов кормов), поставляемых сельскому хозяйству. В научно-мето-

дическом центре агрохимической службы страны — ЦИНАО — действует первый из созданных в России специализированный орган по сертификации агрохимикатов, в котором разработаны и внедрены специфические ее компоненты (порядок сертификации этой группы продуктов, номенклатура объектов обязательной и добровольной сертификации, нормативные документы, методы анализов и испытаний агрохимикатов на соответствие предъявляемым требованиям на качество и безопасность, маркировку и упаковку). Разрабатываются технические средства для контроля за качеством агрохимикатов, нормативы и правила, регламентирующие эту деятельность агрохимической службы.

При сертификации минеральных удобрений контролируется их соответствие установленным ГОСТами и ТУ параметрам качества, однородности состава и свойств, надежности (сохраняемости свойств в течение межсезонного хранения, при складской или полевой подготовке удобрений к внесению в почву), безопасности (пожаро- и взрывоопасности, наличию токсичных примесей, их содержание по сравнению с ПДК и др.).

Государственные общероссийские стандарты (ГОСТы) и технические условия (ТУ, разрабатываемые с учетом особенностей производства на отдельных заводах и качества сырья) предусматривают для каждого промышленного удобрения минимальное содержание действующего вещества и максимальное содержание влаги, регламентируют основные показатели физико-химических и механических свойств удобрений, наличие токсикантов и вредных примесей для растений.

Соответствие удобрений, поставляемых сельскому хозяйству, этим требованиям контролируют с помощью стандартных методов в испытательных лабораториях непосредственно на химических заводах и в специализированных подразделениях агрохимической службы, аттестованных на проведение сертификации.

Кратко охарактеризуем основные физико-химические и механические свойства удобрений, которые наряду с содержанием действующего вещества определяют качество поставляемых сельскому хозяйству продуктов и приготовляемых из них туко-смесей.

**Влажность** поставляемых промышленностью удобрений (ее максимально допустимый уровень) должна составлять для азотных удобрений 0,15—0,3 % суперфосфатов — 3—4, остальных удобрений — 1—2 %. От этого показателя зависят все остальные физико-механические свойства удобрений.

**Гранулометрический состав** — процентное содержание отдельных фракций удобрения, полученных путем рассева на ситах различного диаметра. От него зависят склонность удобрения к уплотнению, сводообразованию при хранении, слеживаемость и рассеиваемость.

При выравненном гранулометрическом составе удобрений и их

смесей обеспечивается большая равномерность рассева центробежными разбрасывателями.

**Прочность гранул** — определяет сохранность гранулометрического состава при транспортировке, хранении и внесении удобрений. Механическую прочность гранул на раздавливание (в МПа) и истирание (в %) определяют на специальных приборах. Согласно агротехническим требованиям статическая прочность гранул (или кристаллов) удобрений, используемых для сухого тукосмешения, должна быть не менее 30—50 кг/см<sup>2</sup>, а динамическая прочность их — не менее 85—90 %.

**Слеживаемость** — склонность удобрений переходить в связанное и уплотненное состояние. Она зависит от влажности удобрений, размера и формы частиц, их прочности, давления в слое, условий и продолжительности хранения. Слеживаемость определяют по прочности цилиндрического образца удобрения, хранившегося при строго определенных условиях, и оценивается по семибалльной шкале.

К сильнослеживающимся удобрениям относятся аммиачная селитра (степень слеживаемости 2—4), порошковидный суперфосфат (степень 6—7) и мелкокристаллический хлористый калий (степень 6). Сульфат калия практически не слеживается (степень 1). Слеживаемость удобрений можно уменьшить за счет производства удобрений в гранулированном виде с минимальным содержанием влаги, повышенной прочности гранул, защиты от поглощения влаги из воздуха при хранении и транспортировке вследствие гигроскопичности.

**Гигроскопичность** — способность удобрения поглощать влагу из воздуха. При повышенной гигроскопичности удобрения отсыревают, сильно слеживаются, ухудшаются их сыпучесть и рассеиваемость, гранулы теряют прочность. Гигроскопичность удобрений оценивают по десятибалльной шкале. Кальциевая селитра имеет балл гигроскопичности около 9, гранулированная аммиачная селитра и мочевины — 5, гранулированный простой и аммонизированный суперфосфат — соответственно 4—5 и 1—3, хлористый калий — 3—4.

Гигроскопичность удобрений определяет способ их упаковки, условия транспортировки и хранения. Бестарное хранение и транспортировка допустимы только для удобрений с баллом гигроскопичности менее 3.

**Предельная влагоемкость** — характеризуется максимальной влажностью удобрения, при которой сохраняется его способность к хорошему рассеву туковыми сеялками. При смешивании влажных удобрений получают смеси с плохой сыпучестью.

**Рассеиваемость** — способность к равномерному рассеву удобрений — зависит прежде всего от их сыпучести (подвижности) и гранулометрического состава. Оценивают по десятибалльной шкале. Чем выше рассеиваемость, тем выше балл. При хорошей рассеиваемости

мости удобрений и их смесей можно с успехом использовать простые по конструкции и высокопроизводительные центробежные разбрасыватели.

Соответствие качества удобрений по содержанию действующего вещества и другим показателям контролируют с помощью применения стандартных аналитических и инструментальных методов.

ЦИНАО совместно с НПО «Агроприбор» и другими организациями разработаны комплекты специальных технических средств контроля, которыми оснащены центры и станции агрохимической службы, службы технического контроля предприятий туковой промышленности. Комплект включает шупы-пробоотборники для жидких и твердых удобрений, решетные классификаторы для определения гранулометрического состава удобрений, приборы для измерения динамической и статической прочности гранул, устройства для полевого и лабораторного определения степени слеживаемости удобрений. Практика использования этих комплектов при испытании готовой продукции доказала высокую надежность и точность их оборудования.

Побочные продукты основных химических производств и отходы промышленности, используемые в качестве удобрений, в обязательном порядке контролируются на содержание тяжелых металлов и других токсикантов. Фосфорсодержащую продукцию малотоннажных производств контролируют на содержание естественных радионуклидов. По данным испытательного центра ЦИНАО, удельная радиоактивность и содержание тяжелых металлов в промышленных фосфорных удобрениях, получаемых на основе кольского апатита, существенно ниже установленных нормативов, тогда как импортные удобрения больше загрязнены ими и имеют более высокую радиоактивность.

#### **5.4. ТРАНСПОРТИРОВКА, ХРАНЕНИЕ И ВНЕСЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ, АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Правильная организация перевозки, хранения и внесения удобрений имеет важное значение для снижения их потерь и повышения эффективности обеспечения экологической безопасности.

**Транспортировка минеральных удобрений.** От завода до складов товарных баз с хранилищами ее осуществляют железнодорожным, реже водным транспортом, а на близлежащие склады — преимущественно автотранспортом.

Затаренные удобрения перевозят в крытых железнодорожных вагонах или баржах общего назначения, преимущественно в пакетах на стоечных поддонах, устойчиво размещенных в вагоне или

проме, а для пакетной транспортировки и выгрузки удобрений из вагонов и трюмов необходимо иметь в них широкие дверные проемы и трюмные люки.

Незатаренные гранулированные удобрения лучше всего перевозить в специализированных саморазгружающихся вагонах или при перевозке удобрений, не выгружающихся гравитационно) в крытых вагонах общего назначения с самоуплотняющимися дверными или с дверными проемами, оборудованными заградительными щитами.

Фосфоритную и известняковую муку перевозят в железнодорожных цистернах-цементовозах или в специализированных саморазгружающихся вагонах. Для доставки пылевидных удобрений основным путем используют также специальные суда-цементовозы грузоподъемностью 2000 т, баржи-цементовозы грузоподъемностью 1200 т.

Транспортировку жидкого аммиака с завода на прирельсовые склады осуществляют, как правило, в аммиачных железнодорожных цистернах вместимостью 30 т, а от прирельсового склада до глубинного (хозяйственного) или до поля для непосредственного внесения — автомобильными или тракторными заправщиками.

Аммиачную воду транспортируют в герметических железнодорожных цистернах, рассчитанных на невысокое давление.

Базисные растворы ЖКУ поступают с заводов на прирельсовые склады железнодорожным или автомобильным транспортом. Способ доставки зависит от расстояния, состояния дорог и других условий. Железнодорожные цистерны для доставки удобрений от заводов до склада используют при расстоянии более 120 км. При доставке автотранспортом используют автомобильные полуприцепы с двумя-тремя пластиковыми емкостями вместимостью по 1200 л.

На качество транспортировки и приемку поступающих потребителю минеральных удобрений составляют акты, в которых указывают адресные данные изготовителя (поставщика) и получателя продукции, реквизиты, сохранность удобрений после транспортировки, исправность вагонов или других транспортных средств, наличие пломб отправителя, состояние тары и маркировки груза, соответствие условий транспортировки технологическим требованиям. При установлении недостачи груза и других несоответствий в заключении указывают возможные причины их возникновения.

Разгрузку вагонов проводят по схеме вагон — склад или вагон — автомобиль. При этом используют приемное устройство склада, а при его отсутствии — подкатной транспортер. При выгрузке удобрений из крытого вагона общего назначения в склад применяют специальные машины (типа МВС-4). Недопустимы выгрузка удобрений из транспортных средств на открытые площадки (кроме удобрений, затаренных в полиэтиленовые мешки или контейнеры), смешивание удобрений между собой и с други-



ми материалами. После выгрузки вагонов и других транспортных средств нужно тщательно их вычистить, собрать остатки и просыпавшиеся удобрения. При перевозке удобрений автотранспортом необходимо использовать специализированные автомобили с закрытым кузовом, а при перевозке (особенно незатаренных удобрений) обычными автомобилями кузова оборудуют верхними непромокаемыми укрытиями. После выгрузки удобрений кузова автомобилей следует тщательно вычистить.

**Хранение минеральных удобрений.** Его осуществляют в специальных складах, построенных по типовым проектам: прирельсовых и пристантных, а также непосредственно в хозяйствах (рис. 13). Хранение минеральных удобрений на открытых, необорудованных площадках приводит к значительным их потерям (до 10—15 %) и ухудшению качества: отсыреванию, слеживанию, снижению содержания в них питательных веществ. На специально подготовленной асфальтовой или бетонной открытой площадке, от которой устроен отвод дождевых, талых и грунтовых вод, допускается временное хранение в штабелях лишь затаренных в мягкие контейнеры и полиэтиленовые мешки удобрений (кроме аммиачной селитры). При этом штабель следует расположить на деревянных поддонах и укрыть сверху брезентом или полиэтиленовой пленкой.

Необходимость складирования удобрений обусловлена сезонностью их применения и неравномерным поступлением в течение года. Типы и размеры складов бывают разными, их рассчитывают на определенную емкость с учетом годовой оборачиваемости удобрений. Прирельсовые и пристантные склады имеют значительно большую разовую вместимость, чем склады хозяйств. Здания складов строят из железобетонных и облегченных деревянных конструкций, а также из кирпича и других местных строительных материалов. Склады, их строительные конструкции и технологическое оборудование должны иметь антикоррозионную защиту от агрессивного воздействия минеральных удобрений.

Запрещается размещение складов минеральных удобрений в водоохранных зонах (полосах) рек, озер и водохранилищ (приложение 6). Их располагают на расстоянии не ближе 200 м от жилых, общественных и производственных зданий, а в случае одновременного хранения и пестицидов — не ближе 500 м.

Вместимость прирельсовых и пристантных складов определяют, исходя из количества обслуживаемых складом хозяйств, расстояния их от склада и перспективной годовой потребности в удобрениях (на 10—15 лет), а также с учетом минимальных затрат на строительство склада и доставку удобрений в хозяйства. Годовая оборачиваемость удобрений в прирельсовых складах в зависимости от зональных условий может быть двух-, трех- и четырехкратная. Например, при перспективной годовой потребности всех хозяйств зоны обслуживания в минеральных удобрениях 15 тыс. т и

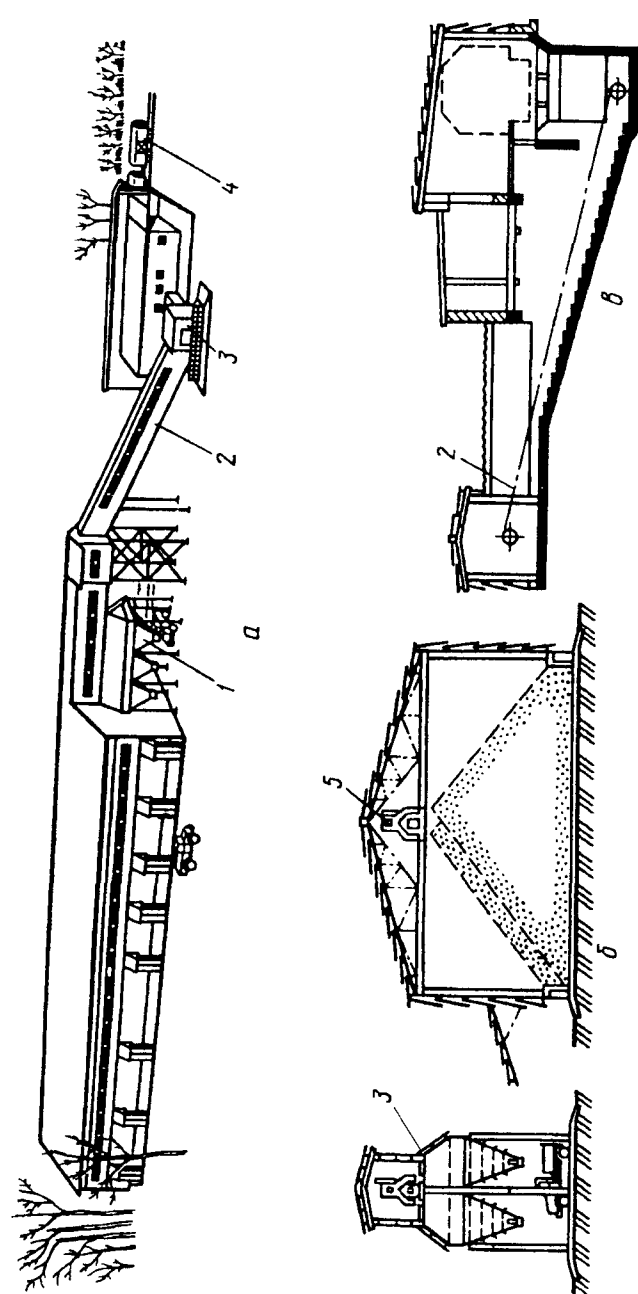


Рис. 13. Прирельсовый комплексно-механизированный склад для твердых незатаренных минеральных удобрений:

*а* — общий вид; *б* — поперечный разрез склада и бункера-накопителя; 1 — поперечный разрез приемного устройства; 2 — бункер-накопитель; 3 — транспортно-распределительный вагон; 4 — железнодорожный вагон; 5 — транспортно-распределительный вагон; 6 — поперечный разрез склада

трехкратной средней годовой оборачиваемости потребная вместимость склада составит 5 тыс. т. Размер склада хозяйства зависит также от перспективной потребности в минеральных удобрениях и коэффициента их оборачиваемости.

Склады, построенные по типовым проектам, должны отвечать следующим основным требованиям: изоляция удобрений от атмосферных осадков, талых и грунтовых вод, создание микроклимата в хранилище (исключающего сквозняки и приток влажного воздуха), возможность механизации погрузочно-разгрузочных работ (вдоль склада должен быть центральный проезд шириной 3 м для свободного передвижения машин). Для выгрузки незатаренных удобрений склад должен иметь приемное устройство, а также бетонные или асфальтовые полы выше уровня прискладской площадки не менее чем на 2 см. По периметру наружных стен склада должна быть отмостка шириной не менее 1 м с уклоном для отвода осадков и талых вод.

Затаренные и незатаренные удобрения хранят в складах раздельно, их размещают по видам и формам в особых отсеках или незатаренные удобрения разделяют переносными щитами. На лицевой стороне отсека (секции) навешивают этикетку с указанием названия удобрения, содержания в нем питательных элементов, времени получения.

Незатаренные удобрения хранят насыпью высотой 2—3 м. Рассыпанные по полу удобрения немедленно убирают.

Затаренные удобрения (кроме аммиачной селитры) укладывают на плоские или стоечные поддоны в три яруса по пять рядов в каждом поддоне (всего 15 рядов). В районах достаточного и избыточного увлажнения затаренные удобрения лучше укладывать на решетчатые настилы и стеллажи. Для обеспечения сохранности упаковки при укладке необходимо соблюдать осторожность. При разрыве упаковки удобрения нужно немедленно перезатарить.

Аммиачная селитра огнеопасна, поэтому ее хранят в специально оборудованных изолированных секциях или в отдельном складе. Пакеты с аммиачной селитрой лучше всего хранить на стеллажах или на стоечных антикоррозионных поддонах с высотой укладки в десять рядов (в два яруса по пять рядов в каждом поддоне). Расстояние от штабеля до стены должно быть 1 м, между штабелями — до 3 м.

Фосфоритную муку и пылевидные известковые удобрения хранят в специальных прирельсовых складах силосного типа.

Склады должны иметь надежное весовое оборудование. Удобрения, известковые материалы и другие средства химизации нужно отпускать со складов (баз) только по массе. Должны осуществляться точный учет поступления и расходования удобрений, правильная организация работ на складе с соблюдением техники безопасности при разгрузке и погрузке удобрений, укладке их в штабеля, подготовке удобрений к внесению и т. д.

Минеральные удобрения со складов отпускают только по на-

кладным (с контролем их массы) в двух экземплярах, из которых один с распиской получателя остается на складе.

Подготовку минеральных удобрений к внесению, растаривание и измельчение слежавшихся туков, смешивание ведут непосредственно на складе с использованием специальных машин и тукосмесительных установок, а при их отсутствии и выполнении этих работ вручную — обязательно на асфальтовой или бетонной площадке.

Погрузочно-разгрузочные операции должны проводиться без потерь и загрязнения минеральных удобрений, без разрушения тары. Содержание частиц мешкотары в растаренных удобрениях не должно превышать 0,03 % общей массы использованной мешкотары. Санитарное состояние складских помещений при выполнении погрузочно-разгрузочных операций не должно превышать допустимые нормы по запыленности и загазованности.

Для правильной организации хранения, транспортировки и внесения минеральных удобрений и тукосмесей необходимо знать и учитывать их плотность и угол естественного откоса. *Плотность* — это масса единицы объема удобрения или тукосмеси, выраженная в тоннах на 1 м<sup>3</sup>. Ее учитывают при определении необходимой вместимости складов, тары, грузоподъемности транспортных средств и т. д. Зная насыпную плотность минеральных удобрений, можно, наоборот, от их объема перейти к массе (приложение 7). *Угол естественного откоса* — угол между горизонтальной плоскостью, на которой насыпью размещается удобрение, и плоскостью насыпи (касательной линией по боковой ее поверхности). Его величину следует учитывать при закладке удобрений на хранение насыпью, при проектировании бункеров, транспортных средств, расчете необходимой площади для проведения складской подработки слежавшихся удобрений и т. д.

**Внесение минеральных удобрений.** Технологический процесс внесения минеральных удобрений включает следующие операции: погрузку удобрений на складе в транспортные средства, доставку их к месту внесения и внесение (сплошное разбросное на поверхность почвы с последующей заделкой или локальное внутрипочвенное при основном допосевном применении удобрений, внесение в рядки и подкормки пропашных культур, а также поверхностные, прикорневые и некорневые подкормки). В зависимости от наличия и технических характеристик машин, дальности транспортировки, способа и доз внесения удобрений используют следующие технологические схемы: перегрузочную, перевалочную и прямоточную.

При *перегрузочной* схеме загруженные на складе удобрения доставляют на поле транспортными средствами (автосамосвалами, тракторными прицепами, автозаправщиками или автоперегрузчиками), затем перегружают в машины для их внесения (разбрасыватели, машины для внутрипочвенного внесения, комбинированные сеялки и сажалки, подкормщики).

При *перевалочной* технологии удобрения загружают в транспортные средства, перевозят к местам внесения и выгружают там в бурты или штабеля на подготовленные места, а затем с помощью тракторных и других погрузчиков или вручную загружают в используемые для внесения агрегаты.

При *прямоточной* технологии удобрения на складе загружают непосредственно в разбрасыватели и другие машины для внесения, транспортируют в поле и вносят. Прямоточная технология эффективна при небольшой удаленности полей от склада, а также использовании автомобильных разбрасывателей при основном допосевном внесении удобрений.

Исключительно важное значение при организации рабочих процессов, особенно при перегрузочной и перевалочных схемах внесения удобрений, имеет соблюдение принципов непрерывности, ритмичности, пропорциональности и согласованности, обеспечивающееся правильным подбором машин с учетом их производительности, необходимым соотношением между машинами и людьми на различных по объему и временным затратам сопряженных операциях единого поточного технологического процесса, подготовкой рабочих мест, выбором наиболее рациональных маршрутов передвижения техники и рабочей силы.

Требуемое количество машин для внесения удобрений ( $Ч$ ) с известной рабочей производительностью может быть рассчитано по формуле

$$Ч = АВ/ПСД,$$

где  $A$  — площадь внесения удобрений, га;  $B$  — доза внесения удобрений, т/га;  $P$  — производительность, зависящая от грузоподъемности, рабочей ширины захвата и скорости движения машины, т/ч;  $C$  — число рабочих смен, дни;  $D$  — длительность рабочей смены, ч.

Для производительной работы агрегатов по внесению удобрений требуется предварительная подготовка поля. Она заключается в отбивке поворотных полос или контрольных линий для включения рабочих органов, провешивании линии первого прохода агрегата и разбивки на загоны, если на поле будут работать несколько агрегатов. При перевалочной технологии необходимо определить, отметить и подготовить места загрузки агрегата удобрениями (а при одновременном внесении при посеве — и семенами). В зависимости от размеров полей и технических характеристик агрегатов выбирают способ их движения. Наиболее распространенный способ — челночный, но на полях с малой длиной гона или при отсутствии возможности поворота за пределами поля используют способ движения агрегата с перекрытием.

Перед началом работы проверяют техническую исправность машин, их регулировку и настройку на заданную дозу внесения

удобрений, требуемую равномерность внесения, определяют оптимальную рабочую ширину захвата агрегата. Правильность установки на нужную дозу внесения удобрений проверяют в начале работы с помощью пробного заезда по всей длине гона или на определенном участке пути. Скорость движения агрегата при внесении удобрений должна быть постоянной.

**Агроэкологические требования.** Агротехнические требования и экологические ограничения при поверхностном внесении твердых непылящих и пылевидных (фосфоритная мука) минеральных удобрений подробно рассмотрены ранее для известковых удобрений. Неравномерность внесения по ширине захвата для машин с дисковыми распределяющими устройствами не должна превышать 22 % (приложение 8), а для машин с штанговыми и роторными распределяющими устройствами — 15 %. Отклонение фактической дозы от заданной не может превышать 10 %. Смежные проходы должны соответствовать рабочей ширине захвата, при которой перекрытие стыковых проходов не должно превышать 5 %.

При внутривпочвенном ленточном внесении твердых минеральных удобрений отклонение фактической дозы удобрения от заданной также не должно превышать 10 %, а нестабильность дозы по ходу движения допускается  $\pm 5$  %. Степень неравномерности распределения удобрений между отдельными сошниками машины составляет не более 10 %, допустимое отклонение между лентами — 2 см, а между стыковыми (от смежных проходов машины) — 10 см. Отклонения фактической глубины заделки удобрения от заданной не должно превышать  $\pm 1,5$  см (15–20 %), не менее 80 % удобрений должно находиться в трехсантиметровом слое почвы на заданной глубине внесения, а на поверхности и в верхнем односантиметровом слое их масса должна составлять не более 5 % фактической дозы.

Корневую подкормку зерновых культур и многолетних трав проводят, как правило, зерновыми сеялками поперек посевных рядков, а при перекрестном посеве — по диагонали к посевным рядкам. Ленты удобрений размещают на глубине 2–5 см с интервалом 12–17 см, при этом количество вырванных с корнями растений должно быть не более 3 %.

При междурядной подкормке пропашных культур удобрения вносят лентами на глубину 6–8 см.

Потери удобрений при погрузке на складе, транспортировке и перегрузке в агрегат для внесения не должны превышать 0,03 %, а их гранулометрический состав не должен изменяться более чем на 3 %.

Качество внесения безводного аммиака и аммиачной воды зависит прежде всего от строгого соблюдения установленной глубины внесения, исключаяющей потери аммиака из почвы. Отклонение фактической дозы этих удобрений от заданной не должно превышать 10 %, а отклонение доз внесения между отдельными

лемехами, сошниками (ланами) должно быть не более 15 %. Площадь поврежденной дернины при внесении этих удобрений на сенокосах и пастбищах не должна превышать 3 % обработанной площади. Защитная зона при междурядных подкормках пропашных культур должна быть не менее 15 см.

При поверхностном внесении ЖКУ необходимо систематически визуально контролировать работу всех распылителей, а при внутрипочвенном — при подъеме машины в транспортное положение в конце гона. Следует постоянно поддерживать и контролировать (с помощью манометра) давление в системе, выдерживать установленную ширину рабочего захвата с допустимым перекрытием (не более 5 %) и установленную в соответствии с заданной дозой внесения удобрений скорость движения агрегата. Неравномерность распределения удобрений по ходу движения и ширине захвата агрегата при поверхностном внесении ЖКУ, а также отклонение фактической дозы от заданной не должны превышать  $\pm 10$  %. Поверхностное внесение ЖКУ при скорости ветра более 10 м/с не допускается.

Все удобрения необходимо вносить в оптимальные агротехнические сроки, в количествах и соотношениях согласно рекомендациям агрохимической службы и научных учреждений с соблюдением установленных регламентов и агроэкологических требований.

На территории первого пояса зоны санитарной охраны источников хозяйственного водоснабжения и второго пояса — в период непосредственной угрозы паводка запрещено любое внесение не только известковых, но и фосфорных удобрений. При проведении фосфоритования почв и использовании местных удобрительных материалов необходимо осуществлять контроль за содержанием в почве тяжелых металлов.

Потери питательных элементов удобрений, особенно при несоблюдении оптимальных доз, сроков и способов их внесения, могут быть и после внесения удобрений в почву в результате вымывания в нижние горизонты и сноса стоковыми водами. Прежде всего это относится к азоту и калию на легких почвах с промывным режимом, а на склоновых землях и других подверженных эрозии почвах — ко всем элементам питания растений. Следует не допускать внесения минеральных удобрений в осенне-зимний и ранневесенний периоды на избыточно увлажненных почвах и полях с невыровненным рельефом. Весеннюю подкормку озимых культур и многолетних трав азотом нужно проводить после схода снега и прекращения поверхностного и внутрипочвенного стока талых вод. Чтобы избежать избыточного накопления нитратов в овощной продукции, надо соблюдать установленные регламенты доз азотных удобрений и не проводить азотные подкормки незадолго до наступления товарной спелости культур.

## 5.5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С МИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ

К работе с удобрениями и известковыми материалами допускаются лица не моложе 18 лет. Все работники перед началом работы с удобрениями должны пройти инструктаж по технике безопасности. Правила техники безопасности и санитарные правила при обращении с удобрениями вывешивают в помещениях склада. Для работы с удобрениями на складе и вне его все работающие должны иметь и использовать рекомендуемую для данного вида работы спецодежду и предохранительные приспособления: комбинезон, рукавицы, очки, респираторы или (при работе с жидким аммиаком) противогазы.

При хранении аммиачной селитры необходимо соблюдать правила противопожарной безопасности. Нельзя хранить ее навалом вне склада и совместно с горючими веществами (торфом, соломой, нефтепродуктами и др.). В складе, где хранят аммиачную селитру, нельзя курить, пользоваться открытым огнем и обогревательными приборами. Возникший пожар следует тушить только водой. При тушении пожара необходимо пользоваться противогазом, чтобы избежать отравления выделяющимися оксидами азота. Особую осторожность следует соблюдать при работе с жидким аммиаком. Емкости для его хранения и транспортировки должны иметь герметически закрывающиеся люки. При попадании жидких азотных удобрений на кожу их необходимо быстро смыть водой. При тяжелом отравлении аммиаком пострадавшего выносят на свежий воздух и вызывают врача. В случае прекращения дыхания пострадавшему делают искусственное дыхание.

Во время внесения удобрений нельзя находиться вблизи разбрасывающих рабочих органов машины. Загрузку удобрений в машины можно проводить только при полной их остановке. Все приводы машины должны быть закрыты шитами. Смазку и регулировку рабочих органов следует проводить только при полной остановке машины и выключенном двигателе трактора. При транспортировке и внесении удобрений нельзя находиться между трактором и машиной. Скорость движения машин при внесении удобрений не должна быть выше установленной техническими условиями. В транспорте с минеральными удобрениями запрещается перевозка людей, пищевых продуктов, питьевой воды и предметов домашнего обихода.

При непрерывной работе с удобрениями рекомендуют делать пятиминутные перерывы через каждые полчаса работы в респираторе.

По окончании работы следует принять душ или тщательно вымыться с мылом. На месте работы постоянно должны быть запас чистой воды и аптечка.

При попадании удобрений в глаза следует промыть их большим количеством чистой воды и затем обратиться в медпункт, а при ожоге промыть обожженные места сильной струей воды, обработать 5%-ным раствором спирта и наложить марлевую повязку.

Соблюдение правил техники безопасности и санитарных правил — непереносимое условие правильной организации труда при работе с минеральными удобрениями.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Как классифицируют удобрения? 2. Что такое нитратные удобрения, каковы их формы, состав, свойства и применение? 3. Какие свойства и особенности применения имеют твердые аммонийные и жидкие аммиачные удобрения? 4. Расскажите об аммиачной селитре. Каковы ее состав, свойства и применение? 5. Расскажите о мочевины. Каковы ее состав, свойства, превращение в почве и применение? 6. Что такое КАС, каковы их свойства и преимущества перед другими твердыми и жидкими азотными удобрениями? 7. Как складывается баланс азота в земледелии нашей страны и с помощью каких приемов можно снизить потери азота и повысить эффективность удобрений? 8. На какие основные группы подразделяют фосфорные удобрения? 9. Какие агоруды служат сырьем для производства фосфорных удобрений? 10. Что такое суперфосфат, каковы его состав, свойства, превращение в почве и применение? 11. Какой способ внесения обеспечивает наиболее экономное и эффективное использование фосфора суперфосфата и других содержащих водорастворимый фосфор удобрений? 12. Каким способом применяют фосфорные удобрения второй группы (преципитат, томасшлак, термофосфаты и обесфторенный фосфат)? 13. Расскажите о фосфоритной муке. Каковы ее состав, свойства и особенности применения? Как повысить эффективность фосфоритной муки? 14. Что необходимо учитывать при выборе формы фосфорных удобрений и определении способов их внесения? 15. Каковы коэффициенты использования растениями фосфора из удобрений в год их внесения и за ротацию севооборота? 16. Как складывается баланс фосфора в земледелии России? 17. Укажите основные пути повышения эффективности фосфорных удобрений. 18. Какое месторождение калийных солей используют для производства калийных удобрений в России? Каков ассортимент промышленных калийных удобрений? 19. В чем особенности свойств и применения хлористого калия? 20. Как калийные удобрения взаимодействуют с почвой? Какое влияние оказывают они на свойства почвы? 21. Какие сопутствующие компоненты содержатся в калийных удобрениях и каково их значение для растений? 22. Какие калийсодержащие местные материалы можно использовать в качестве удобрения? 23. На каких почвах и под какие культуры наиболее эффективно применение калийных удобрений? 24. Как зависит эффективность калийных удобрений от содержания подвижного калия в почвах? Как складывается баланс калия в земледелии России? 25. На каких почвах и под какие растения прежде всего необходимо вносить борные удобрения? Какие борные удобрения наиболее распространены? В каких дозах и какими способами их вносят? 26. На каких почвах и под какие культуры целесообразно внесение марганцевых удобрений? Какие марганцевые удобрения вы знаете? В каких дозах и какими способами их вносят? 27. На каких почвах и под какие культуры применяют медные удобрения? Какие формы медьсодержащих удобрений используют, в каких дозах и какими способами их вносят? 28. Какие растения прежде всего нуждаются в применении молибденовых удобрений? Какие основные молибденовые удобрения применяют? Что вы знаете о дозах и способах их внесения? 29. На каких почвах и под какие культуры необходимо внесение цин-

ка? Какие основные цинксодержащие удобрения применяют, в каких дозах? Каковы способы их применения? 30. Как подразделяют комплексные удобрения по составу и способу производства? В чем преимущества комплексных удобрений? 31. Какие формы сложных и сложно-смешанных удобрений поставляют сельскому хозяйству? Какие условия и способы применения этих удобрений наиболее эффективны? 32. Какие жидкие комплексные удобрения вы знаете? Каковы особенности их применения? 33. Какие правила необходимо соблюдать при туковсмешении? Какие удобрения и почему нельзя смешивать? 34. Какие физико-механические свойства присущи основным формам азотных, фосфорных, калийных и комплексных удобрений? 35. Какие показатели качества и безопасности минеральных удобрений контролируют при их сертификации? 36. Каким основным требованиям должен отвечать склад для хранения минеральных удобрений? 37. Какие правила нужно соблюдать при хранении различных минеральных удобрений на складах? Почему к условиям хранения аммиачной селитры предъявляют особые требования? 38. Каковы причины потерь минеральных удобрений при их транспортировке и основные пути их снижения? 39. Какие мероприятия позволяют устранить потери при подготовке минеральных удобрений к применению, перевозке к полю и внесению? 40. Какие основные агроэкологические требования и правила техники безопасности необходимо соблюдать при работе с удобрениями?

*Органические удобрения* — не только важный источник элементов питания и углерода для растений и почвенных микроорганизмов, но и средство улучшения агрономических свойств почвы и пополнения запаса в ней гумуса — одного из основных факторов почвенного плодородия, биогенности почвы. К ним относятся навоз, торф, навозная жижа, птичий помет, фекалии, различные компосты, зеленое удобрение. Органические удобрения содержат азот, фосфор, калий, кальций и другие элементы питания растений, а также органическое вещество, которое положительно влияет на свойства почвы.

Содержание азота, фосфора и калия в органических удобрениях по сравнению с минеральными невысокое, поэтому их не перевозят на далекие расстояния, а используют на месте получения и называют местными удобрениями.

Применение навоза и других органических удобрений позволяет повторно вовлекать в круговорот питательных веществ в земледелии часть элементов питания, ранее отчужденных из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур, с растительными кормами и пищевой продукцией.

Органическое вещество почвы служит регулятором расхода питательных элементов, предотвращает их потери и повышает эффективность минеральных удобрений, сглаживает возможные негативные последствия применения удобрений, выполняет санитарно-гигиеническую роль в охране биосферы. Наиболее полное использование имеющихся ресурсов органических удобрений необходимо для сохранения плодородия почвы, повышения устойчивости агроэкосистем и продуктивности агроценозов.

Основным органическим удобрением является навоз.

## 6.1. НАВОЗ

В зависимости от технологии содержания животных получают подстилочный и бесподстилочный (полужидкий и жидкий) навоз, который различается по составу, способам хранения и использования.

### 6.1.1. ПОДСТИЛОЧНЫЙ НАВОЗ

**Состав и выход навоза.** Подстилочный навоз состоит из твердых и жидких выделений животных и подстилки. Состав и удобрительная ценность его зависят от вида животных, состава кормов, количества и качества подстилки и способа хранения этого удобрения.

Количество и соотношение твердых и жидких выделений животных и их состав значительно различаются у отдельных видов скота. У лошадей твердых выделений в 3,5 раза больше, чем жидких, у овец и крупного рогатого скота — в 2,5 раза, а у свиней, наоборот, жидких выделений в 2 раза больше, чем твердых.

Твердые и жидкие выделения животных неравноценны по составу и удобрительным качествам. В жидких выделениях азота больше, чем в твердых, а фосфора, наоборот, значительно больше в твердых выделениях. Основное количество фосфора, выделяемого из организма животных, находится в кале, а большая часть калия и от 1/2 до 2/3 азота — в жидких выделениях. Азот и фосфор в твердых выделениях содержатся в составе органических соединений и переходят в доступную для растений форму после минерализации. В жидких выделениях элементы питания растений находятся в растворимой, легкодоступной форме.

Навоз лошадей и овец содержит меньше воды и больше органического вещества, а также азота и фосфора, чем навоз крупного рогатого скота и свиней.

На состав и соотношение твердых и жидких выделений животных влияют количество и качество потребляемых кормов. Чем больше скормливается сочных кормов и выше их влажность, тем больше жидких выделений. Чем корм переваримее, тем меньше сухого вещества содержится в твердых выделениях. При увеличении количества концентрированных кормов содержание в навозе азота и фосфора возрастает. В среднем из потребляемого животными корма в навоз переходит около 40 % органического вещества, 50 — азота, 80 — фосфора и до 95 % калия.

Для увеличения выхода навоза и повышения его качества большое значение имеют вид и количество подстилочного материала. Подстилка улучшает физические свойства навоза, впитывает мочу и поглощает образующийся при ее разложении аммиак, что уменьшает потери азота. Особенно важное значение имеет способность подстилки поглощать жидкость и газы. Содержание в ней азота и водных веществ также сказывается на качестве навоза.

Для подстилки применяют солому злаковых культур и торфа или торфяную крошку, реже — древесные стружки и опилки. Средние суточные нормы подстилки соломы злаковых культур и мохового торфа на одну голову составляют соответственно (кг): для коров — 4—6 и 5—8; лошадей — 2—4 и 3—5; овец — 0,5—1 и 1—1,5 и свиней — 1—2 и 1,5—2. С увеличением количества под-

стилки для коров с 2 до 6 кг почти в 1,5 раза возрастает накопление навоза и в 3—4 раза уменьшаются потери азота при его хранении (табл. 44).

#### 44. Влияние количества подстилки на накопление навоза и сохранение в нем азота

Вид подстилки	Расход подстилки, кг/сут	Накопление навоза от 1 коровы в течение стойлового периода (200 дней), т	Потери азота за время хранения (3,5 мес), %
Солома ржаная	2	6,8	43,9
	4	8,2	31,2
	6	9,4	12,4
Торф: верховой низинный	6	10,4	12,6
	20	12,2	3,4

Чаще всего для подстилки используют солому в виде резки длиной 9—15 см. В этом случае она больше впитывает мочи, равномернее увлажняется, навоз получается более однородный, плотнее укладывается в штабель и при хранении меньше теряет азота, его удобнее вносить в почву и можно равномернее распределить по полю. Потери азота из такого навоза уменьшаются почти в 2 раза, а эффективность повышается примерно в 1,5 раза.

Ценный подстилочный материал — торф, который содержит в 3—4 раза больше азота, чем солома. Он обладает значительно большей поглотительной способностью — почти полностью поглощает мочу и образующийся при ее разложении аммиак.

Для подстилки лучше использовать слаборазложившийся (содержащий менее 20 % гумифицированных органических веществ) верховой (моховой) торф влажностью 30—40 %. При использовании в качестве подстилки более разложившегося низинного торфа его берут в удвоенном количестве и во избежание загрязнения животных застилают сверху слоем соломы. Навоз на торфяной подстилке содержит меньше калия, но больше общего и аммонийного азота, чем на соломенной подстилке. Эффективность его значительно выше, особенно на дерново-подзолистых почвах.

В таблице 45 приведен состав свежего навоза отдельных видов скота при использовании соломенной и торфяной подстилок.

При использовании на подстилку мелкой стружки и древесных опилок получается навоз плохого качества. Он имеет низкое содержание азота и медленно разлагается.

В последнее время высказывается мнение о перспективности получения подстилочного навоза при содержании животных на глубокой, редко сменяемой подстилке, особенно в условиях фермерских хозяйств (Еськов, Новиков, 1998). Количество используемого подстилочного материала, прежде всего соломы, при этом может увеличиваться в 1,5—2 раза и составить до 9—12 кг соломенной резки на одну корову в сутки. Такая технология производства подстилочного навоза при отсутствии средств механизации

#### 45. Состав свежего навоза (%) в зависимости от вида животного и подстилки

Составные части навоза	На соломенной подстилке					На торфяной подстилке	
	смешанный	крупного рогатого скота	лошадей	овец	свиней	крупного рогатого скота	лошадей
Вода	75,0	77,3	71,3	64,6	72,4	77,5	67,0
Органическое вещество	21,0	20,3	25,4	31,8	25,0	—	—
Азот:							
общий	0,50	0,45	0,58	0,83	0,45	0,60	0,80
аммонийный	0,15	0,14	0,19	—	0,20	0,18	0,28
Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,25	0,23	0,28	0,23	0,19	0,22	0,25
Калий (K <sub>2</sub> O)	0,60	0,50	0,63	0,67	0,60	0,48	0,53
Кальций (CaO)	0,35	0,40	0,21	0,33	0,18	0,45	0,44
Магний (MgO)	0,15	0,11	0,14	0,18	0,09	—	—

для внесения подстилки в стойла, а затем уборки навоза может обеспечить получение большего количества навоза с минимальными энергетическими и материальными затратами и отвечает климатическим условиям России.

Количество получаемого в хозяйстве навоза зависит от вида животного, общего поголовья скота, продолжительности стойлового периода, наличия кормов и вида подстилки, возрастного состава животных.

Общее количество навоза можно определить также, исходя из имеющегося поголовья скота и количества навоза, получаемого от одной головы в год (табл. 46), с учетом потерь при работе и на пастбище.

#### 46. Примерное количество навоза (т), получаемого в год от одного животного при содержании на соломенной подстилке

Вид скота	Продолжительность стойлового периода, дни			
	240—220	220—200	200—180	Менее 180
Крупный рогатый скот	9—10	8—9	6—8	4—5
Лошади	7—8	5—6	4—4,5	2,5—3,0
Свиньи	2,25	1,75	1,5	1,0
Овцы	1,0	0,9	0,6—0,8	0,4—0,5

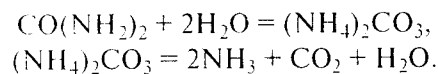
Количество навоза (т), получаемого в хозяйстве, можно подсчитать по формуле

$$H = \left( \frac{K}{2} + П \right) \cdot 4,$$

где  $\frac{K}{2}$  — количество сухого вещества корма, переходящего в навоз;  $П$  — количество подстилки, т; 4 — коэффициент пересчета (масса сырого навоза в 4 раза больше, чем масса сухого вещества корма).



**Хранение подстильного навоза.** Количество и качество навоза в значительной степени зависят от способа его хранения. При хранении навоза под влиянием микроорганизмов происходит разложение азотистых и безазотистых органических веществ. Мочевина и другие органические азотистые соединения, содержащиеся в жидких выделениях животных, превращаются в газообразный аммиак, представляющий основной источник потерь азота из навоза. Мочевина под действием фермента уреазы, выделяемого уро-бактериями, превращается в карбонат аммония, который легко распадается на аммиак, диоксид углерода и воду:



Азотистые соединения твердых выделений и подстилки представлены в основном белковыми веществами и очень медленно разлагаются с образованием аммиака. Безазотистые органические вещества навоза представлены в основном клетчаткой и другими легче разлагающимися соединениями углерода. Чем соломистее навоз, тем больше в нем безазотистых органических веществ. При доступе воздуха разложение их происходит до диоксида углерода и воды и сопровождается повышением температуры навоза до 50—70 °С. В анаэробных условиях клетчатка разлагается с образованием диоксида углерода и метана. При большем содержании в навозе легкоразлагающихся органических веществ и лучшем доступе воздуха разложение его протекает интенсивнее.

В зависимости от условий хранения разложение навоза происходит с разной интенсивностью и навоз получается неодинакового качества. Существуют плотный, рыхлый и рыхлоплотный способы хранения навоза.

При *плотном*, или *холодном*, хранении навоз укладывают слоями шириной 3—4 см и немедленно уплотняют. Штабель делают высотой 1,5—2 м, а длиной в зависимости от количества навоза. Сверху его покрывают торфом или соломой. Температура в таком плотно уложенном штабеле невысокая (20—30 °С), доступ воздуха в него ограничен, свободные от воды поры заняты диоксидом углерода. В результате микробиологическая деятельность затрудняется, поэтому разложение органического вещества протекает медленно.

Свежий навоз становится полуперепревшим через 3—5 мес. Потери азота при таком способе хранения сравнительно небольшие. Навоз, хранившийся плотным способом, содержит значительное количество аммонийного азота; эффективность его гораздо выше, чем при других способах хранения.

При *рыхлом* хранении навоза без уплотнения происходят наибольшие потери органического вещества и азота, навоз разлагается быстрее, но неравномерно, удобрительное качество его снижается (табл. 47).

47. Потери органического вещества и азота при разных способах хранения навоза, % от содержания их в свежем навозе

Способ хранения	Соломенная подстилка, потери		Торфяная подстилка, потери	
	органического вещества	азота	органического вещества	азота
Рыхлый	32,6	31,4	40,0	25,2
Рыхлоплотный	24,6	21,6	32,9	17,0
Плотный	12,2	10,7	7,0	1,0

При *рыхлоплотном* (*горячем*) хранении навоз укладывают сначала рыхлым слоем высотой 0,8—1 м. При такой укладке микробиологические процессы протекают в условиях хорошего доступа воздуха, происходит разложение органического вещества навоза, температура поднимается до 60—70 °С и наблюдаются значительные потери азота. Затем навоз тщательно уплотняют, при этом доступ воздуха внутрь штабеля прекращается, температура снижается до 30—35 °С, аэробные условия разложения сменяются анаэробными, потери органического вещества и азота уменьшаются. На первый слой навоза в том же порядке накладывают второй, затем третий и так до тех пор, пока высота штабеля не достигнет 2—3 м. В плотном состоянии навоз хранят до вывозки в поле.

При таком способе хранения разложение навоза значительно ускоряется, в нем погибают семена сорных трав и возбудителей желудочно-кишечных заболеваний, но потери органического вещества и азота значительно увеличиваются.

Рыхлоплотный способ хранения можно рекомендовать только, если применяют большое количество подстилки и навоз получается солоmistый. Такой способ хранения используют также, если вносить его нужно весной под яровые или пропашные культуры, а также если необходимо провести обеззараживание навоза.

Потери азота при разложении навоза во время хранения значительно сокращаются при добавлении к нему (при укладке в штабеля) фосфоритной муки — 2—3 % массы навоза. При компостировании с фосфоритной мукой навоз обогащается фосфором, разложение органического вещества ускоряется, в компосте накапливается значительное количество гумусовых веществ. Навозно-фосфоритный компост созревает за 2—3 мес в весенне-летнее время и за 3—4 мес зимой. В процессе разложения навоза микроорганизмами под действием образующегося  $\text{CO}_2$  и органических кислот фосфор фосфоритной муки переходит в доступную для растений форму. Одновременно происходит связывание выделяющегося из навоза аммиака с образованием  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , и потери азота сокращаются.

Для хранения навоза в хозяйстве необходимо иметь навозохранилище (наземного или котлованного типа) с жижеборником.

В северных районах при высоком уровне грунтовых вод навозохранилища устраивают на поверхности земли с боковыми бор-

тами из камня, кирпича или других материалов. В южных и юго-восточных засушливых районах, где навоз подсыхает, рекомендуют навозохранилища котлованного типа глубиной до 1 м. Навозохранилища располагают на возвышенных местах на расстоянии не менее 50 м от скотных дворов и свыше 200 м от жилых построек. Основное требование при постройке навозохранилища — устройство прочного и водонепроницаемого дна, лучше всего цементированного или асфальтированного. Размеры навозохранилища зависят от поголовья скота, продолжительности хранения и от того, какое количество навоза можно вывозить непосредственно на поля, минуя навозохранилище. Примерная площадь на одно животное для хранения навоза в течение 2,5—3 мес следующая (в м<sup>2</sup>): крупный рогатый скот — 2—2,5, молодняк крупного рогатого скота — 1—1,25, свиньи — 0,4—0,5, овцы — 0,2—0,3. Вместимость жижесборников зависит от объема навозохранилища — около 2 м<sup>3</sup> на 100 м<sup>2</sup> площади навозохранилища (табл. 48, 49).

48. Размеры навозохранилища в зависимости от его вместимости

Показатель	Вместимость навозохранилища, т			
	1000	2000	3000	6000
Ширина, м	20	20	20	40
Длина, м	30	60	90	90
Число жижесборников	4	6	8	9

49. Площадь навозохранилища (м<sup>2</sup>) на 1 голову скота при высоте укладки навоза 1,5—2 м

Число вывозов навоза за зимний период	Для крупного рогатого скота	Для лошадей	Для молодняка	Для свиней	Для овец и коз
1	5,0	4,0	3,0	1,5	0,5
2	2,0	1,5	1,25	0,6	0,2

Типовое навозохранилище, рассчитанное на хранение навоза от 100 коров, получаемого в течение 2,5—3 мес (около 300 т), имеет объем около 100 м<sup>3</sup>.

Весь навоз, который нельзя сразу вывести в поле и сложить там в штабеля, необходимо складывать в навозохранилище. Навоз надо укладывать вдоль длинной стороны навозохранилища большими правильными штабелями шириной 2—3 м, тесно примыкающими друг к другу. При такой укладке потери азота меньше и навоз разделяется по степени разложения: в одной стороне навозохранилища навоз более разложившийся, в другой — менее. Штабеля покрывают сверху торфом или землей слоем 15—20 см. Ежегодно около 70 % накапливаемого в хозяйствах навоза вывозят зимой в поле. Навоз в поле необходимо укладывать в большие, хорошо уплотненные штабеля (по 40—60 т) шириной 3—4 и высотой 1,5—2 м.

Для закладки штабеля выбирают высокое сухое место, очищают его от снега и для поглощения жижи, которая выделяется при разложении навоза, укладывают слой (20—30 см) торфа или соломенной резки. Чтобы навоз не замерзал, укладку каждого штабеля необходимо осуществлять за 1—2 дня. Уложенный в штабель навоз с боков и сверху тщательно оправляют, чтобы стенки были отвесные, а верх имел покатость для стока воды. Сверху штабель покрывают слоем торфа толщиной 15—20 см.

Недопустима укладка навоза, вывезенного в поле зимой или весной, мелкими кучами. Навоз при этом сильно выветривается и пересыхает, а зимой промерзает и затем долго оттаивает, питательные вещества из него вымываются дождевыми и талыми водами. Потери азота достигают 40 %, причем аммиачный азот, который доступен растениям в первый год, теряется полностью. Удобрительное действие навоза при этом резко снижается.

Качество навоза во многом зависит от продолжительности его хранения: с увеличением срока хранения потери азота и органического вещества из навоза возрастают. В зависимости от способа и продолжительности хранения навоз получается различной степени разложения.

По степени разложения различают следующие виды навоза: свежий, слаборазложившийся (солома почти полностью сохраняет свой цвет и прочность), полуперепревший (солома темно-коричневого цвета, легко разрывается), перепревший (солома полностью разложилась, навоз имеет вид черной мажущейся массы) и перегной (рыхлая землистая масса).

В перепревшем навозе и перегное относительное (процентное) содержание азота, фосфора и калия выше, чем в полуперепревшем, однако из 20 т свежего навоза получают 17—14 т полуперепревшего, 10 — перепревшего и 5—7 т перегной. Общее содержание азота в сухой массе навоза разной степени разложения составляет 104 кг в свежем навозе, 84—102 — в полуперепревшем, 66 — в перепревшем и 37—51 кг в перегное. Таким образом, в перепревшем навозе и перегное теряется больше азота, соответственно около 40 и 60 % исходного количества, тогда как в полуперепревшем — только около 15 %.

Не рекомендуют вносить в почву и солоmistый свежий навоз, так как разложение соломы в почве сопровождается развитием большого количества микроорганизмов и потреблением ими растворимых соединений азота и фосфора из почвы. Внесение солоmistого навоза незадолго до посева может привести к снижению урожая первой культуры. Кроме того, свежий навоз содержит большое количество семян сорных растений, а также вызывает извешившую аэрацию почвы, вредную для засушливых районов.

Наиболее рационально применение навоза в полуперепревшем состоянии, в котором лучше сохраняется азот, особенно аммонийный, и содержится больше органического вещества, чем в хорошо перепревшем навозе.

Фактическое количество навоза на скотных дворах в навозохранилищах и штабелях определяется по занятому им объему и массе 1 м<sup>3</sup> навоза. Примерная масса 1 м<sup>3</sup> свежего рыхлосложенного и уплотненного навоза составляет соответственно около 300 и 500 кг, полуперепревшего — 700—800, а сильноразложившегося — 800—900 кг (приложение 7).

**Действие навоза на почву и растения.** Полуперепревший подстилочный навоз благодаря большому содержанию органического вещества положительно влияет на физические, физико-химические и биологические свойства почвы. При систематическом его внесении увеличивается содержание гумуса и общего азота в почве, снижаются обменная и гидролитическая кислотность, уменьшается содержание в почве подвижных форм алюминия и марганца, повышается степень насыщенности основаниями. Песчаные и супесчаные почвы становятся более связными, повышаются их поглотительная способность и буферность, что способствует сохранению в них влаги и питательных веществ. Глинистые почвы под действием навоза приобретают большую рыхлость, становятся проницаемыми для воды и воздуха, легче поддаются обработке.

При систематическом внесении навоза не только снижается кислотность почвы (с 30—40 т навоза на 1 га вносится 0,3—0,5 т кальция и магния в пересчете на карбонаты), но и улучшается питание растений кальцием, магнием, серой и микроэлементами. Важное значение имеет также выделяющийся при разложении навоза диоксид углерода. При разложении 30—40 т навоза ежедневно выделяется от 35 до 65 кг CO<sub>2</sub>, что улучшает углеродное питание растений.

С навозом в почву вносится громадное количество микроорганизмов. Органическое вещество навоза — хорошо доступный источник питания и энергетический материал для жизнедеятельности почвенной микрофлоры. Поэтому при внесении навоза усиливаются микробиологическая деятельность почвы и мобилизация содержащихся в ней запасов питательных веществ.

В навозе содержатся все элементы питания, необходимые растениям. Принято считать, что в 1 т полуперепревшего навоза содержится 4—5 кг азота, 2—2,5 — фосфора и 5—7 кг калия, однако фактическое содержание этих элементов может варьировать в широких пределах (табл. 50). Доступность отдельных питательных веществ навоза зависит от его качества, а также от почвенно-климатических условий.

Коэффициент использования азота из полуперепревшего навоза первой культурой зависит от содержания в нем аммонийного азота и составляет в среднем 20—30 % общего количества азота. В первый год растения усваивают главным образом аммонийный азот. В твердых выделениях животных и подстилке азот находится в форме органических соединений, которые медленно минерализуются в почве и в первый год слабо используются растениями.

50. Содержание элементов питания и органического вещества в подстилочном навозе, % (по данным агрохимической службы)

Навоз	Влажность	Органическое вещество	Зольность	Азот общий	Азот аммонийный	Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Калий (K <sub>2</sub> O)	pH	C : N
Крупного рогатого скота	65,0	21,0	14,0	0,54	0,07	0,28	0,60	8,1	19
Свиной	60,7	21,9	17,4	0,84	0,15	0,58	0,62	7,9	13
Конский	69,0	22,6	8,4	0,59	0,09	0,26	0,59	7,9	21
Овечий	49,0	28,0	23,0	0,86	0,14	0,47	0,88	7,9	17

В жидких выделениях азот содержится преимущественно в форме растворимых соединений, легко превращающихся в аммиак. Поэтому чем больше жидких выделений поглощается подстилкой, тем богаче навоз аммонийным азотом и тем выше действие такого навоза в первый год после внесения. Навоз на торфяной подстилке обычно содержит больше аммонийного азота, поэтому и эффективность его в первый год выше, чем навоза на соломенной подстилке.

Коэффициент использования первой культурой фосфора и особенно калия из навоза выше, чем азота. Усвоение растениями фосфора в первый год составляет 30—40 %, а калия 60—70 % общего содержания их в навозе. Из навоза в первый год лучше всего используются калий. Общее содержание калия в навозе также выше, чем азота и особенно фосфора. По сравнению с минеральными удобрениями азот навоза усваивается растениями в первый год хуже, фосфор — лучше (почти в 2 раза, чем фосфор суперфосфата при разбросном внесении), а калий — примерно так же.

При внесении навоза прежде всего обеспечивается калийное питание растений. Однако удобрительное действие навоза определяется главным образом содержанием в нем общего и аммонийного азота, так как в большинстве почв, особенно Нечерноземной зоны, для нормального питания растений в первую очередь не хватает азота.

Навоз обладает значительным последействием. Использование азота, фосфора и калия из навоза второй культурой обычно составляет соответственно 15—20; 10—15 и 10—15 %, третьей — 10—15; 5—10 и 0—10 %. Использование питательных веществ навоза за ротацию севооборота (с учетом последействия) составляет: азота — 50—60 %, фосфора — 50—60 и калия — 80—90 %, что близко к использованию соответствующих питательных веществ из минеральных удобрений. При внесении навоза и минеральных удобрений в эквивалентных количествах по валовому содержанию питательных веществ суммарные прибавки урожаев всех культур за ряд лет (за одну ротацию севооборота и более) оказываются довольно близкими.

Однако урожай одних культур (клевер, пшеница, свекла) может быть выше по навозу, а других (рожь, овес, картофель) — по мине-

ральным удобрениям. Преимущество навоза или минеральных удобрений для той или иной культуры зависит как от биологических особенностей растений, так и от свойств почвы. На кислых почвах, особенно при систематическом внесении физиологически кислых минеральных удобрений, преимущество имеет навоз, а на некислых почвах — минеральные удобрения или они равноценны навозу.

**Эффективность навоза и особенности его применения в различных почвенно-климатических условиях.** Повышение урожайности сельскохозяйственных культур, особенно в Нечерноземной зоне, в значительной степени зависит от количества и качества применяемого навоза, правильности его хранения и использования. По данным научных учреждений зоны, дозы навоза 20—30 т/га дают в год внесения следующие прибавки урожая (т/га): зерновых — 0,6—0,7, картофеля — 6—7, корнеплодов и силосных культур — 15—20. Правильное использование навоза обеспечивает высокий эффект во всех зонах страны и на всех типах почв.

Навоз не только повышает урожай сельскохозяйственных культур в год внесения, но и оказывает значительное последствие. Опыты показывают, что 20—30 т навоза обеспечивают суммарную прибавку урожая 4—5 культур севооборота, равную в пересчете на зерно 2—3 т/га, т. е. каждые 10 т внесенного в почву навоза дают за время его действия прибавку урожая сельскохозяйственных культур, эквивалентную 1 т зерна.

Прямое действие (в год внесения) и последствие навоза зависят от качества и дозы навоза, а также от почвенно-климатических условий. Слаборазложившийся соломистый навоз в первый год может действовать хуже, чем во второй и третий годы. Чем больше доза навоза, тем выше его прямое действие и продолжительнее последствие.

На глинистых почвах навоз разлагается медленно, последствие его сказывается даже на 6—7-й год после внесения, на супесчаных почвах навоз разлагается быстрее и действие его не столь длительно — 3—4 года. В более увлажненной Нечерноземной зоне разложение навоза происходит быстрее, чем в засушливых южных и юго-восточных районах, где навоз разлагается слабее из-за недостатка влаги в почве. Поэтому в Нечерноземной зоне его прямое действие выше, чем в Центрально-Черноземной, а последствие может быть ниже. В засушливых юго-восточных районах последствие часто превышает прямое действие на первую культуру.

Наиболее высокий эффект дает внесение навоза в северных, западных и центральных районах Нечерноземной зоны и на севере Центрально-Черноземной зоны, более обеспеченных влагой. Обычно доза навоза в этих районах составляет 30—40 т/га.

На легких песчаных и супесчаных почвах, где навоз быстрее разлагается и питательные вещества могут вымываться, лучше

вносить меньше навоза, но чаще. Высокие прибавки урожая зерновых, сахарной свеклы и других культур дает внесение навоза на черноземных почвах и в дозе 20—30 т/га.

В засушливых районах эффективность навоза ниже, чем в более влажных. При надлежащей обработке почвы и других мероприятиях, обеспечивающих накопление и сохранение влаги, особенно при орошении, эффективность навоза в засушливых районах повышается и дозу его можно увеличить.

Дозы навоза зависят от его качества, а также удобряемой культуры. Под овощные и пропашные культуры (кукурузу, картофель, сахарную свеклу и др.) необходимо вносить более высокие дозы (40—50 т/га), чем под зерновые (20—30 т/га).

Для поддержания бездефицитного баланса гумуса на дерново-подзолистых суглинистых почвах на 1 га площади севооборота требуется 10—12 т навоза, на супесчаных — 12—15 т. Потребность в навозе возрастает в севооборотах без многолетних бобовых трав и с более высоким насыщением пропашными культурами. По данным академика РАСХН В. Г. Минеева, на серых лесных почвах, выщелоченных и типичных черноземах бездефицитный баланс гумуса достигается при их обеспеченности навозом 4—10 т/га (в зависимости от специализации севооборота), на черноземах степной зоны без орошения — 4—6 т/га, а при орошении дозу навоза увеличивают в 2—3 раза.

Наиболее рационально внесение навоза с минеральными удобрениями. При этом действие навоза и минеральных удобрений заметно возрастает. При совместном внесении половинных доз навоза и минеральных удобрений получают более высокие прибавки урожая (на 20—60 %), чем при раздельном применении полных доз этих удобрений. Объясняется это тем, что при совместном внесении создаются более благоприятные условия питания растений, чем при раздельном. За счет минеральных удобрений обеспечивается питание растений в начальный период вегетации, а навоз, постепенно разлагаясь в почве, снабжает растения питательными веществами ко времени наибольшей потребности в них. Кроме того, вследствие уменьшения вдвое дозы минеральных удобрений исключается отрицательное действие на отдельные растения повышенной концентрации солей, особенно опасной в начальный период роста.

**Время внесения и глубина заделки навоза в почву.** Навоз из навозохранилища или штабелей, сложенных в поле, следует равномерно разбросать с помощью навозоразбрасывателей и немедленно запахать. Задержка с заделкой в почву навоза только на один день приводит к большим потерям азота и снижению эффективности удобрений.

Лучше всего вносить навоз с осени под зяблевую обработку почвы. Это особенно важно для засушливых районов. В Нечерноземной зоне хороший полуперепревший навоз под пропашные

культуры позднего посева можно вносить также весной под перепахку зяби.

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

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

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

### 6.1.2. БЕСПОДСТИЛОЧНЫЙ НАВОЗ

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

На крупных специализированных фермах и животноводческих комплексах практикуют бесподстилочное содержание животных, при котором получается бесподстилочный жидкий навоз — поджиная смесь кала, мочи и технологической воды (попадающей в навоз при уборке помещения, мытье кормушек, из автопоилок). Такой навоз обладает текучестью и легко поддается перекачке по трубам самотеком и с помощью насосов. Применение подстилки для животных на крупных промышленных фермах требует больших затрат труда.

Количество и качество бесподстилочного навоза зависят от вида и возраста животного, типа кормления, продолжительности откорма или стойлового содержания, количества воды, расходуемой при уборке навоза, и технологии накопления.

Общий годовой выход смеси экскрементов при обычной влажности их около 90 % можно определить по формуле

$$G = C_{\text{в.к.}} (1 - K) \cdot 10,$$

где  $C_{\text{в.к.}}$  — сухое вещество корма, т;  $K$  — средний коэффициент переваримости кормов (для свиней — 0,7, для крупного рогатого скота — 0,6).

Средний выход бесподстилочного навоза от одной головы крупного рогатого скота составляет 50—60 л/сут (0—35 л кала и 15—20 л мочи, 5 л технологических вод), от одной свиньи — 12 л/сут (8 л кала, 2 л мочи и 2 л воды). В производственных условиях за счет технологических вод выход навоза по сравнению с количеством экскрементов животных может увеличиться на 25 %.

В зависимости от содержания воды бесподстилочный навоз бывает *поджидким* (смесь экскрементов влажностью до 90 %) или *жидким* (влажность за счет технологических вод 93 %). Смесь экскрементов, значительно разбавленную водой (влажность более 93 %), называют *навозными стоками*. Объемная масса бесподстилочного навоза близка к 1, т. е. масса 1 м<sup>3</sup> составляет 1 т. На крупных животноводческих комплексах выход бесподстилочного навоза при самосплаве составляет для комплексов на 1200 коров около 30 тыс. т в год, на 10 тыс. бычков — около 110 тыс., на 100 тыс. свиней — около 100 тыс. т. Использование такого громадного количества навоза возможно только при полной механизации и автоматизации всех процессов транспортировки, хранения и применения.

При дальнейшем разбавлении бесподстилочного навоза водой до 95%-ной влажности объем его увеличивается в 2 раза, а до 98%-ной — в 5 раз по сравнению с объемом экскрементов животных. При этом содержание сухого вещества в навозе снижается.

Применение системы прямого гидросмыва приводит к разбавлению навоза водой в 2—3 раза, соответственно возрастает потребность в емкостях для хранения и транспортных средствах для вывозки и внесения навоза. По мере разбавления навоза водой экономическое преимущество бесподстилочного содержания животных по сравнению с подстилочным утрачивается. Разбавление подстилочного навоза водой целесообразно лишь непосредственно перед внесением его с одновременным поливом или орошением. Неразбавленный жидкий навоз крупного рогатого скота и свиней, полученный на крупных фермах и промышленных комплексах, соответственно содержит (%): сухого вещества — 10—11,5 и 9,8—10,5; азота — 0,40—0,43 и 0,5—0,7; фосфора — 0,28—0,20 и 0,40—0,25; калия — 0,45—0,50 и 0,21—0,24. При кормлении бычкам концентрированных кормов получаемый навоз отличается повышенным содержанием питательных веществ (табл. 51).

# 51. Химический состав свежего полужидкого бесподстилочного навоза, % (ВИУА)

Показатель	Крупный рогатый скот		Свиньи (комплекс на 108 тыс. голов)
	горюхи (комплекс на 2 тыс. голов)	бычки на откорме (комплекс на 10 тыс. голов)	
Сухое вещество	10,0	14,5	9,8
Азот общий	0,43	0,77	0,72
Фосфор ( $P_2O_5$ )	0,28	0,44	0,47
Калий ( $K_2O$ )	0,50	0,76	0,21

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

**Хранение.** Бесподстилочный навоз хранят в зависимости от почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условий от 2 до 6 мес. Для этого необходимы прифермские и полевые хранилища. Емкость прифермских хранилищ закрытого типа должна составлять 25—40 % объема навоза, накапливаемого в течение 2—3 мес. Остальные 75—60 % навоза хранят в полевых навозохранилищах, представляющих собой открытые котлованы с пленочным покрытием дна и откосов, размещаемых в центре удобряемых массивов. Потери азота в закрытых и открытых хранилищах примерно одинаковые.

При хранении бесподстилочный навоз расслаивается. Сверху образуется плотный плавающий слой, снизу — осадок, а между ними — осветленная жидкость. Поэтому для надежной работы насосов, цистерн-разбрасывателей, дождевальных установок и равномерного внесения навоза необходимо его систематическое перемешивание для поддержания всей массы в однородном состоянии. Твердые частицы, содержащиеся в навозе перед поступлением его в хранилища, необходимо измельчать.

При наличии трубопроводов всю массу жидкого навоза можно хранить в прифермских хранилищах и перекачивать в небольшие полевые емкости с гидрантами для непосредственной погрузки в цистерны-разбрасыватели или дождевальные установки. Прифермское хранилище имеет объем не более 3—5 тыс. м<sup>3</sup>. Дно и стены емкости должны быть хорошо гидроизолированы и устойчивы к агрессивному воздействию навоза, а дно иметь уклон к заборному устройству. Глубина и форма хранилища должны позволять проводить забор навоза насосами и перемешивать его. Закрытые емкости снабжают вентиляцией во избежание накопления в них ме-

тана, сероводорода, аммиака и других вредных газов, образующих взрывоопасные смеси.

Потери органического вещества и азота при хранении бесподстилочного навоза составляют соответственно при зимнем хранении 5—8 и 9—8 %, при летнем — 9—15 и 4—14 %. Это значительно меньше, чем при хранении подстилочного навоза (см. табл. 47). В бесподстилочном навозе процессы самосогревания не протекают, его температура не повышается (зимой и весной она составляет около 10 °С, летом 17 °С). При перемешивании бесподстилочного навоза один раз в неделю потери органического вещества и азота за 4,5 мес хранения увеличиваются почти вдвое, но они все же меньше, чем при хранении подстилочного навоза.

Жидкий навоз перед использованием на удобрение следует выдерживать 6 сут в карантинных емкостях, а при необходимости обеззараживать на очистных сооружениях, термической обработкой, специальными химическими препаратами. Наиболее доступно обеззараживание с помощью метанового брожения, при котором не происходит потеря органического вещества и азота и одновременно образуется горючий газ, который можно использовать как топливо. Недопустимо использование жидкого навоза для подкормок или дождевания овощных и плодовых культур.

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

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

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

В ВИУА определены экологически безопасные годовые дозы

бесподстилочного навоза под основные сельскохозяйственные культуры с учетом количества вносимого с ним азота. Они составляют, т/га (азота, кг/га): под озимые зерновые 30—35 (120—140), картофель 38—50 (120—200), кормовую и сахарную свеклу на корм скоту 50—100 (200—400), сахарную свеклу фабричную 50—75 (200—300), кукурузу на зеленый корм и силос 60—100 (240—400), многолетние злаковые и злаково-бобовые травы на сено и зеленый корм 60—80 (240—320), естественные сенокосы и пастбища 50—60 (200—240), орошаемые культурные пастбища 75—90 (300—360), однолетние травы 30—45 (120—180). Дозы навоза приведены из расчета среднего содержания в нем азота 0,4 % (Мерзлая, 1994).

Под многолетние травы, на естественные сенокосы и орошаемые культурные пастбища годовую норму навоза вносят дробно равными частями в 2—4 срока рано весной и после укосов или стравливания зеленой массы. Под другие культуры навоз используют при осенней вспашке или весенней перепахке и предпосевной обработке почвы.

Необходимо отметить, что чрезмерные (больше рекомендуемых) дозы жидкого навоза не только не увеличивают прибавки урожая, но и могут оказывать отрицательное действие на качество растениеводческой продукции, вызывая накопление нитратов в кормовых и овощных культурах, а также загрязнение ими природных вод.

Бесподстилочный навоз целесообразно применять по разбросанной по полю измельченной соломе. После уборки зерновой культуры на 1 га обычно остается 5—7 т соломы, на которую вносят 80—100 т жидкого навоза. Солому измельчают и разбрасывают непосредственно при уборке зерновыми комбайнами или оставшуюся на поле измельчают и разбрасывают косилками-измельчителями. Затем солому и внесенный навоз заделывают в почву на глубину пахотного слоя.

Рациональный способ использования бесподстилочного навоза — компостирование его с торфом (см. с. 228), соломой, другими растительными остатками. Для приготовления компоста с соломой на 1 т ее берут 3—4 т бесподстилочного навоза.

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

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

## 6.2. НАВОЗНАЯ ЖИЖА

Навозная жижа — ценное быстродействующее азотно-калийное удобрение. Она содержит в среднем 0,2—0,3 % N и 0,4—0,5 %  $K_2O$ , фосфора в ней очень мало — 0,01 %.

В зависимости от условий хранения содержание азота и калия в навозной жиже может сильно колебаться: N — от 0,02 до 0,8 %, а  $K_2O$  — от 0,1 до 1,2 %.

Азот и калий в навозной жиже находятся в хорошо растворимой и легкодоступной для растений форме. Азот содержится главным образом в форме мочевины  $[CO(NH_2)_2]$ , которая под влиянием уробактерий быстро превращается в карбонат аммония  $[(NH_4)_2CO_3]$ , а последний легко разлагается с образованием  $CO_2$ ,  $H_2O$  и  $NH_3$ . При неправильном хранении навозной жижи аммиак быстро улетучивается и удобрительная ценность ее резко снижается.

Навозную жижу необходимо хранить в плотно закрытом жижесборнике. Потери азота при этом уменьшаются, так как воздух быстро насыщается  $CO_2$ , образующимся при разложении мочи, и диссоциация  $[(NH_4)_2CO_3]$  с образованием аммиака задерживается. Потери азота сократятся еще больше, если поверхность жижи в жижесборнике покрыть тонким слоем нефти или отработанного масла.

Общее количество навозной жижи, получаемой за год от разных видов животных, зависит от продолжительности стойлового периода, количества и качества подстилки и кормов, устройства скотного двора и навозохранилища. От одной головы крупного рогатого скота за стойловый период (220—240 дней) накапливается в среднем 2—2,5 м<sup>3</sup> жижи, такое же количество получается от трех голов молодняка крупного рогатого скота до двух лет и от 10—12 телят.

Навозную жижу можно вносить в основное удобрение и в подкормку, а также использовать для приготовления компостов с торфом.

Под зерновые культуры, картофель и корнеплоды в основное удобрение вносят 15—20 т/га навозной жижи, под овощные — 20—30 т/га. Поскольку жижа почти не содержит фосфора, целесообразно одновременно применять фосфорные удобрения.

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

Ранневесеннюю подкормку озимых и луговых трав проводят перед их боронованием — 4—5 т/га навозной жижи, разбавленной в 2—3 раза водой. В подкормку под пропашные и овощные культуры навозную жижу (5—10 т/га) вносят при помощи культиваторов-растениепитателей на глубину 10—15 см в середину междурядий.

При поверхностном внесении навозной жижи до посева или в подкормку ее необходимо немедленно заделать в почву, чтобы



сократить потери азота. Задержка с заделкой на 2—4 дня снижает эффективность жижи на 30—50 %.

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

### 6.3. ПТИЧИЙ ПОМЕТ

Птичий помет — полное быстродействующее удобрение, содержащее азот, фосфор и калий в легкодоступной для растений форме (табл. 52).

52. Годовой выход и состав птичьего помета

Виды птицы	Годовой выход, кг на 1 голову, при содержании		Состав подстилочного помета, % на сырое вещество			
	выгульном	клеточном	вода	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Куры	6—8	50—70	55	1,6	1,5	0,8
Утки	8—10	100—170	70	0,8	1,0	0,3
Гуси	10—12	250—380	75	0,5	0,5	1,0

Содержание азота, фосфора и калия в птичьем помете резко изменяется в зависимости от количества и качества корма: чем более концентрированный корм получает птица, тем больше в помете питательных веществ.

Азот в помете находится главным образом в форме мочевой кислоты, которая быстро разлагается с образованием аммиака. При неправильном хранении помета в результате улетучивания аммиака происходят большие потери азота, достигающие за 1,5—2 мес 50 % и более. Для сохранения азота в помете лучше всего применять в птичниках сухую торфяную подстилку, которая поглощает выделяющийся из помета аммиак, или хранить его в смеси с торфом. Подстилочный куриный помет имеет относительно невысокую влажность, сыпуч и может использоваться как обычный навоз в эквивалентных ему по содержанию азота дозах. При влажности 55 % 1 т помета содержит примерно 16 кг азота, 1,5 — фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и 8 кг калия (K<sub>2</sub>O).

Бесподстилочный помет, получаемый при клеточном содержании кур-несушек, представляет собой липкую мажущуюся массу с крайне неприятным запахом. При влажности около 65 % он содержит в среднем 2,0 % азота, из них 0,5 % аммонийного, 1,5 — фосфора и 0,5 % калия. Непосредственно для удобрения его не применяют (прежде всего из-за неблагоприятных физико-механических свойств). Поэтому такой помет идет в основном для приго-

товления компостов с торфом или соломой, причем их берут столько, чтобы получилась достаточно рыхлая и сыпучая масса (обычно в соотношении 0,5—1,0 : 1,0). При отсутствии торфа можно пересыпать помет сухой перегнойной землей или перегнившим навозом, а также добавить к нему 7—10 % суперфосфата, который почти полностью связывает выделяющийся аммиак.

ВНИПТИХИМ и малым предприятием «Плодородие» разработана и внедряется промышленная технология приготовления пометных компостов на Шекснинской птицефабрике в Вологодской области. Эта птицефабрика специализируется на производстве мяса бройлеров. Поголовье кур при полной загрузке мощностей составляло 1,3 млн. Содержание их клеточное с полной механизацией трудоемких процессов. Выход птичьего помета в сутки достигает 200—210 т, из них пригодного для производства компостной смеси — 125—130 т, остальные 75—80 т составляют пометные стоки с влажностью более 80 % и малым содержанием питательных веществ, которые используют для ускорения созревания компостов, вводя в штабеля компостируемой смеси. Соотношение между пометом, торфом и древесными опилками установлено 1 : 0,5 : 0,5. Для поглощения аммиачного азота вводят фосфогипс из расчета 5 % массы помета, для снижения кислотности торфа — 1 % известняковой муки к массе торфа. Чтобы предотвратить смерзание компостной смеси в зимний период, добавляют хлористый калий (3 % массы смеси).

Производство компостной смеси (320 т в смену) в стационарном цехе осуществляют следующим образом. Доставленный в цех помет, торф и минеральные удобрения питателями-дозаторами и транспортерами подаются в смесительную установку. Здесь они перемешиваются и полученная смесь поступает в приемник-накопитель. С помощью конвейера смесь перегружают в транспортные средства, вывозят на площадку компостирования и формируют в штабеля для прохождения ферментации (компостирования).

Для ускорения компостирования смеси в штабелях ее перемешивают и аэрируют с помощью погрузчика непрерывного действия.

На отдельных птицефабриках помет, получаемый при клеточном содержании кур, высушивают в специальных сушилках при температуре 600—800 °С. Термически высушенный помет имеет меньшую влажность (17—20 %) и содержит около 4,5 % азота, из них примерно 0,6 % аммонийного, 3,7 — фосфора и 1,7 % калия.

Хорошо сохраненный птичий помет — ценное удобрение, дающее высокие прибавки урожая сельскохозяйственных культур. Его можно применять под все культуры в качестве основного удобрения — 2—5 т/га с заделкой под плуг, а также в меньших дозах в подкормку озимых или пропашных культур с заделкой соответственно бороной и культиватором при междурядных обработках.

Доза сырого помета для подкормок составляет 0,8—1 т/га, для жидкой подкормки применяют вдвое меньшую дозу при разбавлении сухого помета водой в 6—7 раз.

## 6.4. ТОРФЯНЫЕ КОМПОСТЫ

Торф — важный, но невозобновляемый источник увеличения ресурсов органических удобрений. Его широко используют в подстилку и для приготовления различных компостов, тепличных и рассадных грунтов. Поставка торфа сельскому хозяйству России в 90-е годы прошлого столетия достигала 140 млн т в год.

Расчеты показывают, что разведанные извлекаемые запасы торфа, особенно в европейской части страны, могут при нынешних масштабах добычи быть исчерпаны в течение жизни одного-двух поколений. Торфяные болота, как известно, играют исключительную экологическую роль в регуляции биоклиматических условий в масштабах планеты и прилегающих регионов. Торфяники являются уникальным созданием природы, позволяющим аккумулировать влагу и регулировать водный режим.

Запасы торфа в природе образуются в результате неполного разложения болотных растений в условиях повышенной влажности и недостаточного доступа воздуха. Торфяные болота в зависимости от условий образования и характера преобладающей растительности делят на три типа: верховые, низинные и переходные. Торф различных типов болот отличается по агрохимическим свойствам и качеству.

**Характеристика разных типов торфа.** Верховые болота формируются в понижениях на водораздельных плато, они питаются в основном водами атмосферных осадков, преобладающая растительность — сфагновые мхи, при медленном разложении которых в анаэробных условиях образуются кислые продукты. Поэтому *верховые торфа* обычно низкозольные, сильноокислые (табл. 53), с большим количеством органического вещества, но малой степенью его минерализации, обладают высокой поглотительной способностью — 1 кг сухого торфа может поглотить 8—15 л влаги. Верховой слабо разложившийся торф целесообразно использовать в качестве подстилочного материала и для приготовления компостов.

Низинные болота располагаются в понижениях рельефа на межводораздельных территориях, они питаются не столько за счет осадков, сколько за счет грунтовых и сточных вод, имеют более разнообразную травянистую и древесную растительность, с прилегающих склонов в болота смывается значительное количество минеральных почвенных частиц. *Низинные торфа* имеют повышенную зольность и меньшую, чем верховые торфа, кислотность. При подпитке грунтовыми водами, прошедшими через карбонатные породы, низинные торфа могут иметь близкую к нейтральной

## 53. Агрохимическая характеристика различных типов торфа

Торф	pH	Содержание, % на абсолютно сухое вещество					
		органического вещества	зольность	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
Верховой	2,8—3,6	98—95	2—5	0,8—1,5	0,03—0,15	Не более 0,1	0,2—0,5
Переходный	3,6—4,8	95—92	5—8	1,2—2,5	0,1—0,3	Около 0,1	0,5—2
Низинный	4,8—5,8	92—85	8—15	2,5—3,5	0,2—0,5	До 0,15	2—5

и даже щелочную реакцию. В них меньше органического вещества, но оно имеет большую степень разложения. Поглотительная способность низинных торфов меньше, чем верховых. Низинные торфа используют главным образом для компостирования.

*Переходные торфа* по своим свойствам занимают промежуточное положение между верховыми и низинными. Их применяют для приготовления компостов, а также в подстилку животным.

Все торфа богаты органическим веществом и, следовательно, азотом, но бедны калием. Высокозольные низинные торфа могут содержать значительные количества кальция и фосфора.

Для приготовления компостов можно использовать низинные, переходные, а также более разложившиеся верховые торфа. Большая часть содержащегося в торфе азота находится в малодоступной органической форме и только 2—3 % в минеральной (аммонийной и нитратной).

Органическое вещество торфа очень устойчиво к микробиологическому разложению, минерализация органических соединений азота происходит очень медленно. Многие виды торфа имеют кислую реакцию, что также затрудняет разложение их в почве. Микроорганизмов в торфе из-за кислой реакции, недостатка растворимых форм азота и легкодоступных органических веществ очень мало. Поэтому использование на удобрение торфа в чистом виде малоэффективно и не оправдано с экономической точки зрения. Это допустимо только по отношению к сильно разложившемуся высокозольному низинному торфу с нейтральной реакцией вблизи мест его заготовки и торфу, богатому известью (торфотуф) или фосфором (вивианитовый торф). Эффективность торфа повышается при компостировании с биологически активными органическими удобрениями — навозом, навозной жижей, фекалиями или с минеральными удобрениями — фосфоритной мукой, известью, золой и др.

**Торфонавозные компосты.** При компостировании с навозом торф обогащается микроорганизмами, снижается его кислотность, в компосте усиливается микробиологическая деятельность, интенсивнее происходит разложение органического вещества и увеличивается количество доступного растениям азота. Торф благо-

даря высокой поглотительной способности полностью связывает аммиак, образующийся при разложении органического вещества, потери азота из навоза резко уменьшаются. Хорошо приготовленный торфонавозный компост не уступает по эффективности навозу.

Действие компоста еще более повышается при добавлении к нему 2—3 % фосфоритной муки, а при использовании кислого торфа — 1—2 % извести. Для компостирования с навозом необходимо использовать проветренный торф с влажностью 60—65 %. Чем выше степень разложения торфа, тем больше для приготовления компоста можно брать торфа и меньше навоза. При закладке компоста зимой на одну часть навоза берут одну часть торфа, а при весенне-летней закладке — две-три части. Качество компоста выше при более узком соотношении между торфом и навозом.

Торфонавозные компосты следует готовить в поле на месте их применения, вблизи животноводческих ферм или в навозохранилище.

При *послойном способе* компостирования торф и навоз поочередно укладывают в штабель шириной не менее 3 м и высотой 2 м (длина произвольная). Толщина слоев торфа и навоза зависит от соотношения их в компосте. Штабель завершают слоем торфа.

При зимней закладке лучше использовать *очаговый способ* компостирования — на торфяную подушку выгружают в два ряда навоз кучами в шахматном порядке (примерно с расстояния 1 м), промежутки между кучами навоза засыпают торфом и смесь укладывают с помощью бульдозера в бурты.

Летом компостирование можно проводить *площадочным способом* — на торфяную подушку слоем 25—30 см сгружают и равномерно распределяют навоз в необходимом количестве, затем за 2—3 прохода тяжелой дисковой бороны смесь перемешивают и сгребают бульдозером в штабеля, укрываемые слоем торфа. Уплотнение компоста в буртах и штабелях не проводят.

В зависимости от степени разложения торфа такие компосты созревают за 4—6 мес.

**Торфожижевые компосты.** Накапливающуюся в хозяйстве навозную жижу целесообразнее использовать для компостирования с торфом. При этом резко сокращаются потери азота из навозной жижи и повышается удобрительное качество торфа. Для компостирования с навозной жижей подходят все виды торфа, кроме изветсковых.

Торф укладывают в два сплошных смежных вала так, чтобы между ними образовалось корытовидное углубление (толщина торфа в местах соприкосновения валов и с торцов 40—50 см), в которое заливают жижу. На 1 т проветренного торфа в зависимости от его влажности берут от 0,5 до 1 т навозной жижи. После впитывания жижи всю массу сгребают бульдозером в штабеля, которые не уплотняют.

Аналогично можно заготовить компосты из торфа и жидкого навоза (соотношение между торфом и навозом 1 : 1 или 2 : 1).

При хранении компоста в нем энергично протекают процессы нитрификации аммиака, а образующиеся нитраты подвергаются денитрификации с образованием молекулярного азота. Поэтому при длительном хранении компоста возможны значительные потери азота. Чтобы затормозить процессы нитрификации, денитрификации и уменьшить потери азота, рекомендуют добавлять в компосты 0,5—1 % хлорида калия, так как хлор подавляет процесс нитрификации. Для обогащения компоста фосфором при компостировании добавляют фосфоритную муку (20—30 кг на 1 т компоста).

Торфожижевые компосты можно вносить через 1—1,5 мес после закладки. По эффективности они не уступают навозу.

Хорошо разложившийся торф, смешанный с навозной жижей или жидким навозом, можно сразу вносить в почву без компостирования.

**Торфофекальные компосты.** В 1 т фекалий содержится до 8—10 кг N, 2—4 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 2—3 кг K<sub>2</sub>O. Азота в фекалиях больше, чем в навозе. Он находится преимущественно в форме аммония и мочевины, которая разлагается с образованием аммиака, а последний легко улетучивается. При внесении фекалий в чистом виде происходят большие потери азота, а неравномерное распределение фекалий по полю вызывает значительные колебания урожая. Кроме того, при внесении их в чистом виде возможно заражение почвы и продукции гельминтами и различными болезнями.

При компостировании торфа с фекалиями обеспечивается наиболее рациональное использование на удобрение как торфа, так и фекалий. При этом фекалии обеззараживаются, резко уменьшаются потери азота, усиливается переход азота и других питательных веществ, содержащихся в торфе, в усвояемую форму. Смешивать с фекалиями можно все виды торфа.

Приготовление и использование торфяных компостов требуют значительных затрат труда и средств. Перевод технологии производства торфонавозных и других компостов на промышленную основу позволяет значительно снизить себестоимость этих удобрений. Однако для этого требуется система специальных машин.

## 6.5. НЕТРАДИЦИОННЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ

В качестве других нетрадиционных органических удобрений можно использовать сапропель, компосты из городского мусора и канализационного ила, гидролизного лигнина, древесной коры и опилок, вермикомпосты и гуминовые препараты, а также солому пашенных злаков.

### 6.5.1. САПРОПЕЛЬ, БЫТОВЫЕ ОТХОДЫ

**Сапропель.** Это донное органико-минеральное отложение пресноводных озер и прудов. Применяемые в качестве местного удобрения сапропели должны содержать влаги не более 60 %, органического вещества — не менее 10 % (обычно в нем 4—6 % азота), в том числе долю гуминовых веществ не менее 10 %, pH водной вытяжки не менее 6,5. Минеральный состав (за исключением содержания тяжелых металлов и извести) не является определяющим, количество азота, фосфора и калия должно составлять соответственно не менее 0,5; 1 и 1 % на сухую массу. В донных отложениях может происходить концентрирование тяжелых металлов даже когда исходное их содержание в жидкой фазе незначительное. Применение сапропеля требует больших затрат на его добычу, транспортировку и внесение.

**Бытовые отходы.** Составляют 0,15—0,25 т/год на одного жителя России. Основную долю твердых бытовых отходов городов составляют бумажные и органические пищевые компоненты, при этом состав мусора значительно изменяется по сезонам. Бытовые отходы имеют высокую степень биологического загрязнения, могут быть опасны в эпидемиологическом отношении и требуют обеззараживания. Состав сточных вод, их осадка (ОСВ) и образующегося при биологической очистке ОСВ активного ила сильно различается в зависимости от вида производства. Например, содержание основных элементов питания растений в осадке сточных вод может колебаться: азота — 1—7 %, фосфора — 1—4 и калия — 0,2—3 %.

Твердые и жидкие отходы жилищно-коммунального хозяйства и промышленных производств могут быть сильно загрязнены тяжелыми металлами, органическими и минеральными кислотами, фенолами, полиароматическими углеводородами, радиоактивными веществами, а также вредными микроорганизмами. Использовать эти отходы можно только после компостирования и контроля исходных компонентов и компостов на соответствие установленным требованиям качества и безопасности. Компосты из твердых бытовых отходов и ОСВ (а также приравненного к ним по важнейшим агроэкологическим нормативам активного ила) должны иметь влажность не более 50 %, содержать соответственно не менее 35 и 45 % органических веществ в расчете на сухую массу с долей гуминовых веществ не менее 5 %, азота, фосфора и калия соответственно 1,0; 0,4; 0,3 и 1,5; 1,0; 0,2 % на сухую массу, соотношение С : N — не более 30, размер частиц соответственно не более 25 и 8 мм. Содержание пластических масс в компосте из твердых бытовых отходов должно быть не более 0,9 % и прочих балластных включений — не более 2,5 %.

### 6.5.2. ГИДРОЛИЗНЫЙ (ТЕХНИЧЕСКИЙ) ЛИГНИН

Гидролизный лигнин — это основной отход гидролизной промышленности. Он содержит очень мало элементов питания, имеет кислую реакцию и беден микрофлорой, но обладает высокой влагоемкостью и поглощательной способностью. При его компостировании с бесподстилочным навозом, навозной жижей и жидким птичьим пометом получают обогащенные азотом и другими элементами питания удобрения с хорошими физико-механическими свойствами, высокой биологической активностью, при этом ограничиваются потери азота за счет улетучивания аммиака.

### 6.5.3. ДРЕВЕСНАЯ КОРА И ОПИЛКИ

Их можно использовать путем компостирования с навозом, навозной жижей и другими азотсодержащими добавками. Такие компосты должны содержать не менее 80 % органического вещества на сухую массу при влажности не более 60 %, долю гуминовых веществ 10—15 % от общего количества органического вещества, pH водной вытяжки — не менее 5,5, отношение С : N — не более 30, азота, фосфора и калия (% на сухую массу) — соответственно 3,0; 0,1 и 0,1.

Соотношение компостируемых материалов и навоза обычно составляет 1 : 1; 2 : 1 или 3 : 2, могут также добавляться фосфоритная мука и хлористый калий, обогащающие компост и ускоряющие его созревание (длительность компостирования в штабелях обычно не менее 3 мес).

### 6.5.4. ГУМИНОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ И БИОГУМУС

**Гуминовые препараты.** Относятся к группе физиологически активных веществ, активизирующих жизнедеятельность почвенных микроорганизмов и растений, при их внесении в почву ускоряются процессы гумификации, улучшаются водно-физические свойства и тепловой режим почв, стимулируется рост и развитие растений. Разнообразные гуминовые препараты получают путем кислотной или щелочной, а также электроимпульсной переработки природного сырья — улей, торфа, каустобиолитов и пр.

Препаративные формы могут быть самые разнообразные — от жидких безбалластных (например, гумат калия 5—10%-ной концентрации, используемый для предпосевной обработки семян из клубней, в подкормки при поливах, при разбавлении в 500—1000 раз) до гранулированных органико-минеральных комплексных удобрений (например, выпускаемое под торговым названием «ТОГУМ» торфогуминовое удобрение на основе торфа с содержанием

до 4 % гумата калия, а также с введением азота, фосфора и микроэлементов).

Эти препараты широко используют при выращивании цветов, рассады, горшечных культур в домашних условиях, фермерских хозяйствах, садово-огородных кооперативах, при создании и эксплуатации декоративных и спортивных газонов, тепличных овощеводческих хозяйствах и реже — при выращивании полевых культур. Гуминовые препараты, как правило, не содержат токсичных компонентов (за исключением гуматов из бурых углей и сапропелей), содержащих тяжелые металлы. При сертификации и регистрации их проверяют на безопасность.

**Биогумус, получаемый при вермикультуре.** Одним из интенсивно развивающихся направлений в решении проблемы утилизации органических отходов растениеводства, перерабатывающей промышленности и городского хозяйства является вермикультура — промышленное производство дождевых червей и биогумуса. В вермикультуре используют в основном гибрид красного калифорнийского червя. Он пригоден к промышленному разведению и способен перерабатывать разнообразные органические субстраты: навоз всех видов животных, помет птиц, солому и другие растительные остатки, осадки сточных вод, органические материалы городского мусора, пищевые и промышленные отходы. Продолжительность жизни красного червя до 16 лет, а обычных дождевых червей — 4 года.

В течение года при температуре около 20 °С на соответствующем субстрате одна пара червей может дать 3 тыс. молодых особей и за один цикл выращивания (3 мес) с 1 м<sup>2</sup> можно собрать до 30 кг биомассы червей. В короткие сроки можно получить большую массу червей (с содержанием 67—72 % белка, 7—19 % жира, 18—20 % углеводов и 2—3 % минеральных веществ), которую после измельчения и смешивания с наполнителями либо в виде автолизата используют для кормления птицы, животных, пушных зверей, рыб и получения биологически активных веществ для производства медицинских, пищевых и кормовых препаратов. При переработке червями 1 т органических отходов (в расчете на сухое вещество) в биомассе червей получают около 100 кг полноценного белка и 600 кг биогумуса с влажностью 60—65 %, используемого в качестве органического удобрения.

Проходя через кишечник червей, органические отходы субстрата подвергаются биохимическим превращениям до легкогидролизуемых соединений, в капролитах (экскрементах червей) концентрируются азот и другие макро- и микроэлементы в потенциально доступной для растений форме. Биогумус обладает высокой водостойкостью и улучшает структуру почвы, активизирует ее биологическую активность, частично нейтрализует почвенную кислотность. Он содержит ферменты и биостимуляторы, обладает бактерицидными свойствами, не имеет запаха и по консистенции подобен перегною, получаемому при разложении навоза и традиционных компостов. Благодаря деятельности червей и применению биогумуса можно

связывать находящиеся в отходах и почве тяжелые металлы, ограничивать поступление в растения радионуклидов и накопление нитратов в получаемой растениеводческой продукции.

В России переработкой органических отходов путем вермикультивирования занимаются свыше 1 тыс. предприятий и организаций, это в основном товарищества и акционерные общества, фермеры и другие производители с небольшими объемами выхода гумуса — от 10 до 1000 т в год. Биогумус приобретает популярность у населения, занимающегося овощеводством и садоводством, благодаря небольшим дозам внесения (2,5 т/га при сплошном и 250—300 кг/га при локальном внесении) и меньшим материальным и трудовым затратам на единицу площади по сравнению с расходами на применение традиционных органических удобрений.

Практика применения биогумуса при выращивании прежде всего овощных культур свидетельствует о высокой его эффективности как органического удобрения в условиях мелкотоварного производства, а также в овощеводстве защищенного грунта. В то же время в опытах ВНИПТИОУ с различными полевыми культурами — картофелем, ячменем и овсом доза вермикомпоста 14—18 т/га влияла на урожай практически одинаково с эквивалентной по азоту дозой навоза (20—26 т/га), а половинная доза вермикомпоста не оказывала достоверного влияния на продуктивность изучавшихся культур. Слабо было выражено и последствие вермикомпоста.

Практическое использование биогумуса нередко осуществляется без должного агрохимического и санитарно-гигиенического контроля, а также без надежного научного обоснования. В настоящее время разработаны технические условия производства и агроэкологические требования к качеству биогумуса, проводится его сертификация. Очевидна важная агрономическая и экологическая значимость проблемы переработки органосодержащих отходов сельского хозяйства, промышленности и городского жилищно-коммунального хозяйства с помощью вермикультуры, а также необходимость развития научных и технологических разработок по получению и использованию ее целевых продуктов, в том числе биогумуса.

#### 6.5.5. СОЛОМА ЗЕРНОВЫХ ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР

Ее используют в качестве подстилочного материала (в виде резки) и для компостирования с различными традиционными органическими удобрениями, ограниченно (после запарки кипяченой соломой) для кормления сельскохозяйственных животных, в автолизном и других видах производств. При сложившейся структуре посевных площадей выход соломы в земледелии страны оценивается в 100 млн т в год, около половины этого количества составляет излишек. Этот излишек может служить значительным резервом восполнения убыли органического вещества (углерода) при минерализации гумуса почвы.

Кроме того, при заделке оставляемой при уборке зерна соломы в почву возвращается с каждой ее тонной 5—7 кг азота, 1,5—2,5 — фосфора и 9—12 кг калия. Поэтому целесообразно излишки соломы (если они не находят другого применения) одновременно с уборкой урожая или сразу после нее (из валков) измельчать, равномерно распределять по поверхности поля и заделывать в почву в качестве удобрения. Не следует сразу запахивать солому на полную глубину, а сначала для лучшего ее разложения без накопления токсичных веществ нужно заделать ее на глубину 8—10 см путем дискования или лущения. На полях с внесением соломы размещают прежде всего бобовые и удобряемые азотом (и органическими удобрениями) пропашные культуры.

В первый год после внесения соломы в почву усиливаются процессы иммобилизации азота и может ухудшиться азотное питание возделываемых культур. Чтобы избежать этого, рекомендуют дополнительно вносить азотные удобрения из расчета 10 кг азота или бесподстилочный навоз и навозную жижу из расчета 3—5 т на каждую тонну заделываемой в почву соломы. В этих условиях солома по воздействию на урожай последующих культур может не уступать навозу и компостам.

В опытах ВИУА на тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве средней окультуренности запахивание соломы в количестве 2—5 т/га не сказывалось на урожае первой культуры — картофеля, но приводило к увеличению (на 1,5—2 ц/га) урожая ячменя и озимой пшеницы на второй год (Мерзлая, 1998). При заделке оставшейся после обмолота зерна соломы в почву значительно сокращаются затраты труда и средств на уборку урожая и обычно несколько повышается продуктивность посевов последующих культур, частично компенсируется минерализация органического вещества почвы. При решении вопроса о целесообразности применения соломы на удобрение необходимо учитывать насыщенность севооборота зерновыми злаками, фитопатогенную обстановку и засоренность посевов, особенности азотного режима почв, применения органических и минеральных удобрений в хозяйстве.

#### 6.6. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ ВНЕСЕНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Агротехнические требования к качеству внесения твердых и жидких органических удобрений, а также экологические ограничения имеют общий характер и специфику в зависимости от особенностей состава и применения удобрений.

Рабочая скорость движения агрегатов для внесения этих удобрений должна составлять 7—12 км/ч. Допускаются отклонение фактической дозы внесения от заданной не более 10 % и неравно-

мерность распределения по ширине захвата не более 25 %, а по длине прохода агрегата — до 10 % для твердых и 25 % для жидких органических удобрений при поверхностном их внесении. Не должно быть огрехов и неудобренных участков. Распределенные по поверхности поля удобрения должны быть заделаны в почву не более чем через 2 ч.

При транспортировке жидкого навоза по трубопроводам максимально допустимый размер механических и твердых растительных включений не более 10 мм, а его влажность должна быть не менее 91 %. Жидкие органические удобрения вносят после карантинного хранения в течение 6 сут. При обнаружении возбудителей опасных заболеваний животных удобрения обеззараживают или выдерживают под контролем ветеринарной службы: навоз КРС — в течение 6 мес, свиней — 12 мес.

Не допускается использование жидких органических удобрений на территории первого и второго поясов зоны охраны источников водоснабжения и минеральных источников.

При использовании нетрадиционных органических удобрений контролируют содержание в них (и в исходных компонентах) тяжелых металлов и других токсикантов, наличие болезнетворных микроорганизмов. Согласно экологическим нормативам на содержание тяжелых металлов в материалах, используемых в качестве нетрадиционных органических удобрений, и компостах на их основе количество кадмия не должно превышать 20 мг/кг, кобальта — 100, хрома — 750, меди — 1000, ртути — 16, марганца — 3000, молибдена — 50, никеля — 300, свинца — 750, цинка — 2500 мг/кг. Гитр кишечной палочки должен быть не менее 0,01 г, содержание фенолов и полициклических углеводородов соответственно не более 15 и 0,02 мг/кг, стронция-90 — не более  $5 \cdot 10^{-10}$  Ки/кг, цезия-137 — не более  $5 \cdot 10^{-7}$  Ки/кг, сумма радионуклидов — не более  $1 \cdot 10^{-8}$  Ки/кг. В биогумусе не должно быть яиц гельминтов.

#### 6.7. ЗЕЛЕНое УДОБРЕНИЕ

*Зеленым удобрением, или сидерацией*, называют выращивание в поле некоторых бобовых растений (сидератов) и запахку их зеленой массы в почву для обогащения ее азотом и органическим веществом. В качестве сидератов используют однолетний и многолетний люпин, сераделлу, донник, озимую вику, озимый горох, пелюшку, чину и др.

Бобовые растения с помощью клубеньковых бактерий, развивающихся на их корнях, способны фиксировать азот воздуха и обогащать почву связанными соединениями азота. При выращивании бобовых сидератов на 1 га образуется до 50 т зеленой массы, содержащей до 200 кг азота. По содержанию азота 1 т зеленого удобрения равноценна 1 т навоза (табл. 54).

#### 54. Содержание питательных элементов в навозе и зеленом удобрении, кг/т

Удобрение	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
Навоз смешанный	5,0	2,0	6,0	7,0
Зеленая масса:				
люпина	4,5	1,0	1,7	4,7
донника	5,7	0,5	1,9	9,7

После запашки в почву и минерализации зеленой массы сидератов азот, связанный в форме органических соединений, переходит в минеральную форму и используется последующими растениями. Коэффициент использования культурами азота зеленого удобрения в первый год почти вдвое выше, чем азота навоза. Кроме того, бобовые сидераты, обладая хорошо развитой и глубоко проникающей в почву корневой системой, извлекают питательные элементы из нижних горизонтов почвы, а также усваивают фосфор и другие питательные вещества из труднорастворимых соединений. Поэтому при разложении запаханной растительной массы пахотный слой почвы обогащается не только органическим веществом и усвояемыми соединениями азота, но также фосфором, калием и кальцием.

Под влиянием зеленого удобрения увеличивается содержание гумуса в почве, усиливается микробиологическая деятельность, повышаются влагоемкость, поглощательная способность почвы, улучшается ее структура. В результате значительно повышаются плодородие почв и урожайность возделываемых культур.

По данным многолетнего опыта, на бедной песчаной почве Новозыбковской опытной станции без удобрения получен урожай ржи и картофеля соответственно 0,6 и 13,1 т/га, по люпиновому удобрению — 1,1 и 18,5 т/га, а в последствии этого удобрения урожай овса составил 1,0 т/га (без удобрения 0,8 т/га). В целом за ротацию севооборота урожай от зеленого удобрения повысился в 1,5 раза.

Эффективность и продолжительность действия зеленого удобрения тем выше, чем больше зеленой массы запахивается в почву.

Для получения хорошего урожая зеленой массы бобовых сидератов, повышения фиксации азота воздуха клубеньковыми бактериями и накопления его в почве необходимы известкование кислых почв, внесение фосфорных и калийных удобрений (по 45—50 кг/га P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O), предпосевная инокуляция семян препаратами, содержащими активные расы клубеньковых бактерий, — нитрагинизация.

**Нитрагин** — препарат, содержащий клубеньковые бактерии, которые, развиваясь на корнях бобовых растений, усваивают азот из воздуха. В почве клубеньковых бактерий часто очень мало или они вовсе отсутствуют, поэтому необходимо искусственное заражение бобовых культур этими бактериями. Для разных групп бо-

бовых культур изготовляют различные виды нитрагина со специфическими расами бактерий.

Для инокуляции семян бобовых культур клубеньковыми бактериями эффективно также применение препарата *ризоторфина*. Его выпускают в расфасовке на гектарную норму посева соответствующей культуры (200 г препарата с содержанием не менее 2,54 млрд бактерий). Суспензией ризоторфина семена бобовых культур обрабатывают непосредственно перед посевом с помощью машин для протравливания. Нитрагинизация семян совместима с обработкой семян микроэлементами и отдельными протравителями (например, фундазолом).

Успешное использование сидератов возможно во многих районах страны, однако наибольшее значение зеленое удобрение имеет на дерново-подзолистых, серых лесных и особенно на легких песчаных почвах Нечерноземной зоны. Основные сидераты в этой зоне — однолетние виды люпина (как алкалоидные, так и безалкалоидные), сераделла, многолетний люпин (в северных районах), а также донник (на почвах с высоким содержанием кальция или сильно известкованных). Большое значение имеет применение зеленого удобрения в условиях орошения, в районах влажных субтропиков, на Дальнем Востоке, в Сибири и др.

Наиболее распространенный сидерат — люпин. Он хорошо произрастает и способен давать большую зеленую массу как на самых бедных песчаных, так и на более тяжелых суглинистых почвах.

Большой практический интерес представляют узколистные кормовые и сидеральные люпины, которые отличаются более коротким периодом вегетации, быстрыми темпами роста и способностью формировать высокий (до 100 т/га) урожай зеленой массы, устойчивостью к болезням. В Нечерноземной зоне хорошо зарекомендовали себя в качестве сидератов быстрорастущие крестоцветные культуры — редька масличная, горчица белая, рапс яровой и сурепица. Эти растения отличаются также повышенной способностью к усвоению фосфора из труднодоступных соединений и к накоплению белка в зеленой массе.

Люпин не переносит высокого содержания кальция и поэтому непригоден для карбонатных почв. На этих почвах используют другие сидераты: озимый горох, озимую вику, донник, чину и др.

В степной и сухостепной зонах страны с карбонатными почвами особенно эффективно применение в качестве сидерата донника, отличающегося высокой продуктивностью (до 70 т/га) даже на малоплодородных почвах. Заделка его зеленой массы в черноземно-солонцовые комплексные почвы обеспечивает мелниорирующий эффект за счет увеличения подвижности кальция и вытеснения поглощенного натрия.



Люпин, донник и другие сидераты можно использовать на зеленое удобрение в виде самостоятельной культуры (выращивают как парозанимающую культуру, т. е. занимают поле с весны и запахивают во второй половине лета), как промежуточную подсевающую или пожнивную культуру (выращивают в промежутке между уборкой одной культуры и посевом другой), а также в виде укосной массы, выращенной на другом участке в течение ряда лет (многолетний люпин).

Большое хозяйственное значение имеет посев кормового (безалкалоидного) желтого люпина в занятых парах с последующим двусторонним использованием: зеленую массу скашивают на корм, а стерневые остатки (или отросшую отаву) запахивают на удобрение.

Зеленое удобрение как весьма эффективное и дешевое местное средство имеет особо большое значение для повышения плодородия малокультурных почв при недостатке навоза и других органических удобрений в хозяйстве или при необходимости перевозки их на дальние поля. Расширение посевов сидератов позволит также в определенной мере ограничить использование запасов торфа — невосполняемого фактора регуляции биоклиматических процессов на окружающих территориях. Расширение масштабов применения зеленого удобрения сдерживают семеноводство и отсутствие систем машин и технологий для возделывания и эффективного использования сидератов, прежде всего бобовых растений с высокой способностью к симбиотической азотфиксации.

Федеральной целевой программой «Повышение плодородия почв России на 2002—2005 годы» предусматривается расширение площадей под сидератами до 4 млн га, что обеспечит получение около 90 млн т зеленого удобрения. Кроме удобрительного назначения сидераты позволяют успешно бороться с эрозией и засолением почв, вредителями и сорняками, получать экологически чистую продукцию.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Перечислите основные виды органических удобрений. Чем обусловлено их значение для повышения плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур? 2. Каков состав подстильного навоза в зависимости от вида животных, количества и качества корма? Какое среднее содержание азота, фосфора и калия в традиционном подстильном навозе? 3. Какие виды подстилки используют и в чем состоит значение подстилки для увеличения выхода навоза и повышения его качества? 4. Как определить количество получаемого в хозяйстве навоза? 5. Расскажите о способах хранения навоза. Какие изменения происходят при его хранении? 6. Каковы особенности устройства навозохранилища и жиесборников? 7. Что вы знаете о хранении навоза в поле, его внесении и заделке? 8. Какое действие оказывает навоз на свойства почвы и растения? Каковы коэффициенты использования растениями азота, фосфора и калия навоза? 9. Каков состав бес-

подстильного (жидкого) навоза, как его хранят и применяют? 10. Каковы свойства навозной жижи и птичьего помета, применяемых в качестве удобрения? 11. Какие типы торфа вы знаете, каковы их агрохимические характеристики и пути использования в сельском хозяйстве? 12. Какие виды торфяных компостов применяют для удобрений? Как их приготавливают, используют и какова их эффективность? 13. Какие нетрадиционные органические удобрения можно использовать в сельском хозяйстве и какие экологические ограничения должны выполняться в случае их применения? 14. Какие растения возделывают в качестве сидератов? Каково действие зеленого удобрения на почву и растения? Какими способами используют люпин на зеленое удобрение?

## 7.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ

### 7.1.1. ПОНЯТИЕ О СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ И УРОВНЯХ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ

Высокая эффективность удобрений обеспечивается только при применении их в определенной научно обоснованной системе с учетом конкретных почвенно-климатических и ландшафтных условий, особенностей питания отдельных культур и чередования их в севообороте, агротехники, свойств удобрений и многих других факторов.

Под *системой удобрения* в хозяйстве понимают комплекс агротехнических и организационно-хозяйственных мероприятий по наиболее рациональному, упорядоченному применению удобрений в целях увеличения урожайности сельскохозяйственных культур, сохранения и повышения плодородия почвы.

Система удобрения, по существу, — составная часть реализуемой в хозяйстве зональной системы земледелия. Систему удобрения разрабатывают с учетом биологического потенциала агроландшафтов, лимитирующих факторов и ограничений для сельскохозяйственного использования земель (выявленных в результате почвенно-ландшафтного картографирования, агрохимического обследования почв и проведения агроэкологического мониторинга). В зависимости от уровня интенсификации сельскохозяйственного производства в конкретных хозяйствах, определяемого прежде всего финансово-ресурсным потенциалом сельского товаропроизводителя, используют различные технологии возделывания культур.

**Экстенсивные технологии.** Ориентированы на использование естественного плодородия почв без применения удобрений и других средств химизации. Могут использоваться лишь небольшие количества минеральных удобрений для устранения лимитирующего действия недостатка питательных веществ на урожайность сельскохозяйственных культур.

**Нормальные технологии.** Предусматривают наряду с использованием плодородия почв и ресурсов агроландшафта, источников биологического азота проведение мероприятий по предотвращению

деградации почв и агроландшафтов (вследствие эрозии, дефляции или загрязнения), устранение с помощью химической мелиорации и применения органических удобрений лимитирующих урожайность факторов — неблагоприятной реакции среды и недостатка питательных веществ, осуществление мер по защите растений от наиболее опасных болезней, вредителей и сорняков. Минеральные удобрения для частичной компенсации выноса питательных веществ из почвы с урожаем применяют в дозах, обеспечивающих их высокую окупаемость получаемой продукцией, при этом биологический потенциал сорта реализуется не менее чем на 40—50 %.

**Интенсивные технологии.** Предусматривают получение качественной продукции при урожайности не менее 60—65 % биологического потенциала сорта за счет не только природных и технических ресурсов, но и компенсации выноса питательных веществ из почвы с урожаем путем применения соответствующих количеств удобрений, а также осуществления мер борьбы с наиболее опасными болезнями, вредителями и сорняками при высокой окупаемости производственных ресурсов.

**Высокоинтенсивные (высокие) технологии.** Рассчитаны на реализацию биологического потенциала сорта по урожайности при высоком качестве продукции не менее чем на 80—85 % за счет использования комплекса всех агротехнических, биологических и химических мер по защите растений и полного обеспечения потребности растений в элементах питания для достижения планируемой урожайности за счет удобрений при экономической рентабельности и экологической безопасности их применения. Технологии такого уровня предусматривают использование новейшего комплекса машин и реализацию всех достижений научно-технического прогресса.

Соответственно и разрабатываемые системы удобрения в хозяйстве могут решать различные задачи в зависимости от уровня интенсификации производства.

Очевидно, что уровень технологий возделывания культур в значительной мере зависит от экономических возможностей и технической оснащенности сельских товаропроизводителей. Набор удобрений для специализированных севооборотов и отдельных культур в хозяйствах может быть сильно дифференцирован. Первоочередной задачей разработки систем удобрения является максимальная отдача от вкладываемых средств за счет наиболее рационального их распределения с учетом значимости получаемой продукции для внутривозвращенного потребления и реализации на внешнем рынке. При этом профилирующие специализированные севообороты и ведущие культуры могут обеспечиваться удобрениями по потребности для получения максимального выхода продукции при заданном уровне окупаемости и прибыли, а другие — возделываться при ограниченном применении удобрений или только использовать их последствие.

В наборе базовых технологий производства отдельных видов продукции растениеводства содержатся блоки удобрения соответствующих культур для получения определенного уровня урожайности и высокого качества товарной продукции. Кроме того, предусмотрены технологические адаптеры применения удобрений с учетом конкретных условий производства и природных ресурсов агроландшафтов, реальной материально-технической базы, финансовых, трудовых, энергетических и экологических ограничений. Помимо этого для включения в Федеральный регистр технологий производства продукции растениеводства разработан технологический межотраслевой адаптер «Система удобрения». Он предназначен для выбора оптимальных технологических схем и процессов использования минеральных, органических удобрений и химических мелиорантов применительно к конкретным категориям агроландшафтов, исходя из агроэкологических требований и экономного расходования ресурсов.

В современных условиях становления новых земельных, рыночных отношений в сельском хозяйстве и разнообразия форм хозяйствования при многоукладной экономике на первый план при разработке системы удобрения выходит оценка состояния и перспектив развития производства и его специализации, финансовых возможностей (кредитов, инвестиций и других капиталовложений, основных фондов и оборотных средств), материально-технической базы и технического обслуживания, наличия и квалификации рабочей силы, потребительского спроса, объемов и цен реализации и их изменения в долгосрочном плане и в ближайшей перспективе. Далее основными взаимосвязанными звеньями при разработке системы удобрения в хозяйстве являются:

анализ результатов и перспектив хозяйственной деятельности сельскохозяйственного предприятия (производственная специализация, фактические и планируемые показатели выхода товарной продукции, урожайности культур, структура сельскохозяйственных угодий и посевных площадей, севообороты и их специализация, сорта возделываемых культур по продуктивности, устойчивости к стрессовым условиям, болезням и поражению вредителями, по срокам посева и уборки урожая и т. д.);

оценка климатических и почвенных условий, уровня потенциального и эффективного плодородия почв хозяйства по данным почвенно-агрохимического обследования, биологического потенциала агроландшафта и агроэкологических типов (категорий земель) по их пригодности к возделыванию сельскохозяйственных культур, определение природных факторов, лимитирующих рост урожайности, а также последовательности их устранения с помощью агротехнических, мелиоративных и агрохимических мероприятий;

выбор уровня интенсификации базовых технологий производ-

ства отдельных видов сельскохозяйственной продукции и их адаптация (с учетом природного и возможного материально-технического и ресурсного обеспечения) к формам хозяйствования и организации производства;

агроэкономический анализ итогов предшествующего использования удобрений в хозяйстве при сложившихся системе земледелия и уровне агротехники, оценка состояния и перспектив развития материально-технической базы химизации, выбор организационных форм агрохимического обслуживания, проведения химической мелиорации почв (известкования или гипсования);

планирование мероприятий по максимальному накоплению навоза, заготовке торфа, приготовлению различных компостов и других органических удобрений, правильному их хранению и использованию;

определение потребности в минеральных удобрениях (включая микроудобрения), исходя из реальных экономических возможностей хозяйства и цен на удобрения и поставляемого ассортимента, планируемого производства сельскохозяйственной продукции и ее реализации;

обеспечение своевременной доставки удобрений с торговых баз, правильного их хранения, наиболее полной механизации всех работ по подготовке и внесению удобрений в соответствии с принятой технологией возделывания культур;

тесная увязка всех мероприятий по применению удобрений с общей организационно-хозяйственной деятельностью предприятия.

Система удобрения в хозяйстве представляет собой генеральную схему организационно-хозяйственных мероприятий на определенный срок (в соответствии с перспективными планами развития хозяйства), которая конкретизируется в системе удобрения в севооборотах и в годовых планах применения удобрений

*Система удобрения в севообороте* — это многолетний план применения удобрений в севообороте с учетом плодородия почвы, биологических особенностей растений, состава и свойств удобрений, составляемый на полную ротацию каждого севооборота хозяйства. При его разработке необходимо определить правильное соотношение между отдельными видами и формами удобрений, установить оптимальные дозы и способы применения органических и минеральных удобрений в зависимости от особенностей питания растений и их чередования в севообороте, почвенно-климатических и других условий.

Поскольку система удобрения в хозяйстве и севообороте рассчитана на длительный период и учитывает только общий уровень плодородия почвы на всей площади севооборота, ежегодно составляются *годовые планы применения удобрений*. В них указывают дозы (уточненные согласно данным последнего агрохимического обследования почв для каждого отдельно обрабатываемого участ-

ка), формы, сроки и способы внесения удобрений под отдельные культуры севооборота. При необходимости вносят коррективы вследствие возможного изменения чередования культур, уровня урожая в по годам и прогноза погодных условий. Годовые планы служат документальной основой для практического проведения всех работ по применению органических и минеральных удобрений.

Согласно годовому плану рассчитывают потребность в удобрениях по срокам их применения, разрабатывают технологию внесения и принимают организационные решения.

При разработке системы удобрений в севообороте необходимо учесть все многообразие природных, агротехнических, организационно-экономических и других условий, от которых зависит эффективность удобрений.

Для правильного дифференцированного применения удобрений важное значение имеет почвенно-агрохимическое обследование с целью определения реакции почвы и содержания в ней подвижных форм питательных веществ, в том числе микроэлементов. Результаты агрохимического обследования выявили существенные различия в уровне обеспеченности почв нашей страны подвижными формами питательных элементов. По уровню плодородия и содержанию подвижных питательных веществ значительно различаются и почвы отдельных полей хозяйств.

При разработке системы удобрения используют средневзвешенные показатели обеспеченности почв полей севооборота, а различия в содержании подвижных форм питательных элементов по каждому обрабатываемому участку учитывают при составлении годовых планов применения удобрений. Важно также учитывать общую окультуренность почвы и степень предшествующей удобренности поля. На достаточно окультуренных и хорошо удобрявшихся почвах дозы органических и минеральных удобрений могут быть снижены.

Систему удобрения разрабатывают и осуществляют в тесной взаимосвязи со всем комплексом технологических приемов по возделыванию сельскохозяйственных культур, входящих в состав севооборота. Особенности возделывания и способ посева отдельных культур также оказывают влияние на сроки и способы внесения удобрений. В условиях интенсивных технологий возделывания культур возрастает роль строгого соблюдения технологической дисциплины, агротехнических требований и экологических ограничений.

Высокий уровень агротехники, начиная с обработки почвы и подготовки кондиционного посевного материала до уборки, — необходимое условие эффективного использования растениями питательных элементов из почвы и удобрений.

Распределение удобрений по полям севооборота во многом зависит от хозяйственного, экономического и агротехнического

значения каждой культуры, ее места в севообороте, характера и удобренности предшественников, технологии возделывания, степени окультуренности почв отдельных полей, особенностей питания и удобрения культур.

### **7.1.2. ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ЛАНДШАФТНЫЕ УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ**

Различия в почвенном покрове и климатических условиях нашей страны предопределяют неодинаковую эффективность применения удобрений по почвенно-климатическим зонам. Действие полного минерального удобрения и навоза на урожай сельскохозяйственных культур уменьшается с северо-запада на юго-восток в европейской части страны и с востока на запад — в азиатской части. Это в первую очередь связано с изменениями уровня потенциального плодородия почв и влагообеспеченности.

По характеру увлажнения таежно-лесная и лугово-лесная зоны (дерново-подзолистые почвы) — влажные; лесостепная (серые лесные, оподзоленные, выщелоченные и типичные черноземы) — полувлажная; степная (обыкновенные и южные черноземы) — полусухая; сухостепная (темно-каштановые и каштановые почвы) — засушливая; полупустынная и пустынная (светло-каштановые и бурые почвы) — очень засушливые. Только таежно-лесная, лугово-лесная и лесостепная зоны страны имеют благоприятные условия обеспеченности теплом и влагой для большинства полевых сельскохозяйственных культур. В остальных регионах проявляется либо дефицит тепла при недостаточной длительности вегетационного периода (северные районы, Сибирь), либо недостаток влаги (южные и юго-восточные районы).

Наиболее высокое и стабильное действие удобрений на урожай наблюдается при достаточном естественном увлажнении и при орошении. В этих условиях целесообразно применять более высокие дозы удобрений. При недостатке влаги эффективность минеральных и органических удобрений снижается.

Азотные удобрения играют ведущую роль в повышении урожая на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах в таежно-лесной, лугово-лесной и лесостепной зонах, а также на менее гумусированных почвах южных зон страны, особенно при орошении.

Фосфорные удобрения наиболее эффективны на черноземных и темно-каштановых почвах, они положительно влияют на урожай при внесении азотных удобрений и на других почвах.

Калийные удобрения имеют решающее значение на торфяных и бедных калием минеральных почвах легкого гранулометрического состава. На более богатых калием каштановых почвах они эффективны только на фоне азотных и фосфорных удобрений.

При внесении удобрений растения более экономно и продуктивно используют влагу, сглаживается отрицательное действие засухи. Орошение обеспечивает лучшие условия для усвоения растениями питательных веществ и удобрений и почвы.

Для повышения эффективности удобрений в засушливых южных и юго-восточных районах страны необходимо принимать все меры для максимального накопления и сохранения влаги в почве: снегозадержание, соответствующие приемы обработки почвы и ухода за растениями и т. д. Здесь особенно важно вносить фосфорно-калийные удобрения с осени под глубокую обработку, чтобы они размещались в более влажном, менее пересыхающем слое почвы. При мелкой заделке эффективность удобрений в засушливых районах (или в засушливые годы в районах с достаточной влагообеспеченностью) снижается особенно резко, а внесение удобрений в подкормку тем более дает незначительный эффект. На переувлажненных почвах в районах с большим количеством осадков в осенне-зимний период легкоразтворимые азотные (на легких почвах и калийные) удобрения во избежание вымывания питательных веществ лучше вносить перед посевом весной, а иногда и в подкормки.

Система удобрения в хозяйствах, севооборотах и отдельных культур при адаптивно-ландшафтных системах земледелия требует учета не только характерных зональных почвенно-климатических условий, она разрабатывается применительно к агроэкологическим категориям земель, выделяемых по критериям их пригодности для размещения севооборотов и возделывания сельскохозяйственных культур (без ограничений или с ограничениями). При этом учитывают особенности технологии производства и применения удобрений в зависимости от рельефа и почвенного покрова территории (дренированные плоские равнины с автоморфными зональными почвами, эрозионные ландшафты со склоновыми землями, переувлажненные, слитные и солонцовые земли и др.) и интенсивность проявления лимитирующих факторов.

При выборе видов и форм удобрений, установлении доз и способов их внесения обязательно учитывают ландшафтные особенности территории, почвенного покрова, содержание подвижных питательных веществ в почвах, их гранулометрический состав, поглощательную способность, реакцию и буферность, засоленность, смытость и эродированность.

На кислых дерново-подзолистых почвах, бедных органическим веществом и элементами питания, необходимы известкование и высокие дозы органических и минеральных удобрений, особенно азотных. Солонцовые почвы с высокой долей натрия среди поглощенных катионов необходимо гипсовать.

Лучший эффект на кислых дерново-подзолистых почвах могут давать физиологически щелочные азотные удобрения и щелочные формы фосфорных, здесь можно с успехом применять труднорастворимые формы фосфорных удобрений. На почвах с нейтраль-

ной и щелочной реакцией применимы физиологически кислые азотные удобрения, а использование фосфоритной муки целесообразно только в составе компостов.

Существенное значение для передвижения питательных веществ удобрений, их поглощения и закрепления в почве имеет гранулометрический состав почвы. Легкие почвы отличаются не только меньшим потенциальным плодородием, но и низкой поглощательной и буферной способностью. Это нужно учитывать при определении доз и форм удобрений, срока внесения и способа их заделки. На песчаных и супесчаных подзолистых почвах из калийных удобрений особенно эффективны калийно-магнезиальные соли, из азотных — целесообразно применять аммонийные (в нейтрализованной форме) удобрения, азот которых меньше вымывается из почвы.

Весьма существенные различия в режиме биогенных элементов (и, следовательно, в потребности, применении и эффективности удобрений) проявляются на разных элементах рельефа, особенно на склонах различного профиля, уклона и экспозиции. Склоновые земли южной экспозиции лучше прогреваются, но их почвы обычно имеют меньшую мощность гумусового горизонта при большей интенсивности процессов минерализации органического вещества и эродированности, чем на склонах северной экспозиции. На холодных северных склонах сильнее проявляется подкисление почв.

Потребность в азотных удобрениях для культур, возделываемых на склоновых землях, возрастает с увеличением степени смытости и эродированности почв, в то же время здесь сильнее проявляется опасность потерь азота (и других питательных веществ) с поверхностным и внутрипочвенным стоком. Поэтому технология возделывания сельскохозяйственных культур на эродированных почвах должна предусматривать тщательную своевременную заделку удобрений, экологическое обоснование их доз и сокращение стока. Отметим, что усиление минерального питания повышает урожайность культур и способствует увеличению устойчивости склоновых почв к эрозии в результате лучшего развития растений и их корневой системы, поступления большего количества растительных остатков в почву.

Азотное удобрение является разрешающим фактором при переходе на минимальную, плоскорезную и безотвальную обработку почвы, входящую в систему противоэрозионных мероприятий на склоновых землях. В целом, в сложных эрозионных ландшафтах требуется гибкая дифференцированная система удобрения, учитывающая разнообразие элементов рельефа, их морфологические характеристики, степень смытости почвы, сток, литологические условия, чтобы не допустить смыва питательных веществ и обеспечить эффективное и экологически безопасное использование удобрений (Киришин, 1995).

### 7.1.3. ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР И ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТАХ

При построении системы удобрения необходимо учитывать особенности питания и агротехнику культур севооборота.

Сельскохозяйственные растения различаются общей величиной потребления элементов питания для формирования урожая, темпами их поглощения на протяжении неодинакового по длительности периода вегетации, а также по соотношению усвоения основных элементов — азота, фосфора и калия.

Для культур, более требовательных к элементам питания (сахарная свекла, кукуруза, картофель и др.) необходимы более высокие дозы удобрений. Разные сорта одной и той же культуры могут сильно различаться по требовательности к питательному режиму и отзывчивости на внесение удобрений. Скороспелые сорта характеризуются более коротким периодом поглощения питательных веществ и более требовательны к условиям питания по сравнению с позднеспелыми.

Применение удобрений должно обеспечивать наилучшие условия питания растений в течение всего периода вегетации в соответствии с их потребностью.

При разработке системы удобрения, определении доз, сроков и способов применения удобрений должны быть учтены различия в чувствительности отдельных культур (особенно в молодом возрасте) к концентрации питательных веществ в почвенном растворе, в усвояющей способности корневой системы и характере ее развития (мощности, глубине проникновения и т. д.), в требовательности к реакции среды.

Особое значение имеет правильное соотношение между дозами азотных, фосфорных и калийных удобрений. Избыточное одностороннее питание, например азотом, может вызвать усиленный продолжительный рост ботвы у корне- и клубнеплодов, задержать формирование товарной части урожая и снизить его качество, а у зерновых культур и льна — привести к полеганию. Для ускорения созревания культур важное значение имеет повышенный уровень фосфорного питания. Система удобрения должна обеспечивать не только высокие и устойчивые урожаи культур, но и сохранение и повышение качества получаемой сельскохозяйственной продукции.

Для разработки правильной системы удобрения в севообороте необходимо учитывать также агротехническое и хозяйственное значение различных культур. В каждом севообороте есть ведущая культура, имеющая важное значение для внутренних нужд или дающая наибольший доход хозяйству: в хозяйствах животноводческого направления — кормовые культуры (кукуруза, корнеплоды и др.), в пригородных хозяйствах — картофель, овощные и т. д. Ведущие культуры севооборота должны получать удобрения в пер-

вую очередь и в больших количествах. Кроме того, овощные культуры, сахарная свекла и кормовые корнеплоды, картофель, кукуруза не только потребляют значительно больше питательных веществ, но и лучше оплачивают удобрения дополнительной прибавкой урожая. Для севооборотов с большим удельным весом овощных, технических и кормовых культур необходимо предусматривать более высокую обеспеченность органическими и минеральными удобрениями.

Система удобрения должна обеспечивать повышение урожая не только ведущих, но и других культур севооборота (путем непосредственного внесения или использования ими последствий удобрений, внесенных под ведущие культуры). Продолжительность и последствие зависят от вида и состава удобрений. Навоз и фосфорные удобрения (особенно фосфоритная мука) оказывают положительное действие на урожай сельскохозяйственных культур в течение ряда лет, последствие азотных и калийных удобрений незначительно.

При построении системы удобрения необходимо учитывать также порядок чередования культур, характер предшественника и его урожай. Чередование культур обеспечивает получение более высокого урожая по сравнению с монокультурой, кроме того, в севообороте облегчается борьба с болезнями, вредителями и сорными растениями. Правильное чередование культур обеспечивает более продуктивное использование питательных веществ почвы и повышение эффективности минеральных и органических удобрений. Удобрение отдельных культур севооборота зависит от предшественника и его урожая, а также от количества корневых и пожнивных остатков и содержания в них элементов питания.

В зависимости от наличия пара, состава возделываемых культур и чередования их в севообороте принимают решение о необходимости известкования (доза и место внесения извести) и применении удобрений. Уровень обеспеченности органическими азотными удобрениями определяет возможность сокращения доли чистого пара и увеличения занятых паров в севооборотах, а также их специализацию. При посеве культур по хорошему пару и после ранней распахки многолетних трав потребность растений в азоте снижается и применение азотных удобрений может быть нецелесообразным. По другим предшественникам, в том числе и по позднему пласту трав, внесение азота значительно увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур. Эффективность черного пара резко снижается без применения фосфорных удобрений, недостаток фосфора ограничивает использование растениями минерализуемого почвенного азота сельскохозяйственными культурами и приводит к увеличению его потерь за счет денитрификации и вымывания нитратов.

При высокой насыщенности севооборота картофелем, корне- и клубнеплодами, силосными и другими калиелюбивыми культурами воз-

растает потребность в калийных удобрениях и повышается их эффективность. Действие фосфоритной муки сильнее на легких дерново-подзолистых почвах в севооборотах с люпином, обладающим лучшей способностью усваивать фосфор из труднорастворимых соединений.

После пропашных культур (которые при хорошем уходе оставляют поля чистыми от сорняков и в то же время потребляют очень большое количество питательных веществ из почвы и их поздно убирают) эффективность удобрений и потребность в них последующих культур повышается. Это особенно ощутимо, если урожаи предшественников были высокими, а удобрения под них вносили в умеренных дозах. Под культуры, идущие после хорошо удобренных предшественников, дозы удобрений можно уменьшить. После многолетних бобовых трав и зерновых бобовых, обогащающих почву азотом, но потребляющих много фосфора и калия, необходимость в азотных удобрениях уменьшается, а действие фосфорных и калийных удобрений усиливается.

Важное агроэкологическое значение наряду с многолетними травами в севооборотах принадлежит возделыванию промежуточных и сидеральных культур, являющихся аккумуляторами и дополнительными источниками органического вещества и элементов питания для последующих пропашных и зерновых культур.

#### 7.1.4. БИОЛОГИЧЕСКИЙ АЗОТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТОВ

Максимально возможное использование биологического азота в севообороте за счет симбиотической азотфиксации многолетними бобовыми травами, промежуточными, уплотняющими и пожнивными посевами бобовых сидератов, зерновыми бобовыми культурами и бобовыми компонентами парозанимающих или самостоятельных посевов однолетних бобово-злаковых смесей — важное условие улучшения баланса азота в земледелии, повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Использование биологического азота является действенным агроэкологическим средством, позволяющим снизить применение минеральных азотных удобрений. Напомним, что введение плодосмена с клеверосеянием в Западной Европе во второй половине XIX в. привело к удвоению урожайности зерновых культур с 7—8 до 16—17 ц/га. Применение на этом фоне минеральных удобрений позволило в короткие сроки довести ее до 25—30 ц/га, а затем в последние десятилетия XX в. комплексное использование средств химизации и других факторов интенсификации обеспечило повышение урожайности до 55—70 ц/га. Урожайность пшеницы в отдельных странах Западной Европы (Бельгия, Голландия, Англия) превысила и этот уровень (составила до 80 ц/га).

Исключительная роль в земледелии нашей страны принадлежит биологическому азоту, об этом свидетельствует практика сельского хозяйства и опыты научных учреждений. Севообороты с клевером, другими многолетними бобовыми и бобово-злаковыми травами — главное средство повышения урожайности зерновых и других культур в различных почвенно-климатических зонах. Эффективность таких севооборотов на малопродуктивных и малокультуренных почвах проявляется в полной мере только при использовании фосфорно-калийных удобрений и известкования кислых почв.

Длительные (свыше 30 лет) опыты на ЦОС ВИУА показали, что наличие в севообороте клевера двух лет пользования на слабокультуренной дерново-подзолистой почве в сочетании с известкованием в значительной мере обеспечивает культуры севооборота биологическим азотом. Урожайность озимой пшеницы в севообороте с многолетними травами (клевер + тимopheевка) составила 2,2 т/га, с клевером — 3,3, при урожае в севообороте без бобовых — 1,6 т/га (Милащенко, 1996). В подобном опыте на окультуренной почве ЦОС ВИУА урожай зерна озимой пшеницы на контроле по клеверу был на 2,5 т/га выше, чем по викоовсяной смеси (табл. 55).

55. Влияние биологического азота в комплексе со средствами химизации на урожай озимой пшеницы, т/га (по данным Ладонина)

Уровень химизации	Предшественник			
	вика + овес		клевер	
	урожай	прибавки	урожай	прибавки
без средств химизации	2,4	—	4,9	—
Минимальный	4,2	1,8	5,7	0,8
Средний	5,3	2,9	6,7	1,8
Максимальный	5,7	3,3	6,7	1,8

Урожайность озимой пшеницы по викоовсяной смеси при максимальном уровне применения средств химизации (в том числе 180 кг/га азота) соответствовала полученной по клеверу с минимальным их применением (в том числе всего 50 кг/га азота). Биологический азот клевера позволил, следовательно, значительно увеличить урожай зерна пшеницы и обеспечил экономию минерального азота. При этом высокая эффективность биологического азота проявлялась и на фоне изучавшихся среднего и максимального уровней химизации (Ладонин, 1996).

Однако на серьезный вклад биологического азота в земледелии нельзя рассчитывать без проведения известкования кислых почв (за исключением выращивания люпина), а также бобовых культур на малокультуренных почвах с низкой обеспеченностью фосфором и калием, а также микроэлементами (молибденом, кобальтом, бором и др.). Азотфиксация снижается на огромных территориях



страны с неблагоприятным температурным, водным режимом и другими лимитирующими условиями для симбиотической азотфиксации бобовыми, азотфиксации свободноживущими и ассоциативными (развивающимися в ризосфере небобовых, в том числе зерновых культур) почвенными микроорганизмами. При нестабильном спонтанном заражении клубеньковыми бактериями бобовых растений-хозяев целесообразна нитрагинизация семян.

Кроме того, перспективны испытание и последующее внедрение биопрепаратов с набором ассоциативных и свободноживущих азотфиксаторов для обработки семян и посадочного материала сельскохозяйственных, в том числе зерновых, культур. Например, в Красноярском крае с суровыми климатическими условиями (длительное зимнее промерзание почв, короткий летний период, недостаток тепла, частый дефицит влаги в степи и лесостепи) клубеньки на корнях даже многолетних бобовых очень плохо развиваются и накапливают минимальное количество азота. Недаром общепризнанным агроприемом в крае является ранневесенняя подкормка азотом (25—30 кг/га) многолетних бобовых трав (Танделов, Крупкин, 1998).

#### 7.1.5. СОЧЕТАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Основным фактором «биологизации» земледелия является применение органических удобрений, прежде всего навоза. Однако ресурсы органических удобрений в стране достаточно ограничены и даже в лучшие годы средняя обеспеченность ими на 1 га пашни не превышала 3,7 т/га. Снижение поголовья скота в стране за последнее десятилетие привело к уменьшению масштабов накопления и применения навоза и других органических удобрений. Поэтому необходимо наиболее рациональное использование навоза.

При размещении удобрений в полях севооборота важно правильно сочетать органические и минеральные удобрения. Д. Н. Прянишников писал, что совместное внесение навоза и минеральных удобрений «...позволяет обильно снабдить растения усвояемой пищей в первых стадиях развития и дать в то же время в виде навоза резерв постоянно приходящих в действие питательных веществ», т. е. обеспечивает наилучшие условия питания растений в течение всего вегетационного периода. Кроме того, при внесении органических удобрений вместе с минеральными ослабляется отрицательное влияние физиологической кислотности и повышенной концентрации питательных веществ, особенно заметное при высоких дозах минеральных удобрений. При совместном внесении половинных доз навоза и минеральных удобрений получают, как правило, более высокие прибавки урожая, чем при раздельном внесении полной дозы каждого из этих удобрений.

Особенно эффективно совместное внесение навоза и минеральных удобрений на песчаных и супесчаных почвах, слабоокультуренных суглинистых дерново-подзолистых серых лесных почвах и выщелоченных черноземах.

Органических удобрений в хозяйстве обычно недостаточно для всех полей севооборотов. Поэтому их необходимо вносить совместно с минеральными удобрениями прежде всего под овощные культуры, картофель, кормовые корнеплоды, силосные культуры, а из зерновых — под озимые культуры. Пропашные культуры дают более высокие прибавки урожая на каждую тонну внесенного навоза. Навоз, внесенный под пропашные и озимые, оказывает положительное влияние на все остальные культуры севооборота, под которые непосредственно вносят только минеральные удобрения. При наличии в хозяйстве специализированных прифермских и овощных севооборотов их культуры в первую очередь обеспечивают органическими удобрениями в больших количествах.

Высокая оплата навоза прибавкой урожая сельскохозяйственных культур за ротацию севооборота установлена во всех почвенно-климатических зонах страны. Она наибольшая при достаточном увлажнении в плодосменных севооборотах, а наименьшая — в зернопаровых севооборотах засушливых районов (табл. 56).

56. Оплата навоза и продуктивность 1 га пашни в различных севооборотах на разных типах почв

Показатель	Севооборот		
	зернопаровой	зернопропашной	плодосменный
Число опытов	18	26	83
Число ротаций	70	80	127
Среднегодовая доза навоза на один севооборот, т	7,3	7,5	6,0
Оплата зерном 1 т навоза, ц:			
на дерново-подзолистых и серых лесных почвах	0,87	0,88	1,18
на черноземах в районах достаточного увлажнения	0,74	0,88	1,16
на черноземах в засушливых районах	0,55	0,89	0,79

Дозы навоза в Нечерноземной зоне обычно составляют 30—40 т/га (в кормовых и овощных севооборотах — до 60—80), а в южных районах — 20—30 т/га.

К навозу на всех почвах, в том числе на черноземах, необходимо добавлять азотные удобрения, на дерново-подзолистых суглинистых почвах наряду с азотными на фоне навоза эффективны фосфорные, а на супесчаных — калийные удобрения.

Комбинированная система удобрения, при которой сочетают применение органических и минеральных удобрений, — наиболее распространенная. В хозяйствах с крупными животноводческими

комплексами большое внимание уделяют разработке системы удобрения в кормовых севооборотах с максимальным насыщением бесподстилочным навозом. Однако она обязательно должна включать корректировку соотношения питательных веществ с помощью минеральных удобрений.

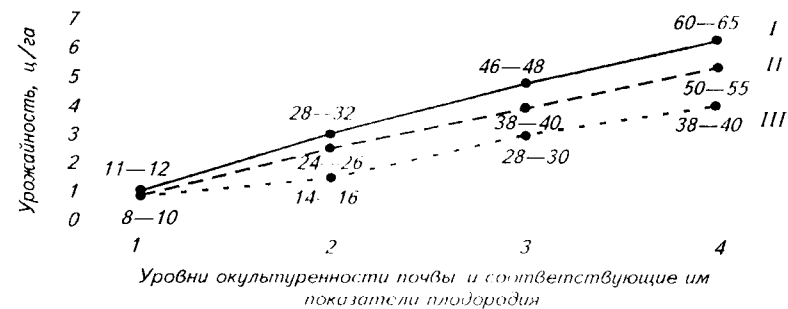
В то же время значительная удаленность полей отдельных севооборотов от ферм или ограниченное количество органических удобрений в хозяйстве обуславливают существование безнавозной системы удобрения, основанной на применении только минеральных удобрений. В этом случае для пополнения запаса органического вещества в почве целесообразны посев промежуточных культур на зеленое удобрение и заплата соломы.

#### 7.1.6. УРОВЕНЬ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Воспроизводство плодородия почв и повышение урожайности сельскохозяйственных культур должны осуществляться на основе сочетания агротехнических, мелиоративных и агрохимических приемов в следующей строгой их последовательности: сначала оптимизируют агротехнику, затем устраняют такие основные лимитирующие факторы, как кислотность и эрозионные процессы — проводят известкование и защиту почв от эрозии и дефляции. Приоритетное значение имеют освоение зональных и входящих в них адаптивно-ландшафтных систем земледелия для рационального использования природно-ресурсного потенциала, обеспечение агроэкологических требований и реализация адаптационного потенциала сельскохозяйственных культур, внедрение зональных технологий их возделывания на соответствующем уровне интенсификации производства в зависимости от плодородия почв и производственно-ресурсного потенциала сельскохозяйственного товаропроизводителя.

Благодаря этому создаются условия и предпосылки для высокой эффективности применения навоза и других органических удобрений, использования биологического азота и обусловленного экономическими возможностями и экологическими ограничениями применения минеральных удобрений. Такая методология воспроизводства плодородия почв и устойчивого развития агроландшафтов позволяет обеспечить охрану окружающей среды, повышение урожайности сельскохозяйственных культур при высоком качестве продукции и окупаемости удобрений.

Зависимость продуктивности зерновых культур от степени окультуренности почв и интенсификации производства наглядно демонстрирует модель, разработанная ВИУА на основе данных длительных опытов Геосети (рис. 14). По мере реализации системы мер по повышению плодородия почв урожайность зерновых



pH	3,7–4,0	4,6–5,0	4,6–5,0	5,1–5,5
Гумус, %	0,8–1,5	1,2–2,0	1,6–2,2	2,1–2,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г	3–5	7–10	12–15	18–26
K <sub>2</sub> O, мг/100 г	4–8	9–12	13–17	20–27
мин. N, кг/га	—	—	60	160

Рис. 14. Продуктивность зерновых культур в зависимости от степени окультуренности почвы и интенсификации технологий в Центральном районе Нечерноземной зоны Российской Федерации:

I — рост урожайности зерновых культур за счет применения минеральных удобрений и пестицидов в зональных технологиях; II — рост урожайности зерновых культур за счет рационального использования местных почвенно-климатических ресурсов в зональных технологиях с учетом степени окультуренности почв; III — урожайность без удобрений

возрастает с 0,8—1,0 т/га на неокультуренной почве до 3,8—4,0 т/га на окультуренной. Применение зональных систем земледелия приводит к существенному росту плодородия. Внесение удобрений и использование пестицидов в этих технологиях способствует дальнейшему росту урожайности культур, который также зависит от окультуренности почв (Милащенко, 2000). Уровень окультуренности почв определяется степенью освоения мер по оптимизации реакции почвенной среды (известкования), защиты почв от эрозии, по использованию биологического азота, органических и минеральных удобрений.

Соответственно должна разрабатываться и стратегия формирования системы удобрения в хозяйстве и культур в севообороте, возделываемых по технологиям разного уровня интенсификации, адаптированным к конкретным условиям производства и обеспеченности агрохимическими ресурсами.

На первом этапе освоения адаптированных к местным условиям технологий производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции и ограниченной возможности применения минеральных удобрений в хозяйстве система удобрения должна предусматривать первоочередное известкование сильно- и среднекислых почв и рациональное распределение по севооборотам и размещение в них органических удобрений. С помощью мине-

ральных удобрений регулируются условия питания сельскохозяйственных культур, лимитирующие рост урожая и ограничивающие использование природно-ресурсного потенциала агроландшафта. Минеральные удобрения применяют в **небольших** дозах, теми способами и в такие сроки, которые позволяют получать максимально возможную окупаемость каждого килограмма их действующего вещества. Это ранневесенние подкормки озимых и многолетних трав азотными удобрениями в дозе 30—40 кг/га азота, рядковое и припосадочное внесение гранулированного суперфосфата или комплексных удобрений при дозе фосфора не более 10—15 кг/га д. в. Необходимы оптимизация фосфорного питания зерновых, размещаемых по нару (особенно чистому), применение азотных удобрений в компенсирующих дозах для улучшения азотного питания культур при безотвальной и минимальной обработках почвы (особенно при оставлении стерни).

В хозяйствах, освоивших зональные системы земледелия (севообороты с упорядоченным соотношением культур, занятых и чистых паров, комплекс агротехнических и почвозащитных мероприятий, известкование кислых почв), используют нормальные технологии возделывания культур. Для получения урожайности на уровне 40—45 % реализации потенциала сорта можно применять помимо органических удобрений (и источников биологического азота) минеральные в рекомендуемых агрохимической службой средних зональных дозах либо рассчитанных на компенсацию выноса питательных веществ из почвы с урожаем могут применяться дозы удобрений, рассчитанные на более **высокий** планируемый урожай по нормативам затрат удобрений на 1 т основной продукции или балансовыми методами. При этом предусматривают комплекс агротехнических мероприятий и применение химических средств защиты растений (при повышении порогов вредоносности) от наиболее опасных болезней, вредителей и сорняков. Окупаемость удобрений прибавкой урожая должна быть не ниже ожидаемой экономической эффективности и **прибыли** от реализации дополнительно получаемой продукции.

В хозяйствах, освоивших зональные и адаптивно-ландшафтные системы земледелия и интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, система удобрения должна разрабатываться, исходя из доз минеральных удобрений, обеспечивающих планируемый уровень продуктивности (в сочетании с органическими и биологическим азотом) севооборотов и урожайности сельскохозяйственных культур. Однако при этом следует ориентироваться на высокую окупаемость удобрений и максимальную прибыль, а не наибольшую прибавку урожая; конечно, должны соблюдаться все экологические ограничения. При интенсивных технологиях осуществляется интегрированная система защиты растений, в том числе с помощью агротехнических, биологических

методов и пестицидов, базирующаяся на прогнозе вредоносности организмов в агроландшафтах.

Агрохимическая наука сегодня располагает технологиями возделывания зерновых культур, обеспечивающими получение урожая 4—5 т/га практически в любом регионе европейской части Российской Федерации. В качестве примера рассмотрим результаты (табл. 57), полученные ВИИА на тяжелых дерново-подзолистых почвах Московской области (Ладонин, 1999).

57. Эффективность комплексного применения средств химизации в технологиях возделывания озимой пшеницы (ВИИА, Московская область, в среднем за 1991—1993 гг.)

Система мероприятий	Урожай зерна	Прибавка урожая
		т/га
Биологическая (без средств химизации)	3,5	—
Навозно-минеральная (без пестицидов)	4,0	0,5
Комплексная 1 (навоз + NPK + гербициды + фунгициды + ретарданты)	7,0	3,5
Минеральная (без пестицидов)	4,7	1,2
Комплексная 2 (NPK + гербициды + фунгициды + ретарданты)	6,9	3,4

Окультурирование почв — процесс медленный и продолжительный, а интенсивные технологии обеспечивают планируемую продуктивность севооборота только на окультуренных почвах. Об этом свидетельствуют результаты (рис. 15) длительного (36 лет, 6 ротаций севооборота) опыта на ЦОС ВИИА, заложенного на низкоплодородной, неокультуренной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве с исходной урожайностью около 1,1 т/га зерна (без известкования и применения удобрений). За первую ротацию

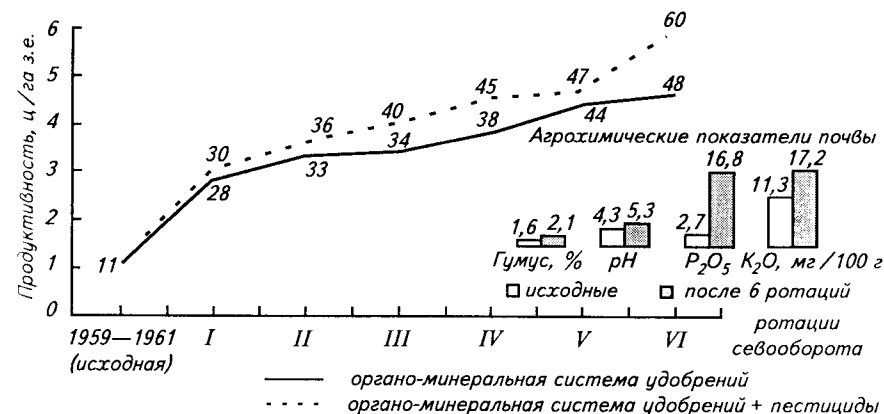


Рис. 15. Влияние удобрений и средств защиты растений на плодородие почвы и продуктивность 6-польного севооборота

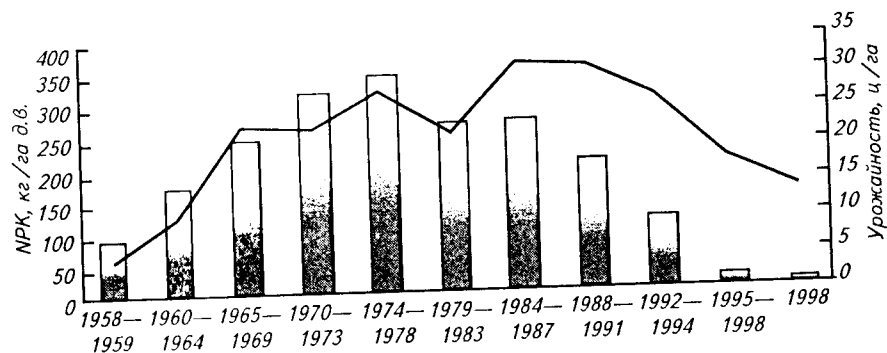


Рис. 16. Урожайность зерновых культур и внесение минеральных удобрений в Новосельском ОПХ ВНИУ (диаграмма — NPK, кривая — урожайность)

6-польного севооборота под влиянием известкования и применения удобрений его продуктивность увеличилась до 2,8 т/га. По мере окультуривания почвы она продолжала возрастать и в шестой ротации достигла 4,8 т/га, а при использовании опыта применяли 6,0 т/га. В среднем за год на всем протяжении опыта применяли 10 т/га навоза и  $N_{67}P_{40}K_{102}$  в составе минеральных удобрений, а известкование проводили дважды — в первой ротации (6 т/га) и во второй (4 т/га).

Подобная зависимость изменения агрохимических показателей почвы и урожайности зерновых культур установлена в ОПХ «Новосельское» в Калужской области на тяжелых дерново-подзолистых почвах (рис. 16). Снижение применения удобрений после 1988 г. привело к постепенному и несколько замедленному за счет последствий внесенных ранее удобрений уменьшению урожайности зерновых культур (до уровня, характерного для окультуренных почв исходного низкого естественного плодородия), прежде всего из-за недостатка азота. Еще более быстрыми темпами снижалась продуктивность пашни вследствие вынужденного отказа от применения удобрений в ОПХ ВНИУ в Брянской области на легких дерново-подзолистых почвах (Милашенко, 2000).

В Российской Федерации есть крупные регионы, в том числе Западная и Восточная Сибирь, где (за исключением Тюменской и Кемеровской областей) практически не применяли или применяли в очень малых дозах (не более 10–15 кг/га д. в.) минеральные удобрения, а использовали только местные почвенно-климатические ресурсы. Здесь средняя урожайность зерновых составляет 1,1–1,2 ц/га. В Омской области за счет освоения системы севооборотов с чистым паром и почвозащитной обработки почвы были удвоены валовые сборы зерна и стабилизировалась урожайность до 1,2–1,3 т/га. В то же время в ОПХ СибНИИСХОЗ, где применяли 50–60 кг д. в. минеральных удобрений, урожайность

зерновых была выше среднеобластного уровня на 0,6–0,8 т/га. В опытах этого института в северной лесостепи Новосибирской области средняя урожайность яровой пшеницы достигала 3,6–4,4 т/га, а при использовании средств защиты от болезней, вредителей и полегания — 4,5–5,1 т/га (Кирюшин, 1988).

## 7.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЯХ И ИХ ДОЗ

### 7.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЯХ

Основой для установления оптимальных доз и соотношения питательных веществ под сельскохозяйственные культуры служат результаты полевых опытов. Полевые опыты с удобрениями проводят в различных почвенно-климатических зонах страны по единым схемам опытные станции и научно-исследовательские институты, центры и станции агрохимической службы.

На основании обобщения итогов географических полевых опытов выявляют зависимость эффективности удобрений от почвенно-климатических условий, агротехники и других факторов, разрабатывают рекомендации по применению минеральных удобрений.

Результаты работы Географической сети полевых опытов позволили выявить основные закономерности действия удобрений: установить размеры средних устойчивых прибавок урожая сельскохозяйственных культур от внесения различных доз отдельных видов удобрений и их сочетаний; определить оптимальные дозы и соотношения основных элементов питания для получения максимальной агрономической и экономической эффективности удобрений; установить потребность в удобрениях по природно-экономическим районам, областям и республикам страны; планировать их производство и реализацию сельскохозяйственным товаропроизводителям.

**Зависимость урожая сельскохозяйственных культур от возрастающих доз отдельных видов и сочетаний минеральных удобрений.** Определяется экспериментально в вегетационных и полевых опытах. По реакции растений на внесение элементов питания определяют закономерности формирования урожая и потребность в удобрениях.

Урожайность сельскохозяйственных культур возрастает пропорционально увеличению дозы минеральных удобрений лишь до определенного уровня, при этом обеспечивается наибольшая оплодотворенность питательного вещества удобрения получаемой продукцией. В этом интервале доз урожайность от дополнительного внесения удобрений растет как с единицы площади, так и в расчете на единицу удобрения (рис. 17).

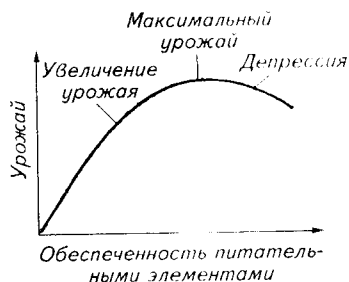


Рис. 17. Зависимость урожая от обеспеченности питательными веществами при прочих неизменных факторах роста

Дальнейшее повышение дозы удобрений сопровождается увеличением урожая с единицы площади, но величина абсолютных и относительных прибавок урожая от возрастающих доз и окупаемость единицы удобрения продукцией постепенно снижаются.

После достижения максимальной урожайности с единицы площади при дальнейшем увеличении доз удобрений она стабилизируется, а затем может происходить ее снижение, ухудшение структуры урожая или качества продукции вследствие избыточного снабжения соответствующим элементом питания. Повышение дозы удобрений экономически оправдано лишь до такого уровня, при котором стоимость прибавки урожая в должной степени окупает издержки, связанные с применением дополнительного количества удобрений. Предел увеличения дозы удобрений может ограничиваться также показателями качества урожая или необходимостью охраны окружающей среды.

Количественная зависимость между урожаем и дозами минеральных удобрений, полученная в опытах, может быть представлена математическими уравнениями (производственными функциями). Для установления количественной зависимости между урожайностью и дозами удобрений можно использовать уравнение со степенями 0,5 и 1 для факторов и 0,5 для парных взаимодействий. При внесении трех видов удобрений (N, P и K) общий вид такой функции выражается следующим полиномом:

$$Y = a_0 + a_1 N^{0.5} + a_2 N + a_3 P^{0.5} + a_4 P + a_5 K^{0.5} + a_6 K + a_7 (NP)^{0.5} + a_8 (NK)^{0.5} + a_9 (PK)^{0.5},$$

где Y — урожай; N, P, K — питательные вещества;  $a_0$  — свободный член;  $a_1$ – $a_9$  — коэффициенты регрессии.

По этим функциям можно определить окупаемость единицы удобрения прибавкой урожая, потребное количество удобрений для получения единицы урожая для любой точки кривой, оптимальную и максимальную дозы удобрений и т. д.

Следовательно, на основании производственных функций можно решать важные практические задачи по планированию потребности в удобрениях и определению их доз для получения необходимого количества сельскохозяйственной продукции.

В зависимости от целевого назначения производственные функции могут характеризовать зависимость урожая от доз удобрений

с учетом того или иного числа факторов, имеющих количественную оценку. Формирование урожая в полевых условиях определяется не только уровнем минерального питания, но и зависит от совокупного действия погодных факторов, агрохимических и физических свойств почвы, ее эродированности, видовых и сортовых особенностей культуры, технологии возделывания и ее интенсивности.

Характер зависимости урожайности культур от уровня интенсивности технологий их возделывания и природных почвенно-климатических ресурсов наглядно демонстрирует (рис. 18) динамика урожайности яровой пшеницы в условиях Западной Сибири (Киришин, 1999).

**Определение потребности сельского хозяйства в удобрениях.** По мере укрупнения уровня управления число независимых переменных факторов может сокращаться. Так, при использовании производственных функций для каждой культуры по данным полевых опытов достаточно вывести уравнения, характеризующие зависимость урожая от доз удобрений по основным категориям агроландшафтов, агроэкологическим типам, подтипам и разновидностям почв соответствующих регионов. Очевидно, что для повышения надежности параметров уравнения полевые опыты с удобрениями должны быть массовыми, проводимыми по единым схемам и методикам.

Поэтому основой для прогноза потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях и их ассортимента служат результаты агроэкономической оценки данных Географической сети полевых опытов с удобрениями и другими средствами химизации и массовых опытов агрохимической службы в производственных условиях. Потребность в удобрениях и их оптимальный ассортимент планируют с учетом почвенно-климатических условий, народнохозяйственной значимости выращиваемых культур и экономической эффективности удобрений, исходя из потребности страны в различных видах сельскохозяйственной продукции и возможного уровня государственной поддержки промышленности по производству минеральных удобрений и сельскохозяйственных товаропроизводителей.

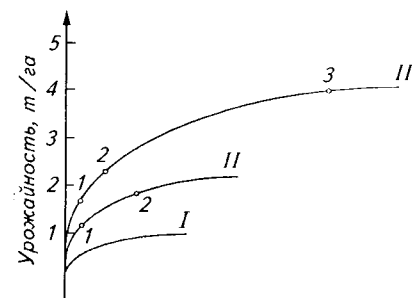


Рис. 18. Урожайность яровой пшеницы при различных уровнях интенсивности ее возделывания (1, 2, 3) на черноземе южной степной зоны (I), на черноземе обыкновенном южной лесостепи (II), на черноземе выщелоченном северной лесостепи (III) Западной Сибири

В первую очередь предусматривают потребность в минеральных удобрениях для культур, производство которых имеет важное народнохозяйственное значение и, кроме того, ограничено определенными почвенно-климатическими условиями. Полностью для получения планируемого урожая должны обеспечиваться удобрениями посевы на мелиорируемых землях с регулируемым водным режимом, что обусловлено высокой эффективностью удобрений при орошении, а также необходимостью быстрее окупить значительные капиталовложения на мелиорацию земель. Более высокий уровень обеспеченности удобрениями предусматривают для регионов достаточного увлажнения, где достигается наибольшая оплата единицы удобрений.

Определение потребности в минеральных удобрениях по стране, областям и республикам, экономическим районам, а также обоснование оптимального размещения крупных межсезонных складов удобрений заводов-производителей и агрохимической службы проводят с использованием экономико-математических методов и электронно-вычислительной техники. В ЦИНАО для этих целей создан специальный программный комплекс «Фонуд» (фонды удобрений). При разработке экономико-математической модели для решения этих задач учитывают следующие показатели:

структуру посевных площадей, фактический и прогнозируемый уровень урожайности культур и валового производства продукции на предстоящий год и на перспективу;

потребность отдельных видов удобрений на единицу товарной продукции; долю прибавки урожая, обусловленную применением отдельных видов и сочетаний минеральных удобрений согласно результатам полевых опытов; экологические ограничения по применению удобрений;

уровень потенциального и эффективного плодородия почв по результатам почвенно-агрохимических обследований;

экономическую и энергетическую эффективность удобрений, определяемую на основе данных по средним прибавкам урожая и затратам на применение удобрений.

## 7.2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В современных социально-экономических условиях перехода к рыночным отношениям возможный уровень применения минеральных удобрений в хозяйстве определяется прежде всего экономическими условиями.

При разработке системы удобрения в хозяйстве и севооборотах наиболее рациональные дозы минеральных удобрений следует устанавливать в зависимости от уровня интенсивности применяемых технологий. При ограниченной обеспеченности удобрениями предпочтительнее доза, позволяющая получить наивысшую оплату единицы удобрения. При более полном удовлетворении по-

требности сельскохозяйственных культур в удобрениях основной целью может быть получение максимально возможного выхода продукции с единицы площади, а также сохранение и повышение плодородия почвы.

Исключительно важное значение имеет экономический аспект. Поэтому при выборе доз удобрений необходима тщательная агроэкономическая оценка результатов полевых опытов, в том числе с использованием экономико-математических методов. При ограниченных ресурсах удобрений оптимальной дозой будет та, которая обеспечивает наибольшую урожайность с гектара при максимальном чистом доходе от удобрений, т. е. самую низкую себестоимость получаемой продукции, а при обеспечении удобрениями на планируемый урожай — позволяющая получать наибольший чистый выход сельскохозяйственной продукции и чистый доход при заданном уровне рентабельности производства.

При нормальных зональных технологиях производства различных видов сельскохозяйственной продукции могут использоваться средние зональные дозы удобрений для отдельных культур, рекомендуемые агрохимической службой. Они должны корректироваться с учетом адаптации технологий к природно-ресурсным ландшафтным условиям производства, формам хозяйствования и производственным ресурсам конкретного сельского товаропроизводителя.

**Определение доз удобрений на основе прямого использования результатов полевых опытов.** Рекомендуемые средние зональные дозы удобрений устанавливают в этом случае на основе агроэкономической оценки результатов полевых опытов в типичных для зоны почвенно-климатических условиях и севооборотах на планкорных территориях (табл. 58—60).

58. Примерные дозы минеральных удобрений под зерновые и крупяные культуры на серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах\*, кг/га

Культура, предшественник, фон	Планируемая урожайность, т/га	Серые, темно-серые лесные почвы и черноземы оподзоленные			Черноземы выщелоченные		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Озимая пшеница:							
по занятым парам без навоза	3,0	60	60	60	60	60	40
по навозу, 20 т/га	4,0	60	60	60	60	40	40
по зерновым бобовым и чистым парам	4,0	60	90	60	60	60	60
по пласту трав	4,0	60	90	80	40	60	60
кукуруза	4,0	90	90	90	60	60	60
Ячмень яровой	3,0	60	60	60	40	60	40
Гречиха	2,0	40	60	40	40	60	40
Просо	2,5	60	60	60	40	40	40

\* Нечерноземная зона, увлажненная часть Центрального и Северо-Кавказского регионов.

**59. Примерные дозы\* минеральных удобрений под зерновые и крупяные культуры на типичных, обыкновенных и южных карбонатных черноземах, кг/га**

Культура, предшественник, фон	Планируемая урожайность, т/га	Черноземы типичные и обыкновенные			Черноземы южные и карбонатные		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Озимая пшеница:							
по чистым парам без навоза	3,0—3,5	40	60	40	40	60	40
по навозу (15—20 т/га)	3,5—4,0	40	40	0	40	60	—
по занятым парам	2,5—3,0	60	60	40	40	60	—
по непаровым предшественникам	2,0—2,5	40	40	40	40	40	—
Озимая рожь по чистым парам	2,0—2,5	20	40	20	20	40	—
Кукуруза	2,5—3,0	40	40	40	40	40	40
Ячмень	2,5—3,0	40	40	20	30	40	—
Яровая пшеница:							
по чистым парам	2,0—2,5	—	60	30	—	40	—
после пропашных	2,0—2,5	30	40	30	30	40	—
по непаровым предшественникам (после зерновых)	1,5—2,0	30	40	20	30	40	—
Просо	2,0—3,0	30	40	30	—	15—40	—

\* Центральный, Средне- и Нижневолжский, Северо-Кавказский регионы.

**60. Средние дозы минеральных удобрений под зерновые культуры на орошаемых землях, кг/га**

Культура	Почвы	Планируемая урожайность, ц/га	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<i>Северо-Кавказский район</i>					
Озимая пшеница	Черноземы обыкновенные	5,0	120	120	60
	Каштановые	4,0	90	90	—
Кукуруза	Черноземы обыкновенные	6,0	120	120	60
	Каштановые	6,0	120	120	40
<i>Поволжский район</i>					
Озимая пшеница	Каштановые	4,0	120	90	40
Кукуруза	»	5,0	120	120	60
Яровая пшеница	»	3,0	90	60	—
<i>Западно-Сибирский и Восточно-Сибирский районы</i>					
Яровая пшеница	Черноземы южные	3,0	90	90	40
	Черноземы обыкновенные	2,5	60	60	40
	Каштановые	2,5	90	60	—

Средние рекомендуемые зональные дозы удобрений необходимо корректировать применительно к конкретным условиям полей хозяйства в зависимости от агрохимических свойств почв и особенностей ландшафта.

Согласно принятой в настоящее время классификации все почвы по агрохимическим показателям в зависимости от кислотности и содержания подвижных форм питательных веществ подразделяют на шесть групп (классов). Третий класс характеризует среднюю обеспеченность почвы элементами питания для зерновых культур, а четвертый и пятый — соответственно для более требовательных к уровню питания пропашных и овощных культур (см. табл. 16, 17). При превышении среднего содержания питательных веществ в почве рекомендуемую дозу удобрений под сельскохозяйственные культуры уменьшают, при меньшем — увеличивают. Обычно при обеспеченности почвы подвижными формами элементов питания на один класс ниже либо выше средней дозу изменяют в 1,25—1,3, а на два класса — в 1,5 раза.

Поправочные коэффициенты к средним рекомендуемым дозам удобрений в зависимости от обеспеченности почвы питательными элементами уточняют зональные научные агрохимические учреждения для различных сельскохозяйственных культур применительно к условиям возделывания. Такие коэффициенты к средним дозам удобрений для отдельных культур по зонам страны приведены в справочной литературе.

В таблице 61 в качестве примера даны поправочные коэффициенты к средним дозам удобрений для отдельных культур на дерново-подзолистых и серых лесных почвах.

**61. Примерные поправочные коэффициенты к средним дозам удобрений под различные культуры на дерново-подзолистых и серых лесных почвах (по данным ВИУА)**

Содержание в почве подвижного фосфора и калия	Зерновые	Зерновые бобовые и травы	Лен	Пропашные	Овощные
<i>Фосфорные удобрения</i>					
Очень низкое	1,3—1,5	1,5—2,0	1,3—1,5	*	*
Низкое	1,0	1,0	1,0	1,3—1,5	*
Среднее	0,6—0,7	0,7—0,8	0,6—0,7	1,0	1,2—1,5
Повышенное	Рядковое	0,5—0,6	0,5	0,5—0,7	1,0
Высокое	Не вносят	Не вносят	0,2—0,3	Рядковое	0,6—0,8
Очень высокое	То же	То же	Рядковое	Не вносят	Рядковое
<i>Калийные удобрения</i>					
Очень низкое и низкое	1,0	1,5	1,5—2,0	1,3—1,5	1,5—2,0
Среднее	0,6—0,7	1,0	1,0—1,5	1,0	1,3—1,5
Повышенное	Не вносят	0,7—0,8	0,8—1,0	0,6—0,8	1,0
Высокое	То же	0,5—0,6	0,7—0,8	0,5	0,6—0,8
Очень высокое	»	Не вносят	Не вносят	Не вносят	Не вносят

\* Без предварительного окультуривания урожай не обеспечен.

Агрохимическая служба и научные учреждения страны проводят широкие экспериментальные исследования по установлению



гранулометрический состав почвы;  $K_{эН, Р, К}$  — поправочный коэффициент на степень эродированности почвы;  $K_{иН}$  — поправочный коэффициент к дозам азота в зависимости от предшественника.

Необходимые для расчета поправочные коэффициенты к дозам фосфорных и калийных удобрений в зависимости от группы почвы по содержанию подвижных форм соответствующих элементов приведены в таблице 64, а поправочные коэффициенты на гранулометрический состав и эродированность почвы — в таблице 65.

Поправочные коэффициенты к годовым дозам азотных удобрений в зависимости от предшественника составляют:

Предшественники	Поправочный коэффициент (К)
Зернобобовые	0,8
Многолетние бобовые травы	0,5
Пар чистый	0,8
Прочие	1,0

Для определения годовой дозы удобрений на заданную урожайность ( $ГД_{Н, Р, К}$ ) из рассчитанной общей потребности культуры в удобрениях ( $Д_{Н, Р, К}$ ) следует вычесть количество элементов питания, которое может использоваться из фактически внесенных под предшественник (или из планируемых под культуру) органических удобрений ( $О_{Н, Р, К}$ ), а также за счет внесенных под предшественник фосфорных и калийных удобрений — ( $П_{Р, К}$ ):

$$ГД_{Н, Р, К} = Д_{Н, Р, К} - О_{Н, Р, К} - П_{Р, К}.$$

Количество используемых культурой элементов питания из органических удобрений при прямом их действии или последствии рассчитывают по следующей формуле:

$$О_{Н, Р, К} = Д_{орг} \cdot A_{Н, Р, К} \cdot 0,01 \cdot КИ_{орг.Н, Р, К},$$

где  $Д_{орг}$  — доза органического удобрения, т/га;  $A$  — содержание элементов питания ( $N, P_2O_5$  и  $K_2O$ ) в органическом удобрении, кг/т;  $КИ_{орг.Н, Р, К}$  — коэффициенты использования азота, фосфора и калия из органических удобрений в прямом действии или последствии, %.

Данные о содержании основных элементов питания растений в различных органических удобрениях приведены в главе 6 и в приложении 9, а коэффициенты использования растениями элементов питания из органических удобрений — в таблице 66.

Количество элементов питания, используемое культурой в последствии из фактически внесенных под предшественник фосфорных и калийных удобрений, рассчитывают по формуле:

$$П_{Р, К} = Д_{фр, К} \cdot 0,01 КИ_{Р, К},$$

где  $Д_{фр, К}$  — фактически внесенная доза фосфорных или калийных удобрений, кг/га д.в.;  $КИ_{Р, К}$  — коэффициенты использования культурой фосфора и калия из внесенных под предшественник удобрений в последствии, %.

64. Поправочные коэффициенты (К) к годовым дозам фосфорных и калийных удобрений\* в зависимости от группы почвы по содержанию форм фосфора и калия (Державин и др., 2000)

Группа (класс) почвы по содержанию подвижных форм фосфора и калия	Озимая пшеница, озимая рожь		Яровые зерновые	Зерно-бобовые	Лен-долгунец	Пропашные	Овощные	Кукуруза	Сахарная свекла	
	по черному пару	по занятому пару							По удобрению озимой пшенице	По обороту пласта
Фосфорные удобрения										
1	1,5	1,2	1,3	1,5	1,4	1,7**	1,7**	1,5**	1,5**	2,0**
2	1,3	1,1	1,2	1,0	1,0	1,4	1,5	1,2	1,2	1,5
3	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	1,0	1,3	1,0	1,0	1,0
4	0,7	0,5	0,8	0,5	0,5	0,6	1,0	0,5	0,8	0,5
5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,7	0,4	0,5	0,5
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Калийные удобрения										
1	1,5	1,3	1,2	1,5	3,0	1,5	2,0	1,5	1,5	2,0
2	1,2	1,2	1,1	1,3	1,5	1,3	1,5	1,3	1,3	1,5
3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,3	1,0	1,3	1,0	1,0	1,2
4	0,7	0,7	0,6	0,7	1,0	0,7	1,0	0,7	1,0	1,0
5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	0,7	0,8
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

\* Для азотных удобрений  $K = 1$  независимо от содержания подвижных форм фосфора и калия в почве.  
\*\* Требуется окультуривание почв.

65. Поправочные коэффициенты к годовым дозам минеральных удобрений в зависимости от гранулометрического состава почвы и степени ее эродированности

Показатель	Вид удобрения		
	азотные	фосфорные	калийные
Гранулометрический состав почвы:			
глинистый	0,9	1,1	0,8
тяжелосуглинистый	0,9	1,1	0,8
среднесуглинистый	1,0	1,0	1,0
супесчаный	1,0	1,0	1,2
песчаный	1,0	1,0	1,2
Степень эродированности почвы:			
неэродированная	1,00	1,00	1,00
слабоэродированная	1,10	1,05	1,05
среднеэродированная	1,30	1,10	1,10
сильноэродированная	1,50	1,20	1,20

Конечный вид полной формулы для расчета годовых доз минеральных удобрений на планируемый урожай культуры следующий:

$$ГД_{N, P, K} = Y_{п} \cdot H_{N, P, K} \cdot C_{P, K} \cdot K_{FN, P, K} \cdot K_{эN, P, K} \cdot K_{пN} - \\ - Д_{орг} A_{N, P, K} \cdot 0,01 \cdot KI_{орг, N, P, K} - Д_{ФР, K} \cdot 0,01 KI_{P, K}.$$

Если расчетная доза азота на планируемую урожайность больше максимальной экологически безопасной, то под культуру применяют регламентированную дозу азотных удобрений. Дозу азота для озимых зерновых, злаковых многолетних трав и других культур уточняют по результатам комплексной (почвенной, растительной и метеорологической) диагностики питания растений.

Описанный метод не может использоваться для расчета годовых доз азотных удобрений под зерновые бобовые, бобовые сидераты, многолетние бобовые и бобово-злаковые травы (и под покровные культуры), а также под лен-долгунец. В этих случаях дозу азота устанавливают согласно региональным рекомендациям по результатам полевых опытов.

Дозы удобрений, рассчитанные таким способом, пропорциональны урожайности, поэтому для применения экономически выгодных и экологически безопасных доз очень важно правильно определить величину планируемого и реально возможного урожая. При этом учитывают плодородие почв, достигнутый и потенциальный уровень урожайности культур, условия влагообеспеченности и другие факторы интенсивности земледелия.

В хозяйствах, где проведена бонитировка почв, дозу минеральных удобрений на планируемый урожай по нормативам затрат удобрений на единицу урожая рассчитывают по формуле

$$Д_{N, P, K} = [Y_{п} - (B_{п} B_{и})] \cdot H_{N, P, K},$$

где  $B_{п}$  — балл пашни конкретного поля;  $B_{и}$  — цена балла пашни, т. планируемой сельскохозяйственной продукции на 1 га.

Для перерасчета дозы в килограммах действующего вещества на 1 га в центнеры конкретно используемого удобрения ее делят на процентное содержание действующего вещества в соответствующем удобрении.

Для планирования эффективного и экологически безопасного применения удобрений в хозяйствах на основе нормативных показателей с использованием ЭВМ в ЦИНАО и научно-производственными подразделениями агрохимической службы разработаны специальные программные комплексы.

Дозы удобрений на планируемый урожай возделываемых сельскохозяйственных культур и потребность в удобрениях определяют по нормативам затрат удобрений на единицу урожая с учетом типа и разновидности почвы, ее агрохимических показателей и степени эродированности, предшественника, ее качества и удобренности, сортовых особенностей выращиваемой культуры, внесения органических удобрений и влияния погодных условий.

Если фактические ресурсы удобрений, которыми располагает хозяйство, не соответствуют рассчитанной потребности для получения плановых урожаев, то их распределяют (в том числе имеющиеся органические удобрения) по полям севооборота.

Конечные материалы, которые выдает ЭВМ, содержат все данные о количестве необходимых для внесения на каждый отдельно обрабатываемый участок органических и минеральных удобрений с указанием срока и способа их применения. Годовые планы применения удобрений, разрабатываемые по программам «Радоз», «Экоуд» и другим, служат основой для планирования приобретения сельскохозяйственными товаропроизводителями минеральных удобрений и официальным документом для проведения порядных работ специализированными агрохимическими и внутрихозяйственными подразделениями.

**Балансовые методы определения доз удобрений.** Определение доз удобрений на планируемый урожай можно проводить расчетными методами, в основе которых лежит баланс питательных веществ — сопоставление расхода питательных элементов на формирование урожая (т. е. выноса элементов питания с урожаем культур) с поглощением питательных веществ из почвы и удобрений.

Вынос основных элементов питания на единицу урожая отдельных культур может значительно различаться в зависимости от условий выращивания. Поэтому для расчетов лучше пользоваться данными о выносе, полученными в хозяйстве или в типичных почвенных условиях ближайшими опытными учреждениями. Допустимо применение справочных данных о среднем выносе НРК на единицу урожая, однако при этом получают менее точные показатели (приложение 10).

Коэффициенты использования сельскохозяйственными культурами азота, фосфора и калия из навоза и минеральных удобрений (см. табл. 66) хотя и относительно стабильны, но также подвержены колебаниям в зависимости от культуры (приложение 11),

почвенно-климатических условий, дозы, времени внесения, способа заделки удобрений и т. д.

Для определения доз удобрений на планируемую прибавку урожая необходимо располагать надежными данными об уровне урожайности без удобрений (или при уже используемом их количестве в хозяйстве).

Определение доз удобрений на планируемую прибавку урожая сельскохозяйственных культур. На основе данных о расходе элементов питания на формирование единицы урожая устанавливают размер их выноса с планируемой прибавкой урожая. Необходимое количество питательных веществ в удобрениях для получения прибавки определяют введением поправки на плодородие почвы и с учетом коэффициента использования питательного вещества из удобрений.

Дозу удобрений ( $N$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , кг д. в. на 1 га) на планируемую прибавку урожая рассчитывают по формуле

$$D_{N,P,K} = \frac{100(Y_p - Y_f)BC}{K_y},$$

где  $Y_p$  — планируемая урожайность, т/га;  $Y_f$  — фактический урожай за последние три года, т/га;  $B$  — вынос элементов питания, кг на 1 т основной и соответствующего количества побочной продукции;  $C$  — поправочный коэффициент на плодородие почвы;  $K$  — коэффициент использования растением элементов питания из удобрения, %.

При расчете доз удобрений на планируемую прибавку урожая таким способом удается избежать использования весьма условных данных о величине потребления культурой питательных веществ из почвы.

Определение доз минеральных удобрений с использованием коэффициента возмещения выноса урожаем питательных веществ из почвы за счет применения удобрений. Коэффициенты возмещения выноса  $K_v$  определяют на основании результатов полевых опытов с удобрениями:

$$K_{B_{N,P,K}} = \frac{D_{\text{опт}}}{Y_{\text{опт}} B_{N,P,K}},$$

где  $D_{\text{опт}}$  — оптимальная доза удобрения, кг д. в. на 1 га;  $Y_{\text{опт}}$  — полученная при ее применении урожайность, т/га;  $B_{N,P,K}$  — вынос питательных веществ с единицей урожая, кг д. в. на 1 т (определяют по данным химического анализа основной и побочной продукции).

Дозу минеральных удобрений  $D_{N,P,K}$  (кг д. в. на 1 га) на планируемый урожай ( $Y$ ) с использованием коэффициента возмещения выноса рассчитывают по формуле

$$D_{N,P,K} = YBK_v C,$$

где  $C$  — поправочный коэффициент на плодородие почвы.

Определение доз удобрений на основе выноса урожаем и коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений. Коэффициенты использования питательных веществ из почвы ( $K_p$ ) и удобрений ( $K_v$ ) определяют (%) по данным полевых опытов и агрохимического анализа почвы:

$$K_y = \frac{\Delta YB}{D_{\text{опт}}} \cdot 100; \quad K_p = \frac{YB}{P} \cdot 100,$$

где  $\Delta Y$  — прибавка урожая (т/га) от внесения оптимальной дозы  $D_{\text{опт}}$  одного вида удобрения ( $N$ ,  $P$  или  $K$ ) на фоне двух других;  $B$  — вынос питательных веществ единицей урожая, кг д. в. на 1 т;  $Y$  — урожайность в фоновом варианте, т/га;  $P$  — содержание подвижных форм питательных веществ в почве, кг на 1 га (рассчитывают путем пересчета результатов агрохимического анализа почвы в мг на 1 кг на массу пахотного горизонта почвы).

Дозу азотных удобрений  $D_N$  рассчитывают на планируемую прибавку урожая ( $\Delta Y$ ), а фосфорных и калийных  $D_{P,K}$  — на весь планируемый урожай ( $Y$ ):

$$D_N = \frac{\Delta YB}{K_y} \cdot 100; \quad D_{P,K} = \frac{100YB - PK_p}{K_y}.$$

Этот метод расчета доз удобрений включает оценку возможного выноса культурой элементов питания из почвы за счет подвижных форм, определяемых с помощью агрохимического анализа. Однако коэффициенты использования подвижных форм питательных веществ из почвы различными культурами могут колебаться в широком интервале (приложение 12), например для фосфора от 2 до 20 % и более, а для калия — от 10 до 55 %. Следовательно, эти методы применимы лишь при наличии экспериментально установленных коэффициентов использования элементов для отдельных культур в полевых опытах в конкретных почвенно-климатических условиях.

Определенные различными способами годовые дозы минеральных удобрений корректируют с учетом гранулометрического состава почв, степени их эродированности, а дозы азотных удобрений еще и в зависимости от предшественников (табл. 66). При необходимости учитывают также последствие ранее внесенных органических и фосфорно-калийных удобрений с учетом коэффициентов использования их питательных веществ, приведенных в таблице 66.

**Баланс питательных веществ в севообороте.** Различные расчетные методы целесообразно использовать для проверки правильности разработанной на основе экспериментальных и нормативных данных системы удобрения под отдельные культуры севооборота и для оценки возможных прибавок урожая при принятых дозах органических и минеральных удобрений.

Правильность принятых доз и соотношений удобрений в сево-

66. Примерные коэффициенты использования сельскохозяйственными культурами питательных элементов из удобрений в отдельные годы и за ротацию севооборота, % (Державин и др., 2000)

Время действия	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<i>Минеральные удобрения</i>			
За ротацию	65—75	35—50	65—85
В том числе:			
в первый год	55—70	10—30	40—60
во второй год	3—5	10—15	10—15
в третий год	—	5—10	5—10
<i>Органические удобрения</i>			
За ротацию	50—60	50—60	70—90
В том числе:			
в первый год	20—30	35—45	40—60
во второй год	15—20	15—10	15—20
в третий год	5—10	0—5	5—10

обороте можно проверить сопоставлением прихода и расхода элементов питания, т.е. определением валового баланса питательных веществ за севооборот.

Сопоставление выноса питательных элементов урожаем культур за севооборот с их количеством в составе внесенных органических и минеральных удобрений позволяет представить в общем степень восполнения расхода отдельных питательных веществ из почвы. Однако такой баланс, называемый валовым, не отражает количественную сторону фактического использования элементов питания сельскохозяйственными культурами из удобрений. *Валовой баланс* используют для общей оценки расхода из почвы и поступления в нее элементов питания при ограниченном применении удобрений, когда урожай формируется в основном за счет почвенного плодородия и биологического азота.

При оценке реального баланса питательных веществ согласно принятой системе удобрения в севообороте (или хозяйстве) необходимо учитывать степень использования питательных элементов сельскохозяйственными культурами из удобрений за ротацию, при оценке баланса в отдельных звеньях севооборота — коэффициенты использования элементов питания в первые три года из органических и минеральных удобрений. Эти данные устанавливают на основе обобщения результатов многолетних полевых опытов с удобрениями в севооборотах применительно к определенным почвенно-климатическим условиям.

При оценке складывающегося баланса питательных веществ в севообороте или отдельных его звеньях нужно учитывать уровень потенциального почвенного плодородия, состав возделываемых культур, степень усвоения растениями внесенных с удобрениями элементов питания и другие факторы.

Для дерново-подзолистых и других малогумусированных почв,

особенно легкого гранулометрического состава, необходимо стремиться к превышению не менее чем на 15—20 % прихода азота с удобрениями над его выносом. В то же время на богатых органическим веществом и, следовательно, азотом почвах (например, на осушенных низинных торфяниках и типичных черноземах) допустим небольшой дефицит этого элемента.

Баланс по фосфору всегда должен быть положительным, с превышением поступления над выносом не менее 50 %. При малом содержании подвижных форм фосфора в большинстве почв нашей страны и низком усвоении фосфора из удобрений для поддержания и улучшения почвенного плодородия требуется обеспечивать возмещение этого элемента в 2—2,5 раза большее, чем вынос с урожаем. Баланс по калию на богатых калием тяжелых почвах может иметь дефицит 10—30 % (конечно, при этом необходимо учитывать наличие калиелюбивых культур в севообороте, уровень урожая и применения азотно-фосфорных удобрений), а на песчаных и супесчаных почвах дефицит калия недопустим.

Следовательно, при разработке системы удобрения в севообороте должно быть предусмотрено разумное использование естественного плодородия почвы, а при более высоком уровне химизации земледелия — не только восстановление плодородия почвы, но и его расширение воспроизводство. Например, на дерново-подзолистых и светло-серых лесных почвах размеры возврата элементов питания в виде удобрений в полевых севооборотах с одним полем картофеля должны быть не ниже значений, приведенных в таблице 67.

Балансовый метод применяют также для оценки потребности в удобрениях и характеристики складывающегося круговорота питательных веществ в хозяйстве, по природно-экономическим районам, административным единицам и в целом по стране.

Во внешнехозяйственном балансе сопоставляют размеры отчуждения элементов питания с товарной продукцией и их прихода с органическими и минеральными удобрениями, завозимыми кормами и семенами.

Расчет внутрихозяйственного баланса, как и баланса в севообороте, включает сопоставление выноса питательных веществ урожаем (всех видов продукции, убираемой с поля) с возмещением их при внесении удобрений. Эти статьи баланса имеют наибольший удельный вес в структуре потерь и возврата элементов питания. В полном хозяйственном балансе кроме выноса с урожаем могут учитывать потери питательных веществ из удобрений и почвы, а в приходной статье — возмещение не только с удобрениями, но и с семенами, атмосферными осадками и за счет источников биологического азота — многолетних бобовых трав и сидератов.

Балансовые расчеты в масштабе страны проводят путем суммирования имеющихся разработок по зонам, республикам и областям либо на основе использования данных о средневзвешенных размерах выноса элементов питания каждой культурой на единицу про-

**67. Примерный возврат с удобрениями элементов минерального питания, % от их выноса растениями (по Дерюгину)**

Обеспеченность почв элементами питания (группа или класс)	Вносится за севооборот, % к выносу		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Низкая (1—2)	От +10 до +20	От +120 до +150	От +15 до +10
Средняя (3—4)	От 0 до +10	От +120 до +80	От 0 до -20
Высокая (5—6)	0	От +80 до +30	От -20 до -40

дукции с учетом зональных особенностей, существующей или планируемой структуры посевных площадей, урожайности и обеспеченности органическими и минеральными удобрениями. Балансовые разработки применяют в дополнение к экспериментальным опытным данным для определения потребности в минеральных удобрениях и их поставок природно-экономическим районам, административным единицам и хозяйствам, а также по культурам.

Недостаток балансового метода — при оценке размеров отдельных статей приходной и расходной частей баланса используют большое количество расчетных величин. Балансовые расчеты более надежны, когда применяют экспериментальные данные о размерах выноса элементов питания с урожаем из почвы, коэффициенты использования элементов культурами из удобрений и другие показатели, полученные в полевых опытах с удобрениями в типичных севооборотах при конкретных почвенно-климатических условиях.

Балансовый метод используют при установлении с помощью математического моделирования с применением ЭВМ необходимых доз минеральных удобрений для получения планируемого урожая культур с учетом обеспеченности почвы подвижными формами элементов питания и других параметров почвенного плодородия, коэффициентов использования растениями питательных веществ из удобрений и почвы, коэффициентов возмещения элементов питания, а также нормативов расхода удобрений для направленного изменения плодородия почв.

Таким образом, определение оптимальных доз удобрений проводят на основе экспериментальных, нормативных, балансовых, а также экономико-математических методов (в том числе с использованием ЭВМ).

Разработку системы удобрения, исходя из фактической обеспеченности минеральными удобрениями, чаще всего проводят на основе средних зональных доз, уточняемых по агрохимическим показателям почвы. Для ведущих культур севооборотов возможен расчет доз удобрений на планируемый урожай различными методами. Разработка системы удобрения с целью получения высоких планируемых урожаев всех культур севооборота (в том числе с учетом повышения плодородия почвы) возможна только при полном обеспечении хозяйств минеральными удобрениями. В этих условиях возрастает значение балансовых расчетов для определения

доз удобрений на планируемый урожай и направленного изменения эффективного плодородия почв.

Наиболее достоверные результаты при определении оптимальных доз удобрений можно получить только на основе данных полевых опытов с удобрениями, особенно многолетних, в сочетании с разнообразными расчетными методами проверки правильности соотношения между отдельными элементами питания и предварительной агроэкономической оценки.

В ЦИНАО создана базовая модель для разработки рекомендаций по применению удобрений на уровне сельскохозяйственного предприятия с использованием ЭВМ. Предусмотрено определение доз удобрений всеми основными методами (на основе прямого использования результатов полевых опытов, нормативных данных, балансовых расчетов и производственных функций). Выбор предпочтительного метода зависит от содержания подвижных форм питательных веществ в почве и обеспеченности хозяйства удобрениями, а также экологических ограничений.

Информационной базой при решении задачи служит централизованный банк данных, включающий результаты многочисленных полевых опытов с удобрениями (проведенных агрохимической службой) с учетом почвенно-климатических условий, результаты агрохимического обследования почв, выноса элементов питания урожаем и качества продукции. Если в банке данных объем информации по предпочтительному методу недостаточен, то дозу удобрений определяют на основании их нормативных затрат на единицу прибавки урожая. Рассчитанные дозы удобрений корректируют в зависимости от основных факторов, которые прямо или косвенно влияют на эффективность удобрений (эродированность почв, удобренность и качество предшественника, сортовые особенности культур и т. д.).

Модель включает также блоки, позволяющие определить баланс питательных веществ в хозяйстве и в зависимости от него провести корректировку доз минеральных удобрений, а также учесть при этом использование органических удобрений и показатели баланса элементов питания. Кроме того, она предусматривает наиболее рациональное распределение удобрения по способам внесения и требования к качеству получаемой продукции.

В заключение отметим, что при планировании уровня урожайности сельскохозяйственных культур, доз удобрений и их распределения в севооборотах необходимо учитывать весь комплекс природно-экономических факторов, организационно-хозяйственные условия и особенности питания растений. С возрастанием уровня интенсивности сельскохозяйственного производства и химизации земледелия и строгое соблюдение технологической дисциплины, агроэкологических требований. Огромную роль играют также селекция и внедрение в производство высокопродуктивных сортов

сельскохозяйственных культур, обладающих повышенной отзывчивостью на удобрение и устойчивостью в стрессовых условиях.

Следует подчеркнуть, что высокая устойчивая продуктивность агроценозов обеспечивается за счет рационального использования естественного плодородия почвы и эффективного применения удобрений. В современных условиях для реализации принятой стратегии адаптивной интенсификации агропромышленного комплекса страны центральное место в научных исследованиях агрономического профиля принадлежит разработке адаптивных ландшафтных систем земледелия, а также моделей производственного процесса сельскохозяйственных культур в зависимости от условий их возделывания. Первоочередными задачами агрохимической науки являются создание систем удобрения и технологий их применения (базирующихся на принципах ресурсо- и энергосбережения, экологической безопасности и экономической целесообразности), а также надежной системы долгосрочного оперативного прогноза питания растений и потребности в удобрениях, контроля за качеством продукции, состоянием плодородия почв и окружающей среды.

### 7.3. СПОСОБЫ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Годовую норму удобрений под отдельные культуры можно вносить в разные сроки и различными способами. Сроки и приемы внесения удобрений должны обеспечивать наилучшие условия питания растений в течение всей вегетации и наибольшую окупаемость питательных веществ урожаем. Различают три способа внесения удобрений: допосевное (или основное), припосевное (в рядки, гнезда, лунки) и послепосевное (или подкормки в период вегетации).

**Основное удобрение.** До посева вносят навоз (и другие органические удобрения) и, как правило, большую часть общей дозы применяемых под данную культуру минеральных удобрений.

Цель основного удобрения — обеспечить питание растений в течение всего периода вегетации. Вносят удобрения до посева разбросным способом с помощью туковых сеялок (минеральные удобрения, известь), навозоразбрасывателей (органические удобрения) и других машин.

Основное фосфорно-калийное удобрение вносят преимущественно осенью и заделывают под глубокую зяблевую обработку почвы. При этом удобрения попадают в более влажный и менее пересыхающий слой почвы, где развивается основная масса деятельных корней. При глубокой заделке элементы питания из удобрений лучше используются растениями и более эффективны.

Особое значение имеет глубокая заделка допосевого фосфорного удобрения, поскольку фосфор в почве вследствие химического связывания практически не передвигается. Перспективный способ применения удобрений до посева, особенно суперфосфата, — ленточное, локальное внесение. При локальном размещении

фосфор суперфосфата меньше закрепляется в почве и усвоение его растениями повышается.

Азотные удобрения до посева при орошении и в районах с большим количеством осадков, особенно на легких песчаных и супесчаных почвах, необходимо вносить весной с заделкой под предпосевную обработку почвы. При этом ограничивается возможность потерь нитратного азота удобрений (а также нитратов, образующихся при нитрификации аммонийных, аммиачных форм азотных удобрений и мочевины) за счет денитрификации, вымывания и миграции из корнеобитаемого слоя почвы. На тяжелых почвах в районах с ограниченным количеством осадков в осенне-зимний период аммонийные твердые, жидкие аммиачные удобрения и мочевину можно вносить с осени.

На легких почвах, обладающих малой емкостью поглощения, калийные удобрения целесообразно (во избежание потерь калия от вымывания) вносить вместе с азотными удобрениями весной под культивацию, а под пропашные культуры часть этих удобрений переносить в подкормку.

Для лучшего обеспечения питания растений в начальный период роста наряду с основным удобрением необходимо применять небольшие дозы удобрений одновременно с посевом в рядки или гнезда.

**Припосевное удобрение.** Его вносят специальными комбинированными сеялками. Для всех сельскохозяйственных культур особенно большое значение имеет внесение в рядки гранулированного суперфосфата, так как в начальный период роста растения особенно чувствительны к недостатку фосфора. Под зерновые культуры гранулированный суперфосфат или аммофос могут быть внесены обычными зерновыми сеялками в смеси с семенами.

Под сахарную свеклу, картофель, кукурузу и некоторые другие культуры вместе с суперфосфатом при посеве вносят также небольшие дозы азотных и калийных удобрений либо применяют комплексные удобрения. Под культуры, чувствительные к высокой концентрации питательных веществ вблизи корней, например кукурузу, нужно вносить их на некотором расстоянии (2—3 см) сбоку или ниже семян, чтобы семена отделялись от удобрений прослойкой почвы.

Питательные вещества из удобрений, внесенных в рядки или гнезда на глубину посева семян, большинство растений использует только в первый период роста, поэтому доза их должна быть невысокой — 7—15 кг д. в. на 1 га. При внесении в лунки или в борозды удобрений под картофель и томат питательные вещества удобрения могут использоваться более длительное время, особенно при достаточной влажности почвы. Дозы припосадочного удобрения под эти культуры могут быть увеличены до 20—30 кг д. в. на 1 га.

Припосевное удобрение, рассчитанное главным образом на обеспечение растений легкодоступными формами элементов питания в начальный период их жизни, имеет важное значение и для

последующего развития растений. Благоприятные условия питания с начала вегетации способствуют формированию у молодых растений более мощной корневой системы, что обеспечивает в дальнейшем лучшее использование питательных элементов из почвы и основного удобрения. Благодаря рядковому удобрению растения быстрее развиваются и легче переносят временную засуху, меньше повреждаются вредителями и поражаются болезнями, лучше подавляют сорняки. Припосевное местное внесение небольших доз минеральных удобрений — наиболее эффективный способ их применения, обеспечивающий более высокие прибавки урожая на каждый центнер удобрения (табл. 68).

**68. Эффективность рядкового удобрения в различных почвенно-климатических зонах (по данным ВИА)**

Почвы	Культуры	Урожайность на контроле, т/га	Прибавка урожайности, т/га	Оплата 0,1 т суперфосфата прибавкой урожая зерна, т
Дерново-подзолистые Черноземы, серые лесные и каштановые В среднем по стране	Озимые	2,05	0,34	0,58
		2,22	0,28	0,56
	Яровая пшеница	2,16	0,30	0,60
Дерново-подзолистые		1,62	0,30	0,60
Черноземы, серые лесные и каштановые В среднем по стране	»	1,58	0,20	0,40
		1,59	0,23	0,46

При систематическом применении высоких доз удобрений содержание подвижных форм элементов питания, в том числе фосфора, в почве постепенно возрастает и действие рядкового удобрения может снижаться. Рядковое применение суперфосфата имеет важное значение при выращивании зерновых и других культур в засушливых районах страны, где используют ограниченное количество минеральных удобрений, а фосфор часто находится в первом минимуме.

**Подкормки.** В течение вегетации их применяют в дополнение к основному и припосевному удобрению для усиления питания растений в период наиболее интенсивного потребления ими питательных элементов.

Дробное внесение азота — до посева и в подкормки в соответствии с потребностью в период вегетации — важный элемент интенсивной технологии выращивания зерновых культур. Недостаток азота в начале вегетации этих культур приводит к резкому снижению урожая, а при формировании и наливе зерна — к ухудшению его качества, снижению белковости. На основе данных комплексной диагностики питания растений подкормки азотом проводят в период кущения — начала выхода в трубку.

Ранневесенняя подкормка обязательна при выращивании озимых культур. Внесение азота в этот период повышает интенсивность физиологических процессов в растениях, ускоряет отраста-

ние посевов и их рост, усиливает кущение и закладку репродуктивных органов. Ранние подкормки зерновых культур обеспечивают получение высокого урожая и создают условия для формирования качественного зерна. В засушливых зонах и в условиях быстрого подсыхания почвы ранние подкормки зерновых культур азотными удобрениями проводят прикорневым способом дисковыми сеялками или обычным поверхностным способом при наличии технологической колес.

Для получения сильного и ценного зерна пшеницы используют поздние подкормки азотом. Они не влияют на урожай и применяются для повышения содержания белка и клейковины в зерне. Поэтому поздние подкормки — это удобрение «для качества». Такие подкормки следует проводить на тех полях, которые на основе предварительной диагностики были выделены для получения сильного и ценного зерна.

В случае необходимости применения микроудобрений, регуляторов роста и пестицидов их внесение по возможности совмещают с подкормкой азотом. Для поздних подкормок лучше использовать мочевины или КАС. Опрыскивание посевов растворами этих удобрений проводят с помощью опрыскивателей по технологической колее.

Подкормки широко используют и на многолетних сеяных сенокосах, пастбищах, естественных кормовых угодьях.

Перенесение части азотных и калийных удобрений в подкормку пропашных культур целесообразно при высоких дозах на легких почвах в увлажненных районах с высоким уровнем грунтовых вод. Такие подкормки картофеля, сахарной свеклы и других пропашных культур при средних дозах не дают дополнительного эффекта по сравнению с внесением всего количества удобрений до посева. Действие удобрений, внесенных в подкормку при неглубокой заделке в междурядья пропашных культур, сильно зависит от условий увлажнения в течение вегетации.

В районах с достаточным количеством влаги или при орошении эффективность подкормок значительно выше, чем при недостатке влаги. Для подкормки наиболее целесообразны легкорастворимые азотные удобрения, а также богатые азотом местные органические удобрения — навозная жижа, птичий помет.

Роль подкормок возрастает, если по каким-либо причинам удобрения до посева не применяли или они внесены в недостаточном количестве.

Подкормки клевера и других многолетних трав естественных лугов проводят поверхностно вразброс, а пропашных и овощных культур — в междурядья с заделкой в почву при последующей междурядной обработке культиваторами-растениепитателями или с поливной водой.

Некорневые и корневые подкормки макро- и микроудобрениями широко применяют в плодоводстве и овощеводстве защищенного грунта.

В зависимости от особенностей питания и технологии возделыва-



ния культуры, почвенно-климатических условий, планируемой урожайности, общей дозы минеральных удобрений и их формы возможны различные сочетания указанных способов внесения. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур предусматривают максимальное совмещение обработки почвы и посева с внесением удобрений и пестицидов, а также других операций.

#### 7.4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

При разработке системы удобрения в хозяйстве, севообороте и отдельных сельскохозяйственных культур необходимо проводить определение ожидаемой экономической эффективности планируемых доз и способов внесения органических и минеральных удобрений. Наиболее простым и доступным способом предварительной экономической оценки является сопоставление ожидаемых дополнительных производственных затрат ( $ДЗ$ ) на применение удобрений и стоимости ожидаемой от них прибавки урожая ( $СПУ$ ). Разница между этими показателями характеризует чистый доход ( $ЧД$ ), прогнозируемый в результате применения удобрений:  $ЧД = СПУ - ДЗ$ .

Стоимость прибавки урожая (руб/га) устанавливают путем умножения ожидаемой прибавки урожая ( $ПУ$ ), определяемой по нормативной оплате 1 кг д. в. удобрений приростом урожая основной и побочной продукции, т/га) на возможную стоимость дополнительной основной и побочной продукции (цены реализации —  $ЦР$ , руб.):  $СПУ = ПУ \cdot ЦР$ .

Дополнительные производственные затраты, связанные с применением удобрений, включают стоимость удобрений, затраты на выполнение работ по их применению (начиная со стоимости доставки с товарных баз до внесения в поле), а также затраты на уборку и доработку ожидаемой прибавки урожая.

Отношение стоимости прибавки урожая к дополнительным затратам ( $O$ ) позволяет оценить окупаемость дополнительных затрат на применение удобрений стоимостью дополнительной продукции:  $O = СПУ / ДЗ$ . А отношение чистого дохода к дополнительным затратам, выраженное в процентах, характеризует рентабельность ( $P$ ) применения удобрений:  $P = ЧД / ДЗ \cdot 100$ .

На основе определения этих показателей проводят оценку различных вариантов системы удобрения в зависимости от финансовых, производственно-ресурсных возможностей сельскохозяйственного товаропроизводителя, уровня интенсивности используемых технологий. При ограниченных возможностях приобретения минеральных удобрений на основе рассчитанных показателей чистого дохода, окупаемости затрат и рентабельности устанавливают приоритетность удобрения отдельных культур (по полям севооборота), сенокосов и пастбищ, многолетних насаждений в порядке убывания экономической эффективности.

В первую очередь предусматриваются те составляющие блока удобрений для соответствующих технологий возделывания культур, которые заведомо обеспечивают наибольший агрономический и экономический эффект (ранневесенние азотные подкормки озимых, припосевное и припосадочное внесение фосфорных и комплексных удобрений и т. д.). Для ведущих культур оценивают возможную выгоду от применения средних рекомендуемых зональных доз минеральных удобрений (обеспечивающих нормативную окупаемость действующего вещества удобрений прибавкой урожая основной продукции) и годовых доз удобрений на планируемую урожайность. При этом учитывают сравнительную эффективность различных форм используемых органических и минеральных удобрений. Возможное улучшение качества продукции под влиянием удобрений учитывают как увеличение ее потребительской стоимости при выборе цен реализации, используемых при расчетах.

Изложенный предварительный способ оценки возможной экономической эффективности применения удобрений не должен без необходимости подменять существующие более сложные методы определения результатов процесса производства продукции с использованием более полного набора экономических показателей, в том числе себестоимости продукции и производительности труда, выхода продукции на единицу питательных веществ удобрений и др.

Такие расчеты обязательно нужны для определения фактической экономической эффективности применения удобрений отдельных культур, системы удобрения в севооборотах и хозяйстве в целом.

Помимо традиционной экономической оценки систем земледелия, отдельных агротехнических приемов (включая химическую мелиорацию почв и применение удобрений) и природоохранных мероприятий в современных условиях все большее значение приобретают экологический контроль и энергетический анализ состояния агроэкосистем и агроценозов, энергетическая оценка используемых технологий.

Энергетическая эффективность (энергоотдача) применения удобрений характеризуется биоэнергетическим коэффициентом полезного действия. Энергетический КПД применения удобрений —  $K_{ЭН}$  — характеризуется отношением количества энергии, выраженной в МДж, в прибавке сухого вещества урожая (в основной и побочной продукции) от удобрений —  $E_{ВЫХ}$  — к энергетическим затратам на ее получение —  $E_{ВХ}$ , включая затраты энергии на производство и технологию применения удобрений:

$$K_{ЭН} = E_{ВЫХ} / E_{ВХ}.$$

Применение удобрений считают энергетически оправданным при  $K_{ЭН} \geq 1$ .

При определении возможной экономической и энергетической эффективности удобрений следует использовать современные методики и рекомендации\*.

Развитие рыночных отношений в сельском хозяйстве, несомненно, будет стимулировать стремление сельскохозяйственных товаропроизводителей к снижению себестоимости продукции, более полному использованию природных почвенно-климатических и ландшафтных ресурсов, внедрению малозатратных, энерго- и ресурсосберегающих технологий. Это требует создания соответствующих правовых и экономических механизмов, разработки системы комплексной — социальной, экономической, энергетической и экологической оценки в сочетании со строгим государственным контролем деятельности общественных и частных землепользователей.

Социальная эффективность сельскохозяйственного производства и факторов его интенсификации определяется вкладом в повышение национального дохода (произведенного продукта) на душу населения и уровня народного благосостояния.

Оценка экономической эффективности показывает, насколько выгодно и рентабельно производство и как отдельные факторы его интенсификации сказываются на финансовой деятельности сельскохозяйственных предприятий и крестьянских хозяйств.

Экологическая эффективность определяется влиянием сельскохозяйственного производства на состояние здоровья людей и окружающей среды. Она обеспечивается введением научно обоснованных экологических норм и правил, исключающих использование экологически опасных технологий, соблюдением всеми землепользователями агроэкологических требований и экологических ограничений при интенсификации сельскохозяйственного производства, проведением комплекса мероприятий по охране почв и их плодородия, осуществлением агроэкологического мониторинга.

Энергетический анализ агроэкосистем и агроценозов позволяет оценить значение различных факторов интенсификации в балансе энергии и выявить пути повышения продуктивности использования солнечной энергии и сокращения производственных затрат энергии, в том числе невозможных источников. По мере интенсификации земледелия производство сельскохозяйственной продукции становится все более затратным и энергозатратным, поэтому ведутся поиск и разработка ресурсо- и энергосберегающих технологий, схем и операций, применение которых наиболее экономно. Академик РАСХН В. И. Кирюшин считает, что «при всей привлекательности приведения к общему знаменателю всех расходов на создание урожая энергетический анализ не заменяет, а дополняет

экологическую и экономическую оценки. Не следует преувеличивать его универсальность хотя бы потому, что оценка продукции в калориях не заменяет ее разнообразия».

## **7.5. УДОБРЕНИЕ ВАЖНЕЙШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В СЕВООБОРОТАХ**

### **7.5.1. ОЗИМАЯ ПШЕНИЦА И ОЗИМАЯ РОЖЬ**

Озимые зерновые культуры дают устойчивые урожаи в основных районах возделывания и отличаются высокой отзывчивостью на применение удобрений. Озимая пшеница — ведущая зерновая культура на Северном Кавказе и в Центрально-Черноземной зоне. Значительно расширены площади под озимой пшеницей в Поволжье, а также в Нечерноземной зоне, где на известкованных почвах при соблюдении правильной агротехники и внесении удобрений она может давать высокие урожаи. Основные площади озимой ржи сосредоточены в Нечерноземной зоне на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, а также на выщелоченных и оподзоленных черноземах.

Озимая пшеница более требовательна, чем озимая рожь, к нейтральной реакции среды и почвенному плодородию. Вынос питательных элементов у озимой пшеницы и озимой ржи на единицу товарной продукции относительно стабилен и довольно близок (в кг на 1 т зерна и соответствующее количество соломы  $N = 30-35$ ,  $P_2O_5 = 10-12$  и  $K_2O = 25-30$ ). Новые высокопродуктивные сорта озимой пшеницы отличаются повышенной потребностью в элементах питания, особенно азоте.

Пшеница меньше, чем рожь, усваивает питательные вещества из труднорастворимых соединений в почве и хуже переносит временное понижение температур и засуху.

До кушения озимые культуры потребляют относительно небольшое количество питательных веществ, но весьма чувствительны к их недостатку, особенно фосфора. Максимум потребления элементов питания приходится на период от выхода в трубку до колошения — начала цветения (табл. 69). Однако наиболее ответственным в отношении снабжения питательными веществами являются периоды от всходов до ухода под зиму, а также начала вегетации весной.

В осенний период для хорошего роста и перезимовки озимых должно быть обеспечено повышенное фосфорно-калийное и умеренное азотное питание. Усиленное питание озимых с осени фосфором и калием способствует лучшему кушению и развитию растений, накоплению большого количества углеводов (сахаров) и повышению зимостойкости. При обильном снабжении культуры осенью азотом ухудшаются условия перезимовки, что имеет особое значение в регионах с более суровыми зимами.

\* Державин Л. М., Колокольцева И. В., Серегин В. В. Планирование применения ограниченных ресурсов минеральных удобрений (рекомендации). — М.: РАСХН, ЦИНАО, 2000.

69. Потребление озимыми зерновыми элементов питания, % максимального содержания в урожае

Период роста и фазы развития	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<i>Озимая пшеница</i>			
Осень и ранняя весна	47	30	48
Начало колошения	69	65	68
Цветение	90	93	95
Начало созревания	98	97	100
Полная спелость	100	100	82
<i>Озимая рожь</i>			
Выход в трубку	76	58	82
Цветение	93	78	99
Восковая спелость	100	100	100

Весной озимые рано трогаются в рост и требуют повышенного количества азота. Азотные подкормки в фазы кушения и трубкования озимых способствуют увеличению урожая зерна, а более позднее — в фазы кушения и налива зерна — повышению белковости (и содержания клейковины в зерне пшеницы).

Озимые зерновые культуры хорошо отзываются на внесение органических удобрений и оплачивают их прибавкой урожая. Наиболее эффективно применение навоза в Нечерноземной зоне. На дерново-подзолистых почвах из 145 опытов прибавка составляла в среднем 0,71 т/га, а на черноземах и серых лесных почвах из 338 опытов — 0,56 т/га. Еще меньше она на обыкновенных и южных черноземах. Урожай озимых на этих почвах в среднем из 92 опытов повышался на 0,31 т/га. Оптимальные дозы органических удобрений под озимые культуры в Нечерноземной зоне не превышают 30 т/га, на черноземах лесостепи — 20, а в степных районах — 15 т/га. Последствие навоза на черноземах сильнее, чем на дерново-подзолистых почвах, а в степных районах оно даже несколько выше, чем прямое действие на озимые (Гулякин).

Органические удобрения применяют под озимые, идущие по чистым парам и после рановубираемых предшественников. При посеве по занятым парам органические удобрения лучше вносят под паразитирующую культуру, так как в этом случае они обеспечивают большую суммарную прибавку урожая. При орошении органические удобрения вносят, как правило, под предшествующую культуру в дозе 20—40 т/га.

Необходимый уровень питания озимой пшеницы фосфором и калием в осенний период и на протяжении всей последующей вегетации обеспечивается внесением фосфорно-калийных удобрений под основную обработку почвы. Для усиления питания растений в начальный период, лучшего укоренения озимой пшеницы и более быстрого роста надземных органов в рядки при посеве вносят небольшие дозы суперфосфата (10—15 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на 1 га), аммофоса или других комплексных азотно-фосфорно-калийных удоб-

рений. Включение небольших доз азота в рядковое удобрение целесообразно, если озимые идут по занятым парам и непаровым предшественникам, не получающим навоз, а включение калия — на легких и других бедных этим элементом почвах. При рядковом удобрении обеспечивается высокая окупаемость внесенного фосфора прибавкой урожая (см. табел. 68).

Весенние азотные подкормки озимых хлебов — обязательный прием, обеспечивающий значительное повышение урожайности при высокой окупаемости затрат. Многочисленные данные Географической сети полевых опытов ВИУА в различных почвенно-климатических зонах страны, массовых полевых опытов агрохимической службы в производственных условиях и многолетняя практика сельского хозяйства свидетельствуют об устойчивой высокой эффективности весенней азотной подкормки озимых зерновых культур.

При умеренных дозах (30—40 кг/га) азота весенние подкормки обеспечивают прибавки урожая зерна на дерново-подзолистых почвах Нечерноземья и на черноземах в увлажненных районах Краснодарского края 0,5—0,6 т/га, на серых лесных почвах и маломощных черноземах лесостепной зоны — 0,3—0,5 т/га, выщелоченных и обыкновенных черноземах Центрального района и юго-востока России, засушливой зоны Северного Кавказа 0,15—0,2 т/га. Особенно высокие абсолютные прибавки урожая и окупаемость 1 кг азота весенних подкормок зерном (на уровне 8—10 кг, а нередко и до 12—15 кг) получают в регионах с достаточной влагообеспеченностью и при орошении, а также в засушливых районах в благоприятные по увлажнению годы.

Высокая эффективность весенней подкормки озимых хлебов проявляется и при больших дозах азота (40—60 кг/га), но окупаемость единицы внесенного азота получаемой прибавкой урожая зерна может снижаться. Так, в опытах ЦОС ВИУА (Барыбино, Московская обл.) прибавка урожая зерна озимой пшеницы от весенней подкормки в дозе 30 кг/га азота по фону РК составляла в среднем 0,53 т/га. Удвоение дозы азотной подкормки сопровождалось дальнейшим ростом урожая, но вторые 30 кг азота оплачивались зерном в 2,5 раза ниже.

При ограниченных возможностях применения азотных удобрений весеннюю подкормку озимых целесообразно провести в минимальных дозах (30—40 кг/га) на большей площади посевов, что обеспечит получение больших суммарной прибавки урожая и валового дохода при высокой окупаемости единицы удобрения.

Более высокие дозы азота (до 50—60 кг/га) применяют в весеннюю подкормку при позднем снеготаянии, хорошем запасе влаги в почве, успешной перезимовке озимых, на более плодородных и окультуренных почвах с хорошим фитосанитарным состоянием.

Стабильно высокий эффект от азотной подкормки объясняется тем, что озимые трогаются в рост весной, когда особенно нуждаются в доступном растениям минеральном азоте, накопление ко-

того в почве тормозится из-за слабой микробиологической активности и минерализации органического вещества почвы при низких температурах. К тому же осенью и весной из переувлажненной почвы теряется большое количество азота в газообразной форме в результате денитрификации, а также вымывания нитратов. Ослабленные после перезимовки озимые практически повсеместно, независимо от типа почвы и предшественника (за исключением посевов на черноземах по чистым парам), весной испытывают недостаток азота.

Весенние азотные подкормки усиливают регенерацию отмерших стеблей, кушение, ускоряют рост и формирование листового фотосинтезирующего аппарата. Достаточная обеспеченность азотом в этот период увеличивает образование продуктивных стеблей, ускоряет и усиливает процессы дифференциации и формирования репродуктивных органов, а затем образование более озерненных колосьев, повышает массу зерна одного колоса и в итоге урожайность озимых хлебов.

Эффективность весенних подкормок озимых сильно зависит от сроков их проведения и погодных условий, прежде всего влагообеспеченности.

Максимальные прибавки урожая зерна достигают от азотных подкормок, проводящихся в начале активного отрастания озимых, когда температура почвы на глубине 10 см составляет 7—9 °С, а сумма положительных среднесуточных температур за период после схода снега превысит 200 °С. Именно в этот период активизации ростовых процессов увеличивается скорость поглощения озимыми азота и растения более полно используют внесенный азот удобрений.

При слишком раннем проведении азотных подкормок — по мерзлой почве в конце таяния снега (по таломерзлой почве, так называемому «черепку», возрастает опасность потерь внесенного азота (за счет поверхностного стока, особенно на склоновых землях, внутрипочвенной миграции и денитрификации нитратов), загрязнения грунтовых вод. Запаздывание с подкормкой также снижает ее эффективность из-за иссушения почвы, а при хорошей влагообеспеченности из-за усиления с повышением температуры мобилизации почвенного азота. В лизиметрических опытах Е. В. Руделева с дерново-подзолистой песчаной и суглинистой почвами на ЦОС ВИУА весенняя подкормка в начале вегетации озимых обеспечила лучшее использование озимой пшеницей Мироновская 808 меченого азота удобрения и больший урожай зерна, чем подкормки рано весной по «черепку» (табл. 70).

Для прогноза оптимального срока подкормок используют данные метеорологической службы о времени окончательного схода снега и начале весенней вегетации озимых. В Нечерноземной зоне подкормку следует начинать спустя 10—15 дней, в лесостепной зоне — 7—10 дней после полного схода снега, заканчивать ее проведение необходимо соответственно за 8—10 и 4—5 дней.

В условиях недостатка влаги (при быстром сходе снега и под-

70. Урожай и использование озимой пшеницей меченого азота ( $^{15}\text{N}$ ) удобрения в зависимости от срока его внесения

Вариант опыта	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая суглинистая почва	
	урожай зерна, т/га	коэффициент использования азота удобрения, %	урожай зерна, т/га	коэффициент использования азота удобрения, %
РК	37,5	—	67,2	—
РК + $^{15}\text{N}$ весной по «черепку»	60,3	43,7	97,0	34,6
РК + $^{15}\text{N}$ весной в начале вегетации озимых	78,0	66,4	118,0	50,7

сыхании почвы в сухие весны и при запоздалых подкормках, в засушливых зонах) предпочтительнее прикорневое внесение азотных удобрений с помощью дисковых сеялок по физически спелой почве на глубину расположения узла кушения (табл. 71).

71. Прибавка урожая зерна озимой пшеницы (т/га) при разных способах внесения азота в подкормки в дозе  $\text{N}_{60}$ , кг/га (Шафран, 1999)

Почвы	Подкормка	
	поверхностная	прикорневая
Дерново-подзолистые	5,0	5,8
Серые лесные	4,0	5,8
Черноземы:		
выщелоченные и оподзоленные	4,5	7,0
типичные	3,5	5,0
обыкновенные	7,7	11,0
южные	10,1	9,7
мицеллярно-карбонатные и предкавказские	1,8	8,5

В этом случае удобрения вносят поперек посевных рядков, а при перекрестном посеве — по диагонали на глубину 2—5 см с интервалом 12—17 см.

Следует заметить, что вместо весенней подкормки озимых допустимо вносить азотные удобрения поздней осенью, перед уходом растений под снег, особенно в засушливых районах с быстрым промерзанием почвы. Однако подзимнюю подкормку озимых хлебов из-за опасности смыва и потерь азота в результате вымывания нитратов в грунтовые воды применяют только на полях с ровным рельефом и при низком залегании грунтовых вод.

При высоких дозах удобрений для подкормок озимых культур можно использовать все формы твердых азотных удобрений (аммиачную селитру, мочевину, сульфат аммония и др.). Обобщение академиком Д. А. Кореньковым результатов 93 полевых опытов Географической сети ВИУА за 10 лет показало, что при весенней

подкормке озимых аммиачная селитра и мочевина практически были равноценны. Средняя величина прибавок урожая зерна от весенних подкормок озимых этими азотными удобрениями составила соответственно 0,41 и 0,36 т/га при урожае на контроле 2,54 т/га. Для весенних подкормок озимых культур успешно можно применять также водные растворы мочевины и аммиачной селитры (КАС). При этом обеспечиваются полная механизация работ, лучшая равномерность внесения, точность дозирования при меньших затратах труда. Подкормку озимых можно проводить также органическими удобрениями, содержащими азот в легкодоступной форме, — навозной жижей, птичьим пометом. Перед боронованием озимых в весеннюю подкормку вносят 4—5 т/га навозной жижи (разбавленной водой в 2—3 раза) или 4—5 ц/га сухого птичьего помета (при разбавлении водой в 6—7 раз). Дозу жидкого навоза для весенних подкормок озимых определяют по содержанию в нем азота.

Азотным удобрениям принадлежит ведущая роль в повышении урожаев зерновых озимых культур на малогумусированных почвах Нечерноземья в условиях достаточного увлажнения. При посеве озимых зерновых по чистому пару, после многолетних трав (особенно клевера и люцерны), зерновых бобовых и по хорошо унавоженному занятому пару общую дозу азотных удобрений снижают. Примерные дозы удобрений под озимые зерновые культуры, возделываемые по различным предшественникам в основных зонах, приведены в таблицах 58—60.

На неорошаемых землях Центрально-Черноземной зоны, особенно в южных и юго-восточных районах, решающее значение для озимой пшеницы имеют фосфорные удобрения, тем более при выращивании ее по чистым парам.

В основных районах орошаемого земледелия на черноземах и каштановых почвах под озимую пшеницу наиболее эффективно применение азотных и фосфорных удобрений. Калийные удобрения эффективны только на фоне азота и фосфора в повышенных дозах (см. табл. 63).

Дозы удобрений уточняют с учетом уровня планируемого урожая и содержания подвижных форм питательных веществ в почве (см. табл. 62).

Самую высокую и устойчивую эффективность удобрений при внесении их под озимые культуры получают в зонах достаточного увлажнения и в районах орошаемого земледелия. При этом окупаемость зерном 1 кг NPK достигает 10 кг.

Базовая технология производства зерна озимой пшеницы для типичных условий лесостепной зоны предусматривает:

при традиционной технологии получение урожайности зерна 2,5—3 т/га за счет использования плодородия почвы и ресурсов агроландшафта, биологического потенциала сорта с его реализацией более 50 % и применения минеральных удобрений в рядки и азот-

ной весенней подкормки в дозе 30 кг/га при размещении посевов после пожнивной культуры сидератов или по пласту многолетних трав;

при интенсивном типе технологии для получения 4,0—5,0 т/га качественного зерна с частичной компенсацией выноса питательных веществ урожаем за счет применения  $N_{40}$  весной в подкормку и по  $P_{40}K_{40}$  (под основную обработку и  $P_{10-15}$  в рядки) при использовании мер защиты растений от наиболее опасных болезней, вредителей и сорняков, с реализацией биологического потенциала сорта выше 65 %;

при высокой технологии для получения урожайности зерна свыше 5,0 т/га с использованием новых высокоинтенсивных сортов, комплексной системы защиты растений и компенсацией выноса элементов питания с урожаем за счет применения в чистом пару и под другие предшественники 20—30 т/га навоза и минеральных удобрений по чистому пару 180 NPK, а по другим предшественникам — 210 NPK (соответственно  $N_{60}$  и  $N_{90}$  дробно — до посева и в подкормки в соответствии с результатами комплексной диагностики питания растений по фону 60 РК под основную обработку) с реализацией биологического потенциала сорта более 85 %.

Подобным образом при нормальной, интенсивной и высокой базовых технологиях предусматривают производство соответственно 2—2,5; 3,5—4 и более 5 т/га зерна озимой ржи при применении доз удобрений, аналогичных приведенным для озимой пшеницы.

Окупаемость 1 кг д. в. удобрений при такой технологии составляет 8—10 кг зерна. Базовая технология апробирована и внедрена на площади по 500 тыс. га посевов озимой пшеницы и озимой ржи.

При высоких технологиях азотные удобрения под озимые культуры чаще всего вносят дробно — 1/3 общей дозы под предпосевную обработку, а остальное количество в подкормки. Дробное применение минерального азота удовлетворяет потребность растений в азотном питании в течение периода вегетации и уменьшает вероятность полегания. При этом азот удобрений более продуктивно используется на формирование урожая высокого качества, снижаются потери внесенного азота и опасность загрязнения природных вод нитратами. Умеренное, но достаточное азотное питание осенью, когда происходит формирование элементов продуктивности, имеет огромное значение для урожая.

Азотные подкормки проводят с учетом агрометеорологических условий, состояния озимых культур и потребности растений в этом элементе по фазам развития. Для корректировки доз нужно обязательно учитывать состояние посевов после перезимовки по результатам биологического контроля, содержание минерального азота в почве (уточнение дозы первой подкормки) и общего или нитратного азота в растениях (уточнение дозы весенних и летних

подкормок при выходе в трубку «для урожая» и определение целесообразности поздних подкормок «для качества»).

Общую дозу азотных, фосфорных и калийных удобрений устанавливают, исходя из уровня планируемого урожая и нормативов затрат питательных веществ удобрений на формирование единицы продукции (табл. 72), а максимальную дозу азота — с учетом экологических ограничений.

**72. Нормативы затрат питательных веществ удобрений на 1 т зерна (кг д. в.) и максимальная экологически безопасная доза азота ( $N_{\max}$ , кг/га д. в.) (по данным ЦИНАО)**

Экономический район	Озимая пшеница				Озимая рожь			
	N	$P_2O_5$	$K_2O$	$N_{\max}$	N	$P_2O_5$	$K_2O$	$N_{\max}$
Центральный (Нечерноземной зоны)	28	22	20	140	32	25	21	110
Центрально-Черноземный	23	17	15	125	20	17	15	80
Поволжский	18	15	9	80	23	19	16	80
Северо-Кавказский	16	13	9	80	—	—	—	—
Западно-Сибирский	—	—	—	—	21	18	15	60

В сухостепных районах страны весенние подкормки не всегда эффективны, в то время как поздние положительно влияют на качество зерна. Однако в этих условиях получение высококачественного зерна возможно только при сбалансированном питании азотом и фосфором.

Влияние поздних подкормок озимых зерновых культур азотом на содержание белка и клейковины в зерне сильно зависит от влажности почвы в слое 0—20 см. При малых запасах влаги (25 % НВ) и на переувлажненных почвах (80 % НВ) позднюю летнюю подкормку проводить не следует. Поздняя подкормка озимых культур азотом эффективна лишь на полноценных по густоте посевах с ожидаемой урожайностью пшеницы более 2,5—3 т/га, а ржи — не менее 2—2,5 т/га при общей годовой дозе азота свыше 60 кг/га. При меньшей дозе азот лучше использовать до посева и при весенней подкормке.

Даже при дробном внесении повышенных доз азота под озимые хлеба наблюдается склонность к полеганию посевов. В этом случае целесообразно применение ретардантов (тур и др.), повышающих устойчивость растений к полеганию.

### 7.5.2. ЯРОВАЯ ПШЕНИЦА, ЯЧМЕНЬ И ОВЕС

Основные площади возделывания *яровой пшеницы* сосредоточены в засушливых восточных районах страны — Поволжье, на Урале, в Западной и Восточной Сибири. Остальные площади посева этой культуры расположены в Центральном, Волго-Вятском и Централь-

но-Черноземном экономических районах. Яровая пшеница — важнейшая продовольственная культура, на ее долю приходится до половины валового сбора зерна в стране. В зерне яровой пшеницы много белка (16—18 %, а в засушливых районах свыше 20 %), оно обладает высокими мукомольными и хлебопекарными качествами.

*Ячмень* имеет наиболее короткий из яровых зерновых культур вегетационный период, отличается невысокой требовательностью к теплу, его выращивают на всей территории страны. Основные площади под ячменем размещены на черноземных почвах в лесостепной и степной зонах, а также в Нечерноземной зоне, где при достаточной влажности складываются благоприятные условия для возделывания пивоваренного ячменя. Как и пшеница, ячмень не переносит кислотности почвы, очень хорошо отзывается на известкование и удобрение.

*Овес* отличается меньшей требовательностью к теплу и плодородию почвы, чем другие яровые зерновые культуры, лучше переносит кислые почвы, устойчив к кратковременным заморозкам. Ему свойственна повышенная потребность во влаге, особенно в первой половине вегетации. Основные площади посевов овса расположены в Нечерноземной зоне и более увлажненных районах Поволжья, Урала и Сибири.

Вынос питательных веществ (соответственно N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$ ) составляет в среднем при урожайности яровой пшеницы 3—3,5 т/га 140, 50 и 75 кг, урожайности ячменя 3,5—4 т/га — 110, 40 и 80 кг, урожайности овса 2,5 т/га — 80, 35 и 80 кг.

Поглощение питательных элементов у яровых зерновых культур заканчивается в основном к фазе колошение — цветение. Они имеют более короткий, чем озимые зерновые, вегетационный период и, следовательно, отличаются высокой интенсивностью потребления элементов минерального питания (табл. 73).

**73. Потребление яровыми зерновыми культурами основных элементов питания, % от максимального**

Фаза развития	Пшеница			Ячмень			Овес		
	N	$P_2O_5$	$K_2O$	N	$P_2O_5$	$K_2O$	N	$P_2O_5$	$K_2O$
Колошение	71	68	88	71	56	73	51	36	54
Цветение	97	100	100	96	74	100	82	71	100
Полная спелость	90	93	67	100	100	64	100	100	88

В повышении урожая яровых зерновых культур на почвах Нечерноземной и лесостепной зон азоту принадлежит ведущая роль. На выщелоченных черноземах Зауралья и Восточной Сибири, на серых лесных почвах Западной и Восточной Сибири важное значение наряду с азотом имеют фосфорные удобрения. На черноземах степной зоны и в юго-восточных районах, а также на каштановых почвах и южных черноземах первоочередное значение имеют фосфорные удобрения.

В Нечерноземной зоне предшественники яровой пшеницы, ячменя и овса обычно озимые или пропашные культуры, удобренные навозом. Навоз можно вносить непосредственно под яровую пшеницу, идущую по чистым парам в Сибири и юго-восточных районах европейской части страны.

При выращивании яровых после картофеля, сахарной свеклы, зерновых и других поздноубираемых культур потребность в удобрениях, особенно азотных, всегда несколько выше, чем после раноубираемых предшественников. На дерново-подзолистых почвах для получения высокого урожая яровых зерновых культур необходимо полное минеральное удобрение. При посеве яровых зерновых после многолетних бобовых трав и зерновых бобовых в Нечерноземной зоне и по чистым парам в засушливых районах потребность в азотных удобрениях снижается.

Азотные удобрения вносят обычно под предпосевную обработку почвы. Питание яровых зерновых культур фосфором и калием лучше всего обеспечивается при глубокой заделке удобрений под зяблевую обработку почвы в сочетании с применением небольших доз суперфосфата или аммофоса (8—10 кг  $P_2O_5$  на 1 га) в рядки при посеве. При большей дозе фосфора (20 кг  $P_2O_5$ ) затраты фосфора на 1 т прибавки зерна возрастают, а окупаемость внесенного фосфора прибавкой урожая, как правило, сильно снижается (табл. 74).

#### 74. Эффективность рядкового внесения гранулированного суперфосфата под яровую пшеницу (по данным ВНИПТИХИМ)

Республика, экономический район, зона	Доза $P_2O_5$ , кг/га	Прибавка урожайности, т/га	Затраты $P_2O_5$ на 1 т прибавки зерна, кг	Окупаемость 1 кг $P_2O_5$ прибавкой зерна, кг
Российская Федерация	10*	0,16	63	16
	20**	0,21	91	11
Поволжский	20	0,22	71	11
Уральский	20	0,22	91	11
Западно-Сибирский:	10	0,15	67	15
	20	0,23	87	12
лесостепная	10	0,21	50	21
	20	0,27	74	14
степная	10	0,10	91	10
	20	0,19	100	10
Восточно-Сибирский:	10	0,17	55	17
	20	0,25	80	13
лесостепная	10	0,15	59	15
степная	10	0,21	48	21
	20	0,25	80	13

\* 96 опытов, \*\* 185 опытов.

Примерные дозы минеральных удобрений под яровые колосовые культуры в различных районах страны приведены в таблицах 75, 76.

75. Нормативы затрат питательных веществ удобрений на 1 т зерна яровых злаковых культур, кг д. в., и максимальные экологически безопасные дозы азота ( $N_{max}$ ), кг/га д. в. (по данным ЦИНАО)

Экономический район, зона	Яровая пшеница					Яровая ячмень					Овес				
	N	$P_2O_5$	$K_2O$	$N_{max}$		N	$P_2O_5$	$K_2O$	$N_{max}$		N	$P_2O_5$	$K_2O$	$N_{max}$	
Нечерноземная зона	28	18	18	110		30	20	19	100		31	21	19	95	
Центрально-Черноземный	20	17	16	90		18	14	13	70		26	23	19	100	
Поволжский	20	17	12	80		15	13	10	50		21	16	10	85	
Северо-Кавказский	27	20	16	65		20	17	12	70		—	—	—	—	
Уральский	26	23	18	90		28	18	12	80		28	25	21	85	
Западно-Сибирский:															
лесолуговая	27	21	20	80		27	20	15	90		—	—	—	—	
лесостепная	24	20	13	70		23	17	14	70		18	15	11	65	
степная	20	16	11	50		21	17	13	50		18	14	9	55	
Восточно-Сибирский:															
лесостепная	25	18	14	75		26	18	14	80		25	15	10	85	
степная	24	19	12	60		22	16	14	45		26	26	14	50	
Дальневосточный	25	20	12	75		24	20	16	80		—	—	—	—	



Высокий эффект от удобрений, применяемых под яровые зерновые культуры, наблюдается в Нечерноземной зоне, в северной части Черноземной зоны и в условиях орошаемого земледелия. На юге и юго-востоке страны эффективность удобрений из-за недостатка влаги снижается, здесь особое значение имеет внесение фосфора, в первую очередь при посеве.

При перенесении части азота в подкормки яровых зерновых культур эффективность поверхностно внесенных удобрений сильно зависит от увлажнения. Ранняя подкормка азотными удобрениями целесообразна при орошении (с первым поливом), когда применяют более высокие дозы удобрений. Для повышения белковости зерна пшеницы и улучшения его технологических и хлебопекарных качеств можно применять позднюю подкормку после цветения азотными удобрениями, прежде всего мочевиной или КАС.

При выращивании яровой пшеницы, фуражного ячменя и овса по интенсивным технологиям общую потребность в удобрениях на планируемую урожайность определяют на основе нормативов (табл. 75), разрабатываемых зональными научными учреждениями, с учетом агрохимических свойств почвы, а целесообразность проведения и дозы азотных подкормок — по результатам комплексной диагностики питания растений. При выращивании пивоваренного ячменя для получения большего содержания крахмала в зерне применяют умеренные дозы азота.

Удобрение при нормальном, интенсивном и высоком типах базовой технологии производства зерна яровых зерновых культур для лесостепной зоны с реализацией биологического потенциала сорта соответственно более 40; 65 и 85 % с отдачей от удобрений 8—10 кг зерна на 1 кг д. в. включает использование следующих доз (минеральные удобрения, а органические нецелесообразны):

при нормальной технологии только  $N_{30}$  под предпосевную обработку и в рядки  $P_{10}$  в форме суперфосфата или аммофоса;

при интенсивной технологии —  $N_{60}P_{40}K_{60}$ , азот под предпосевную обработку и  $P_{10}$  в рядки, остальные фосфорные и калийные удобрения — под основную обработку, применяют также меры по защите растений;

при высокой технологии —  $N_{60-90}P_{40}K_{60}$ ,  $N_{60}$  используют после зернобобовых и многолетних трав, а  $N_{90}$  после пропашных и зерновых предшественников; фосфорно-калийные удобрения вносят под основную обработку, предусматривают также комплексную защиту растений.

Урожайность зерна при нормальной технологии возделывания 2—2,5 т/га, при интенсивной — 3,5—4 т/га ярового ячменя и 3—3,5 т/га яровой пшеницы и овса, при высокой технологии в условиях лесостепной зоны Нечерноземья — 4,5—5 т/га ярового ячменя и 4—4,5 т/га яровой пшеницы и овса. Отдача от удобрений 8—10 кг зерна на 1 кг д. в.

Для повышения урожаев и обеспечения устойчивого производства высококачественного зерна яровой пшеницы в степной и сухостепной зонах (на Урале, в Поволжье, Сибири) эту культуру возделывают по интенсивной технологии, размещая по чистым парам и во втором поле после пара. В паровых полях применяют почвозащитные и влагосберегающие обработки почвы, заправку органическими и минеральными, прежде всего фосфорными, удобрениями, проводят интегрированную защиту растений от сорняков, болезней и вредителей. Технология предусматривает получение на богаре стабильного урожая сильного и ценного зерна — 2—2,2 т/га по чистым парам и 1,5—1,8 т/га по другим предшественникам. Примерные дозы удобрений приведены в таблице 76.

76. Примерные дозы минеральных удобрений под яровую пшеницу, возделываемую по интенсивной технологии, кг/га

Природно-сельскохозяйственная зона, регион	Общая доза удобрений	Основное внесение			Припосевное (рядковое) внесение $P_2O_5$
		N	$P_2O_5$	$K_2O$	
По чистому пару					
Степная зона:					
Поволжье	50—60	—	40—50	—	10
Урал	50—70	—	30—40	10—20	10
Сибирь	70—90	—	50—60	10—20	10
Сухостепная зона:					
Поволжье	40—50	—	30—40	—	10
Урал	30—40	—	20—30	—	10
Сибирь	50—60	—	40—50	—	10
Вторая культура после пара					
Степная зона:					
Поволжье	50—60	20—30	20—30	—	10
Урал	80—110	30—40	30—40	10—20	10
Сибирь	90—120	30—40	30—40	20—30	10
Сухостепная зона:					
Поволжье	50—70	20—30	20—30	—	10
Урал	50—70	10—20	30—40	—	10
Сибирь	60—80	20—30	30—40	10—20	10

Применительно к конкретным условиям дозы удобрений устанавливают с учетом агрохимических свойств почвы, планируемой урожайности и запаса продуктивной влаги в почве. Фосфорные (а при необходимости и калийные) удобрения вносят под основную обработку почвы, а при посеве в рядки обязательно применяют суперфосфат или аммофос из расчета 10 кг  $P_2O_5$  на 1 га. Для повышения качества зерна по результатам предварительной листовой диагностики растений проводят некорневую подкормку яровой пшеницы азотом в период цветения — начала налива зерна.

### 7.5.3. КРУПЯНЫЕ КУЛЬТУРЫ

*Просо* сравнительно требовательно к уровню плодородия почв и отличается от колосовых зерновых культур повышенной засухоустойчивостью. Основные площади его посевов расположены в степной зоне и южной (черноземной) части лесостепной зоны. На 1 т зерна и соответствующее количество остальной растительной массы просо потребляет (кг): 30—35 N, 10—13 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 30—35 K<sub>2</sub>O. Наибольшую долю питательных веществ просо потребляет за относительно короткий (40—50 дней) период от кущения до налива зерна.

На южных черноземах и каштановых почвах степной зоны первоочередное значение имеют фосфорные удобрения. Весьма эффективно внесение в рядки небольших доз суперфосфата (10 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Действие удобрений на урожайность проса в засушливых условиях возрастает при орошении, в этом случае эффективно сочетание азота и фосфора. На серых лесных почвах, выщелоченных, оподзоленных и обыкновенных черноземах целесообразно применение полного минерального удобрения. Просо хорошо использует последствие внесенных под предшествующую культуру органических и минеральных удобрений.

*Гречиха* на 1 т зерна потребляет 45—55 кг N, 20—35 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 100—120 кг K<sub>2</sub>O. Она менее требовательна, чем другие культуры, к плодородию почвы прежде всего благодаря лучшей способности усваивать фосфор и калий из труднодоступных соединений. Поэтому гречиха при выращивании на хорошо окультуренных почвах слабее реагирует на внесение удобрений, но весьма отзывчива на бедных почвах. Гречиха хорошо удается в европейской части страны на серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах. Здесь, как и на типичных и обыкновенных черноземах, обычно применяют полное минеральное удобрение, но ведущая роль принадлежит сочетанию азота и фосфора. Калийные удобрения эффективны только на их фоне, особенно на более легких почвах. Способы внесения удобрений те же, что и для других яровых культур. Под гречиху в основное удобрение можно применять фосфоритную муку даже на слабокислых почвах.

Гречиха хорошо отзывается на рядковое применение суперфосфата (10—15 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на 1 га), остальное количество фосфора и калийные удобрения следует заделывать под основную обработку почвы, а азотные — под предпосевную. Рядковое внесение фосфора повышает устойчивость всходов гречихи к поздневесенним заморозкам и обеспечивает прибавку урожая зерна 0,15—0,25 т/га.

Примерные дозы удобрений под крупяные культуры указаны в таблицах 58, 59. Дозы удобрений на планируемый урожай при интенсивных технологиях возделывания яровых зерновых культур можно рассчитать по нормативам затрат удобрений на 1 т зерна (табл. 77).

77. Нормативы затрат питательных веществ удобрений на 1 т зерна гречихи, кг д. в. (по данным ЦИНАО)

Экономический район, природные зоны	НРК	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Нечерноземная зона	68	29	25	14
Центральный:	77	32	29	16
лесолуговая	78	36	22	20
лесостепная	75	31	30	14
Волго-Вятский:	77	30	25	22
лесолуговая	74	31	22	21
лесостепная	86	29	31	26
Центрально-Черноземный	62	26	18	18
Поволжский	65	26	27	12
Уральский	36	16	17	3
Западно-Сибирский	66	25	19	22

Базовая технология для типичной лесостепной зоны производства зерна крупяных культур при нормальном и интенсивном типах предусматривает реализацию биологического потенциала сорта проса соответственно выше 40 и 60 % (урожайность зерна 1,2—1,5 и 2—2,5 т/га) и гречихи более 45 и 65 % (урожайность зерна 0,8—1,2 и 1,5—2,0 т/га), а высокая технология производства зерна проса — реализацию потенциала сорта более 80 % и урожайность 2,5—3 т/га. Блок питания растений при нормальной технологии предусматривает внесение N<sub>20</sub> под предпосевную обработку и K<sub>40</sub> под основную, на почвах с содержанием подвижного фосфора ниже среднего целесообразно внесение в рядки P<sub>10</sub> водорастворимых фосфорсодержащих удобрений — суперфосфата или аммофоса. При интенсивной технологии под просо и гречиху применяют N<sub>40</sub> под предпосевную обработку в сочетании с P<sub>40</sub> и K<sub>40—60</sub> под основную обработку. При высокой технологии возделывания проса подобным образом применяют N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>. Органические удобрения под эти культуры нецелесообразны. Окупаемость 1 кг д. в. минеральных удобрений должна составлять 8 кг зерна проса и 10 кг зерна гречихи.

### 7.5.4. КУКУРУЗА

Кукурузу в нашей стране выращивают как кормовую и зерновую культуру. При возделывании на зерно без орошения в лесостепной и степной зонах кукуруза может давать 6—7, а при орошении 10 т/га и более. Вынос элементов питания на 1 т зерна у кукурузы близок к другим зерновым культурам (25—30 кг N, 8—12 — P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 22—27 кг K<sub>2</sub>O). Общие размеры потребления питательных веществ кукурузой могут быть даже выше, чем с хорошими урожаями корне- и клубнеплодов. Так, при урожае зерна 10 т/га в условиях орошения вынос составляет более 250 кг N, 100 — P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 360 кг K<sub>2</sub>O, а при урожае зеленой массы 50—60 т/га — 150—180 кг N, 50—60 — P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 150—200 кг K<sub>2</sub>O.

Кукуруза очень требовательна к почвенному плодородию. Она не переносит кислых почв, и без их известкования даже при внесении высоких доз органических и минеральных удобрений нельзя рассчитывать на хороший урожай этой культуры. Кукуруза потребляет питательные вещества в течение всего периода вегетации, вплоть до наступления восковой спелости зерна. Однако наиболее интенсивное их поглощение наблюдается в период быстрого роста за сравнительно короткий промежуток времени — от выметывания метелок до цветения (табл. 78).

**78. Накопление сухого вещества и потребление основных элементов питания кукурузой, % от максимального**

Фаза развития	Сухое вещество	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
4—5 листьев	0,1	0,3	0,2	0,2
9—10 листьев	1,2	4,2	2,5	4,4
Метелки	24	44	33	69
Цветение	35	61	61	79
Молочная спелость	80	89	88	95
Восковая спелость	100	100	94	100
Полная спелость	94	93	100	82

Для получения высокого урожая кукурузы решающее значение имеет применение органических и минеральных удобрений (см. табл. 58—60, 81, 82, 91), а в Нечерноземной зоне — предварительное известкование кислых почв.

Кукуруза очень отзывчива на внесение навоза и других органических удобрений. По многолетним опытным данным, применение навоза (40—60 т/га) повышает урожайность зерна кукурузы на дерново-подзолистых и серых лесных почвах лесостепной зоны на 0,8—1 т/га, на почвах Центрально-Черноземной зоны России — на 0,5—0,6 т/га, в степной зоне — на 0,3—0,5 т/га. С увеличением дозы навоза урожай кукурузы возрастает, особенно при выращивании на силос на менее плодородных почвах Нечерноземной зоны.

В этих условиях целесообразно возделывание кукурузы в прифермских севооборотах, а также на постоянных участках при систематическом внесении высоких доз навоза и минеральных удобрений в сочетании с известкованием. Совместное применение навоза и минеральных удобрений обеспечивает получение хороших урожаев кукурузы при меньших дозах органического удобрения. При выращивании кукурузы на плодородных почвах после хорошо унавоженных предшественников можно ограничиться внесением под нее только минеральных удобрений.

В составе полного минерального удобрения на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, выщелоченных черноземах наиболее эффективны азотные удобрения. На обыкновенных, типичных и карбонатных черноземах наибольшие прибавки зерна получают от внесения фосфорных удобрений (и сочетания фосфора и азота), калийные удобрения на этих почвах часто оказывают положи-

тельное действие. На орошаемых посевах кукурузы юга и юго-востока, особенно на каштановых почвах Поволжья, возрастает роль азота на фоне фосфора, а применение калия целесообразно на фоне высоких доз азотно-фосфорных удобрений.

Навоз, фосфорные и калийные удобрения следует вносить под зяблевую обработку почвы (или перепахку зяби в Нечерноземной зоне). Азотные удобрения лучше применять весной под предпосевную обработку почвы. Роль азота сильно возрастает при выращивании кукурузы как кормовой культуры, особенно когда при загущенном посеве предполагается раннее использование зеленой массы.

Кукуруза очень медленно растет в первый месяц после всходов и поглощает ограниченное количество элементов питания. Однако недостаток доступных питательных веществ в этот период, особенно фосфора, отрицательно сказывается на дальнейшем развитии растений, снижает использование питательных элементов из основного удобрения и почвы. Для обеспечения проростков кукурузы легкодоступными питательными веществами необходимы небольшие дозы удобрений при посеве. При этом особенно эффективно местное внесение в гнезда небольшой дозы фосфора (5—7 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на 1 га) в виде гранулированного суперфосфата или аммофоса. Удобрения следует вносить отдельно от семян — на 4—5 см в стороны и на 2—3 см ниже семян, чтобы избежать вредного действия высокой концентрации почвенного раствора на проростки кукурузы.

Для обеспечения кукурузы элементами питания в период наиболее интенсивного роста в условиях достаточного увлажнения и при орошении в дополнение к основному удобрению можно провести подкормки азотом. За вегетационный период проводят 1—2 подкормки по 20—30 кг д. в. на 1 га. В подкормку удобрения вносят культиваторами-растениепитателями с заделкой на глубину 8—10 см во влажный слой почвы. Необходимо помнить, что перенесение в подкормку фосфорных (и калийных за исключением легких почв) удобрений снижает их эффективность, особенно при недостатке влаги в почве. Роль основного удобрения возрастает в условиях возделывания кукурузы по технологии, исключающей послеуборочные обработки.

При возделывании кукурузы на зерно и зеленую массу по интенсивным технологиям дозы удобрений на планируемый урожай определяют по нормативам затрат удобрений на 1 т основной продукции (табл. 79).

**79. Нормативы затрат питательных веществ удобрений на 1 т продукции, кг д. в., и максимальные, экологически безопасные дозы азота (N<sub>max</sub>), кг/га д. в. (по данным ЦИНАО)**

Экономический район, зона	NPK	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N <sub>max</sub>
<i>Кукуруза на силос, зеленую массу</i>					
Северо-Западный	4,9	2,2	1,3	1,4	120
Центральный	5,5	2,3	1,2	2,0	120

Продолжение

Экономический район, зона	NPК	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N <sub>max</sub>
Волго-Вятский	6,5	2,7	1,9	1,9	120
Центрально-Черноземный	5,6	2,3	1,7	1,6	90
Поволжский:					
лесостепная	6,2	2,5	1,9	1,8	85
степная	5,3	2,2	1,7	1,4	80
Уральский, лесостепная	4,7	2,5	1,3	0,9	110
Западно-Сибирский:					
лесостепная	7,3	3,0	2,3	2,0	110
степная	5,0	2,1	1,5	1,4	75
Восточно-Сибирский	7,0	2,8	2,2	2,0	100
Дальневосточный	6,0	2,6	1,8	1,6	110

Кукуруза на зерно (без орошения)

Центрально-Черноземный:					
лесостепная	41	20	11	10	120
степная	37	15	12	10	90
Северо-Кавказский:					
лесостепная	32	13	9	10	100
степная	30	13	10	7	90

Кукуруза на зерно (при орошении)

Северо-Кавказский	37	17	10	10	150
Поволжский	29	17	7	5	160

### 7.5.5. ЗЕРНОВЫЕ БОБОВЫЕ КУЛЬТУРЫ

Зерновые бобовые культуры (горох, вика, соя, фасоль и др.) имеют огромное значение для производства растительного белка на пищевые и кормовые цели. Зерно и солома этих культур отличаются значительным содержанием белка. Благодаря способности в симбиозе с клубеньковыми бактериями усваивать молекулярный азот атмосферы зерновые бобовые не обедняют почву азотом, лучше усваивают фосфор из труднорастворимых фосфатов и служат хорошим предшественником для других культур севооборота.

В урожае зерновых бобовых культур значительно больше питательных веществ, чем в таком же урожае хлебных злаков (табл. 80).

**80. Вынос различными культурами азота, фосфора и калия, кг на 1 т зерна и соответствующее количество соломы**

Культура	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Овес, ячмень	31	12	25
Горох, вика	65	15	18
Люпин	68	19	47

Максимальное накопление азота и калия у гороха и вики наблюдается в конце цветения, фосфора — при созревании. У куль-

тур с большим периодом вегетации, например у кормовых бобов и люпина, наибольшее количество всех основных элементов питания содержится ко времени созревания бобов на главном стебле.

Удобрение зерновых бобовых должно создать наиболее благоприятные условия для симбиотической азотфиксации. Связывание атмосферного азота бобовыми происходит в нейтральных почвах при условии заражения корней активными расами клубеньковых бактерий, достаточном уровне фосфорно-калийного питания и обеспеченности доступным молибденом — микроэлементом, принимающим участие в азотфиксации. При кислой реакции среды и повышенном содержании в почве минерального азота образование клубеньков на корнях бобовых культур ограничивается и фиксация атмосферного азота снижается. В этом случае культуры формируют урожай в основном за счет азота почвы, количество остающегося в пожнивных и корневых остатках азота атмосферы не восполняет вынос этого элемента из почвенных запасов.

В благоприятных для азотфиксации условиях бобовые более полно (на 1/2—2/3) удовлетворяют свои потребности в азоте за счет усвоения его из воздуха и дают хороший урожай. С поживно-корневыми остатками зерновых бобовых в почву возвращается примерно столько же азота, сколько его используется этими культурами из почвы, т. е. складывается бездефицитный баланс азота. Оставшиеся в почве богатые азотом корневые и пожнивные остатки легко минерализуются, что и обеспечивает улучшение азотного питания следующих за ними культур севооборота.

Под зерновые бобовые культуры навоз обычно не применяют, однако соя, фасоль и вика хорошо отзываются на него. Урожай фасоли при внесении навоза повышается в среднем на 0,3 т/га и более, а сои — на 0,2—0,5 т/га. Горох лучше всего размещать в севообороте после удобрявшихся навозом озимых или пропашных культур. Зерновые бобовые (кроме люпина) чувствительны к повышенной кислотности почвы, поэтому кислые почвы следует известковать. Для получения высокого урожая зерновых бобовых культур необходимы обработки семян препаратами клубеньковых бактерий и внесение молибденовых удобрений на почвах с низким содержанием доступных форм этого микроэлемента — прежде всего на дерново-подзолистых, серых лесных и выщелоченных черноземах.

Фосфорные и калийные удобрения (45—60 кг д. в. на 1 га) следует вносить под зерновые бобовые с осени под зябь (калийные удобрения на легких почвах — под культивацию). Примерные дозы удобрений под эти культуры приведены в таблице 81. Из фосфорных удобрений наряду с суперфосфатом на дерново-подзолистых почвах и выщелоченных черноземах можно применять фосфоритную муку. Особенно эффективно внесение ее под люпин и горох, которые лучше усваивают фосфор из труднорастворимых фосфатов.

**81. Примерные дозы удобрений под сельскохозяйственные культуры на минеральных почвах среднего уровня плодородия**

Планируемая урожайность, т/га	Навоз, т/га*	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		кг/га		
Кукуруза (силос):				
30—35	30—40	50—70	45—60	50—70
40—45	40—50	70—100	60—80	70—90
50—55	50—60	90—120	80—100	90—110
Горох и вика (зерно):				
1,5—1,6	—	20—30	45—60	40—60
1,8—2,0	—	30—40	60—80	60—80
Однолетняя бобово-злаковая смесь (зеленая масса):				
15—20	—	20—30	60—80	40—60
25—30	—	30—60	80—100	60—90
Клевер с тимофеевкой 1-го года пользования с преобладанием клевера (сено):				
3,0—3,5	—	30	50—70	40—70
4,0—5,0	—	30—40	60—90	60—100
Лен (волокно) по клеверищу:				
0,5—0,6	—	20—35	50—70	70—90
0,8—1,0	—	35—60	70—90	90—120
Картофель:				
13—15	20—40	50—70	50—70	60—80
16—20	20—40	60—80	60—90	60—90
21—25	30—50	80—100	80—100	90—120
26—30	40—60	90—120	80—100	120—140

\* Или торфонавозный компост.

Внесение до посева небольшой дозы азотных удобрений (20—40 кг N на 1 га) благоприятно для азотного питания растений в первый период роста, когда клубеньки еще не образовались. Увеличение доз азотных удобрений может оказать положительное действие на урожай зерновых бобовых на малоплодородных дерново-подзолистых почвах. Однако при высоких дозах минерального азота (свыше 1/3 общего выноса этого элемента урожаем) относительные размеры азотфиксации могут снижаться, хотя абсолютное количество усвоенного растениями азота из атмосферы при этом остается на прежнем уровне или даже несколько возрастает. Повышенное снабжение минеральным азотом может также привести к сильному развитию у большинства зерновых бобовых вегетативной массы и затягиванию созревания, что способствует усиленному развитию сорняков, угнетающих посевы.

Базовые технологии производства зерна гороха и вики для южно-таежной зоны кроме внесения фосфорно-калийных удобрений предусматривают применение при традиционной технологии N<sub>30</sub>, а при интенсивной технологии N<sub>45</sub>. Применение минеральных азотных удобрений под зерновые бобовые культуры целесо-

образно только после исчерпания всех возможностей повышения симбиотической азотфиксации путем создания наиболее благоприятных условий для этого процесса и планирования получения высоких урожаев (не менее 2—2,5 т/га зерна гороха и вики).

Внесение небольшой дозы гранулированного суперфосфата (10—15 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на 1 га) в рядки при посеве обеспечивает питание растений фосфором в начальный период роста.

## 7.5.6. МНОГОЛЕТНИЕ ТРАВЫ

В полевых и прифермских (кормовых) севооборотах Нечерноземной зоны, а также в увлажненных районах Черноземной зоны распространены посевы клевера лугового и совместные посевы его с тимофеевкой. Это позволяет получать высокопитательный белковый корм для животных и способствует повышению плодородия почвы в результате накопления азота в пожнивных и корневых остатках клевера. Многолетние травы — хороший предшественник для озимых хлебов, льна и других культур.

На кислых почвах при выращивании клевера и клевера с тимофеевкой необходимо известкование. При внесении извести повышается урожай трав и возрастает доля клевера в травостое. На кислых почвах клевер угнетается и выпадает, в травостое начинают преобладать тимофеевка и разнотравье, при этом урожай и качество кормов снижаются, уменьшается накопление азота за счет азотфиксации.

В севообороте с многолетними травами сначала удобряют покровную культуру. Внесение навоза под покровную озимую культуру на дерново-подзолистых почвах и черноземах увеличивает продуктивность всего звена севооборота — повышается урожай зерна, трав и возделываемой по пласту культуры. Под покровные культуры предусматривается внесение до посева повышенных доз фосфорно-калийных удобрений (табл. 81—82). Заделанные под вспашку фосфорно-калийные удобрения служат хорошим источником элементов питания для клевера после уборки покровной культуры и в последующий период. Если под покровную культуру не применяли удобрения, то их можно вносить в подкормку после уборки покровной культуры или рано весной по травам первого года пользования. Эффективность фосфора и калия при поверхностном внесении в подкормку ниже, чем при глубокой заделке в почву перед посевом покровной культуры, особенно в условиях недостаточной влагообеспеченности.

Урожай сена и семян клевера можно значительно повысить внесением борных и молибденовых удобрений. На малоплодородных дерново-подзолистых почвах целесообразна подкормка травостоя с преобладанием тимофеевки небольшими дозами азотных удобрений в период быстрого отрастания трав. Внесение азотных

## 82. Система удобрения в полевых севооборотах на дерново-подзолистой почве и черноземах

Культура	До посева				При посеве		После посева
	навоз	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	N
<i>Дерново-подзолистая среднесуглинистая почва</i>							
Вика с овсом	20—30	0—30	30—40	30—40	10	—	—
Озимая рожь	—	20—30	40—60	40—60	—	—	40—60
Ячмень с подсевом клевера	—	40—60	80—100	100—120	10	—	—
Клевер	—	—	—	—	—	—	—
Озимая пшеница	—	0—30	40—60	40—60	10	—	40—60
Картофель	30—40	60—80	60—80	90—120	20	20	—
Вика с овсом	—	—	30—40	40—50	10	—	—
Озимая пшеница	—	0—30	40—60	40—60	10	—	40—60
Овес	—	—	0—30	0—30	10	—	—
<i>Черноземы лесостепной зоны</i>							
Горох	—	—	30—40	30—40	10	—	—
Озимая пшеница	—	20—30	40—60	30—50	10	—	40—60
Кукуруза	20—30	60—80	60—80	80—100	5	2	—
Ячмень с подсевом клевера	—	40—60	80—100	80—120	10	—	—
Клевер	—	—	—	—	—	—	—
Озимая пшеница	—	—	50—70	40—60	10	—	40—60
Картофель	30—40	60—80	60—80	100—120	20	20	—
Подсолнечник	—	60—80	60—90	100—120	10	—	—
Вика с овсом	—	—	30—50	40—80	10	—	—
Озимая пшеница	—	30—40	40—60	30—50	10	—	40—60
Овес	—	—	20—40	20—40	10	—	—

Примечание. Дозы навоза даны в т/га, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O — в кг д. в. на 1 га. Указанное количество удобрений может обеспечить урожайность зерновых 2,5—3,5 т/га, кукурузы — 5—7, картофеля — 20—25 и подсолнечника 2—2,5 т/га.

## 83. Прибавка урожая клеверного сена (т/га) в зависимости от способов применения фосфорно-калийных удобрений

Почва	Под покровную культуру	Поверхностно весной
Подзолистая супесчаная	1,82	0,89
Подзолистая суглинистая	0,68	0,34
Серая лесная	1,16	0,64
Выщелоченный чернозем	0,58	0,34

удобрений в повышенных количествах благоприятно сказывается на росте и развитии тимopheевки и разнотравья. Однако при этом в составе травостоя уменьшается доля клевера, снижается накопление им азота из атмосферы.

## 7.5.7. ЛЕН-ДОЛГУНЕЦ

Основные площади возделывания льна-долгунца сосредоточены в зоне дерново-подзолистых почв. Лен не переносит повышенной кислотности, оптимальная реакция для него pH 5,5—6,5. Лен хорошо отзывается на умеренное известкование почв с повышенной кислотностью, однако при внесении высоких доз извести он страдает от недостатка бора (поражается бактериозом), в результате чего снижается урожай и ухудшается качество волокна. На таких почвах эффективно внесение борсодержащих удобрений.

Известкование в севооборотах со льном рекомендуют проводить пониженными дозами — не выше 2/3—3/4 полной дозы, устанавливаемой по гидролитической кислотности. Дозу извести определяют с учетом других возделываемых в севообороте культур, а также с учетом гранулометрического состава почвы.

Лен имеет слабо развитую корневую систему и не может усваивать из почвы труднорастворимые формы питательных веществ, поэтому весьма требователен к наличию в почве доступных форм питательных веществ и отзывчив на внесение минеральных удобрений.

При урожайности волокна 1 т/га лен потребляет около 80 кг N, 40 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 70 кг K<sub>2</sub>O.

У льна в течение вегетации четко выражены максимумы потребления питательных веществ, а также критические периоды потребности в отдельных элементах минерального питания.

От всходов до бутонизации лен растет медленно и поглощает относительно небольшую долю необходимого количества питательных веществ (около 30 % азота и калия, до 20 % фосфора от максимального их содержания в урожае). Критический период потребления фосфора у льна — от всходов до образования 5—6 пар листочков. Дефицит фосфора в это время отрицательно влияет на развитие льна и снижает урожай соломы и семян. В первый период вегетации лен чувствителен также к недостатку азота и калия.

Критический период в азотном питании льна — от фазы елочки до бутонизации. Однако избыток азота в первую половину вегетации отрицательно влияет на качество волокна и увеличивает склонность льна к полеганию.

Максимальное количество азота, фосфора и калия (60—65 %) лен поглощает за короткий промежуток времени — примерно за 2 нед — в период бутонизации и цветения (рис. 19, 20).

В севооборотах лен чаще всего размещают по пласту многолетних трав, а также по другим предшественникам — после удобренных озимых культур, картофеля, яровой пшеницы и викоовсяной смеси. Поэтому применение удобрений под лен в значительной степени зависит от урожая трав и состава травостоя, удобрения предшественника. При выращивании льна после клевера или дру-

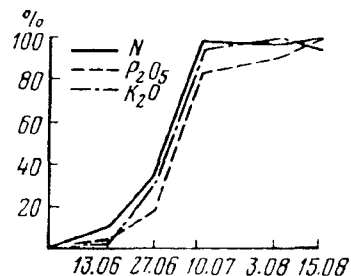


Рис. 19. Динамика поглощения питательных элементов льном (по А. А. Брагину): 13.06 — фаза елочки; 27.06 — начало бутонизации; 10.07 — цветение; 03.08 — молочная спелость; 15.08 — молочно-восковая спелость семян

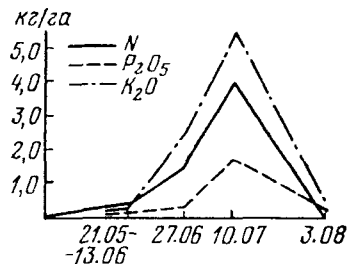


Рис. 20. Среднесуточное поглощение питательных элементов льном (по А. М. Брагину), фазы те же, что на рис. 19

гих многолетних трав с высокой долей бобовых в травостое дозы азотных удобрений уменьшают (табл. 84). В то же время возрастает потребность в повышенных дозах фосфорных и калийных удобрений, особенно если их вносили в ограниченных количествах под покровную культуру или в подкормки трав. Лен, идущий по другим предшественникам, удобряют большей дозой азота.

#### 84. Система удобрения в льняном севообороте

Культура	До посева				При посеве		После посева
	навоз	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N
Вика с овсом	20—30	30—40	30—40	0—40	—	10	—
Озимые с подсевом трав	—	—	60—90	100—120	—	10	30—40
Травы 1-го года пользования	—	—	—	—	—	—	—
Травы 2-го года пользования	—	—	—	—	—	—	—
Лен	—	30—40	70—90	90—120	—	10	—
Картофель	30—40	60—80	60—80	80—120	20	20	—
Яровые колосовые	—	0—30	20—30	30—40	—	10	—

Примечание. Дозы навоза указаны в т/га; N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O — в кг/га.

Вносить органические удобрения непосредственно под лен не рекомендуют, так как они увеличивают засоренность, вызывают пестроту стеблестоя, что приводит к снижению качества волокна.

Важное значение в севооборотах со льном имеет правильное распределение органических и минеральных удобрений.

Фосфорные и калийные удобрения под лен вносят с осени под глубокую вспашку. Высокий эффект дает внесение небольшой дозы гранулированного суперфосфата (10 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на 1 га) в рядки при посеве.

Поглощение питательных элементов картофелем происходит в течение всего вегетационного периода, причем более быстрыми темпами их потребляют ранние сорта (табл. 86).

86. Потребление питательных элементов разными сортами картофеля (по Т. Н. Кулаковской)

Сорт, урожайность	Период	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
		кг/га	%	кг/га	%	кг/га	%
Раннеспелый, 30 т/га	Всходы	4,6	4,5	1,2	3,3	8,3	4,6
	Начало бутонизации	30	29	6,7	19	53	29
	Цветение	60	59	13	37	83	46
	Уборка	101	100	36	100	181	100
Позднеспелый, 30 т/га	Всходы	3,7	3,9	0,9	3,1	6,9	3,9
	Начало бутонизации	28	30	5,9	21	48	27
	Цветение	84	88	19	66	149	84
	Уборка	96	100	29	100	177	100

Наибольшее количество питательных веществ поглощается скороспелыми сортами картофеля во время бутонизации и цветения, а средне- и позднеспелыми — в период интенсивного роста ботвы и начала клубнеобразования. Достаточное снабжение растений всеми основными элементами питания в этот период имеет исключительное значение для формирования урожая. Избыточное, особенно одностороннее, питание азотом вызывает израстание в ботву и задерживает клубнеобразование. На образование клубней используются питательные вещества, как поступающие в этот период из почвы и удобрения, так и ранее накопленные в ботве. Вследствие реутилизации питательных веществ к моменту уборки картофеля в клубнях содержится около 80 % азота, 90 % фосфора и практически весь калий.

Эффективность удобрений зависит от почвенно-климатических условий, уровня агротехники и сорта картофеля.

Наибольшие прибавки урожая картофеля от удобрений получают на дерново-подзолистых почвах западных, северо-западных и центральных районов Российской Федерации. Первое место по эффективности на дерново-подзолистых почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах занимают азотные удобрения. Фосфор на этих почвах нередко действует сильнее, чем калий (табл. 87).

87. Действие минеральных удобрений на урожай картофеля, т/га

Почва	Урожай без удобрений	Прибавка урожая от			
		N	P	K	NPK
Дерново-подзолистая:					
песчаная и супесчаная	9,8	26	12	17	50
суглинистая	10,2	18	16	17	44
Серая лесная	15,9	48	10	9	73
Выщелоченный чернозем	8,6	20	18	5	44



На обыкновенных и типичных черноземах по эффективности часто на первом месте стоит фосфор, на втором — азот. Несмотря на большое потребление картофелем калия, эффективность калийных удобрений на большинстве почв ниже, чем азотных, а часто и фосфорных. Потребность в калии при внесении высоких доз азота и фосфора увеличивается. В то же время на пойменных и торфяных почвах калийные удобрения по эффективности занимают первое место после азотных, на песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почвах — второе. На этих почвах необходимо вносить более высокие дозы калийных удобрений даже при использовании навоза.

Картофель хорошо отзывается на внесение навоза на всех типах почв, но наиболее высокие прибавки урожая от навоза получают на дерново-подзолистых, особенно песчаных и супесчаных, почвах. На типичных черноземах южных и юго-восточных районов страны эффективность навоза значительно ниже.

На дерново-подзолистых почвах под картофель вносят, как правило, 30—40 т навоза на 1 га, на черноземах — 15—20 т. Наряду с навозом под картофель можно применять торфонавозные, торфожиловые, торфофекальные и другие компосты.

Наиболее высокие прибавки урожая картофеля получают при совместном внесении навоза или компостов с минеральными, прежде всего азотными и азотно-фосфорными удобрениями.

На фоне высоких доз навоза (40—60 т/га и более) на хорошо окультуренных почвах можно ограничиться внесением только азотных или азотно-фосфорных удобрений. Если навоз под картофель не применяют, то необходимо давать полное минеральное удобрение в повышенных количествах. Ранние сорта картофеля характеризуются более интенсивным потреблением питательных веществ и сильнее реагируют на удобрение. Поэтому дозы минеральных удобрений на фоне навоза должны быть выше под ранние сорта картофеля. При этом особенно важно выбрать правильное соотношение между отдельными видами удобрений. Для получения ранней товарной продукции необходим более высокий уровень фосфорного питания растений.

Дозы минеральных удобрений на фоне органических под картофель в севооборотах на дерново-подзолистых почвах приведены в таблицах 63, 81, 82, а на черноземах — в таблице 82.

Нормативы затрат питательных веществ удобрений на 1 т клубней картофеля показаны в таблице 88.

Навоз и другие органические удобрения, а также фосфорные и калийные минеральные удобрения лучше всего вносить с осени под вспашку. Только на легких почвах в районах достаточного увлажнения весеннее внесение удобрений дает лучшие результаты, чем осеннее. Это объясняется вымыванием калия из почвы.

Азотные удобрения целесообразно применять весной под перепахку зяби или предпосевную культивацию. Аммонийные и аммиачные формы удобрений можно также давать с осени.

**88. Нормативы затрат питательных веществ удобрений на 1 т клубней картофеля и максимальные, экологически безопасные дозы азота ( $N_{\max}$ ), кг/га д. в. (по данным ЦИНАО)**

Экономический район, зона	НРК	N	$P_2O_5$	$K_2O$	$N_{\max}$
Северо-Западный	11,6	3,6	3,6	4,4	100
Центральный:					
лесолуговая	11,6	3,6	3,6	4,4	90
лесостепная	10,6	3,6	3,2	3,6	90
Волго-Вятский:					
лесолуговая	12,0	4,0	4,0	4,0	90
лесостепная	11,2	3,6	3,8	3,8	70
Центрально-Черноземный	10,8	3,7	3,7	3,4	80
Поволжский:					
лесостепная	10,6	3,4	3,4	3,6	75
степная	10,5	3,5	3,5	3,5	60
Северо-Кавказский	9,3	3,2	2,9	3,2	90
Уральский:					
лесолуговая	12,1	4,0	3,6	4,5	80
лесостепная	11,0	3,6	3,6	3,8	85
Западно-Сибирский:					
лесолуговая	10,8	3,6	3,6	3,6	80
лесостепная	10,5	3,5	3,5	3,5	70
степная	9,7	3,0	3,2	3,5	60
Восточно-Сибирский:					
лесостепная и подтайга	10,8	3,6	3,6	3,6	85
степная	11,2	4,0	3,8	3,4	70
Дальневосточный	11,6	3,8	3,8	4,0	110

Большое значение для обеспечения более благоприятных условий питания в начальный период роста имеет локальное внесение удобрений при посадке картофеля или нарезке гребней. При посадке вносят гранулированный суперфосфат и аммиачную селитру, а также сложные и комплексные удобрения из расчета 20—30 кг НРК на 1 га. При формировании гряд можно вносить большее количество удобрений, максимальная доза для такого локального размещения удобрений — до 90 кг НРК.

На песчаных и супесчаных почвах часть азота и калия (1/4—1/3 общей дозы) целесообразно перенести в подкормку. На других почвах перенесение части удобрений из основного в подкормку снижает их эффективность. Поэтому вносить удобрения в подкормку картофеля следует только, если их не применяли в достаточном количестве до посева. Для подкормки картофеля можно использовать местные удобрения — навозную жижу (5—10 т/га), птичий помет (0,5—0,8 т/га), которые вносят с немедленной заделкой в почву при рыхлении междурядий.

Под картофель применяют все формы азотных удобрений. На кислых почвах наряду с суперфосфатом в основное удобрение можно вносить фосфоритную муку (в полупереносимых или труднопереносимых дозах по сравнению с суперфосфатом), а также другие фосфорные удобрения. По своему действию на урожай карто-

феля сульфатные и хлористые формы калийных удобрений как при разовом, так и при длительном применении в севообороте практически равноценны. Однако хлористые формы калийных удобрений могут снижать относительное содержание крахмала в клубнях картофеля. Внесение хлорсодержащих калийных удобрений с осени в значительной мере устраняет вредное действие хлора на картофель (в результате вымывания хлора из почвы с осадками).

Под влиянием фосфорных удобрений относительное содержание крахмала в клубнях может повышаться, а под влиянием азотных — несколько снижаться. Однако вследствие увеличения урожая картофеля при удобрении валовой сбор крахмала с единицы площади всегда возрастает.

Базовые технологии производства картофеля для почв различного гранулометрического состава применительно к Нечерноземной зоне (привязку этих технологий к конкретным природно-сельскохозяйственным зонам и провинциям, категориям агроландшафтов осуществляют с помощью технологических адаптеров) предусматривают: при нормальных технологиях получение урожайности клубней 10—12 т/га — более 40 % реализации потенциала сорта обеспечивается за счет использования биологических ресурсов агроландшафта и потенциала растений со следующим блоком удобрений: при недостатке органических удобрений пожнивный посев сидератов перед картофелем и внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{60}P_{60}K_{60}$  (в том числе  $N_{30}P_{30}K_{30}$  при посадке или всей дозы при нарезке гребней).

Интенсивные технологии, рассчитанные на урожайность качественных клубней 15—20 т/га (реализация потенциала сорта выше 60 %), предусматривают мероприятия по защите растений от наиболее опасных болезней (фитофтороз), вредителей (колорадский жук), сорняков и компенсацию выноса питательных веществ урожаем за счет применения 40 т/га органических удобрений и  $N_{90}P_{90}K_{120}$  в составе минеральных удобрений.

При высоких технологиях, обеспечивающих реализацию потенциала сорта более 80 % (гарантированный урожай в условиях Нечерноземья 25—30 т/га качественного картофеля), предусматривается использование новейших приемов возделывания высокоинтенсивных сортов с комплексной защитой растений, мелиоративных мероприятий и применение органических (60 т/га) и минеральных макро- ( $N_{60-120}P_{120-150}K_{125-180}$ ) и микроудобрений. Для соблюдения эколого-гигиенических требований к пищевому картофелю по содержанию нитратов максимальные дозы азота на богаре составляют 60—110 кг/га, при орошении — 90—120 кг/га.

Окупаемость 1 кг д. в. минеральных удобрений прибавкой урожая должна составлять не менее 27 кг клубней картофеля.

## 7.5.9. САХАРНАЯ СВЕКЛА

Сахарную свеклу выращивают в различных почвенно-климатических зонах страны, но основные площади посевов фабричной сахарной свеклы сосредоточены в Центрально-Черноземном регионе России.

Для сахарной свеклы оптимальная реакция почвы близка к нейтральной или слабощелочной (рН 6,5—7,5). Поэтому даже слабокислые серые лесные и дерново-подзолистые почвы необходимо известковать. Так как при известковании снижаются подвижность и доступность растениям бора почвы, целесообразно применение под сахарную свеклу борсодержащих удобрений. Недостаток бора вызывает у сахарной свеклы, как и у других корнеплодов, гниль сердечка — заболевание, полностью устраняемое внесением бора.

По выносу питательных веществ сахарная свекла среди полевых культур занимает одно из первых мест. При урожайности 40 т/га свекла потребляет 180 кг N, 55  $P_2O_5$  и 250 кг  $K_2O$ . Вынос элементов питания сахарной свеклой на 10 т корнеплодов и соответствующее количество ботвы может изменяться в широких пределах в зависимости от почвенно-климатических условий, уровня и структуры урожая. Большее потребление питательных веществ на образование равного урожая сахарной свеклой в Нечерноземной зоне, чем в районах распространения черноземных почв, объясняется прежде всего различиями в структуре урожая. На черноземах формируется меньше ботвы на каждые 10 т корнеплодов.

Потребление питательных элементов сахарной свеклой происходит на протяжении всего периода вегетации, почти до уборки. В начальный период роста она поглощает относительно небольшое количество азота, фосфора и калия. Корневая система в это время еще слабо развита, однако молодые растения очень чувствительны к недостатку доступных питательных веществ в почве, особенно фосфора. В дальнейшем потребление питательных веществ резко усиливается и достигает максимума в основной зоне свекловодства в июле — августе (табл. 89).

89. Потребление питательных элементов сахарной свеклой при урожае 30 т/га, % максимального содержания (по данным Рамонской опытной станции)

Элемент	10.06	01.07	23.07	15.08	01.09	20.09	05.10
Азот	20	54	72	91	98	100	91
Фосфор	13	35	50	66	74	98	100
Калий	16	46	53	72	73	93	100

В период интенсивного роста листьев сахарная свекла потребляет особенно много азота. Для формирования корнеплода и сахаронакопления требуется умеренное азотное, но повышенное фосфатное и особенно калийное питание растений.

В Нечерноземной зоне при более коротком вегетационном периоде потребление элементов питания сахарной свеклой происходит в более сжатые сроки, а основное количество питательных веществ используется в августе—сентябре.

Лучшие условия питания сахарной свеклы в течение всего периода вегетации обеспечивает применение органических и минеральных удобрений. Сахарная свекла — одна из наиболее отзывчивых культур на совместное внесение навоза и минеральных удобрений.

Особенно велико значение навоза и минеральных удобрений для получения высокого урожая сахарной свеклы в Нечерноземной зоне на бедных дерново-подзолистых почвах. Непосредственное внесение навоза под свеклу вместе с минеральными удобрениями дает более высокие прибавки урожая, особенно на легких супесчаных, а также на тяжелых почвах, склонных к заплыванию. При внесении навоза действие азотных удобрений обычно возрастает, а эффективность фосфорных и калийных удобрений уменьшается.

При выращивании свеклы на достаточно окультуренных почвах после хорошо удобренных навозом предшественников (кукуруза, картофель, озимая пшеница и др.) под нее можно вносить только минеральные удобрения. Дозы и эффективность отдельных видов удобрений зависят от почвенно-климатических условий и предшественника. Их можно определить также по нормативам (табл. 90).

**90. Нормативы затрат питательных веществ удобрений на 1 т продукции при производстве сахарной свеклы без орошения (кг д. в.) и максимальные, экологически безопасные дозы азота ( $N_{\max}$ , кг/га д. в.) (по данным ЦИНАО)**

Экономический район	NPK	N	$P_2O_5$	$K_2O$	$N_{\max}$
Центральный	12,3	4,3	4,0	4,0	130
Центрально-Черноземный	9,3	3,3	3,1	2,9	130
Поволжский	8,8	3,2	2,9	2,7	130
Северо-Кавказский	6,5	2,6	2,4	1,5	120
Западно-Сибирский	8,9	2,5	3,7	2,7	75

Навоз и фосфорно-калийные удобрения (за исключением небольших доз в рядки при посеве) вносят под сахарную свеклу в виде основного удобрения с осени под глубокую вспашку плугом с предплужником. При мелкой заделке минеральных удобрений весной под культиватор или борону эффективность их резко снижается, особенно в засушливые годы. Только на легких почвах в более увлажненных районах Нечерноземной зоны калийные удобрения лучше вносить вместе с азотными весной под предпосевную обработку.

В рядки при посеве на всех почвах рекомендуют полное минеральное удобрение: 10—15 кг/га N, 15—20 —  $P_2O_5$  и 10—15 кг/га

$K_2O$ . Рядковое удобрение, улучшая условия питания и рост растений в начальный период, обеспечивает значительное повышение урожая сахарной свеклы. В рядки не следует вносить аммонийные формы азотных удобрений, поскольку в семенах свеклы имеется малый запас углеводов и проростки могут страдать от аммиачного отравления.

Перенесение части удобрений из основного в подкормку при обычных дозах снижает урожайность. Подкормку следует применять только в дополнение к основному удобрению при орошении и в условиях достаточного увлажнения.

В основное удобрение под сахарную свеклу на почвах, насыщенных основаниями, можно применять все формы азотных удобрений. Для внесения в рядки на всех, кроме солонцеватых, почвах лучшие результаты дает натриевая селитра.

На дерново-подзолистых почвах и выщелоченных черноземах эффективно применение фосфоритной муки, особенно в составе компостов с органическими удобрениями.

Лучшая форма калийных удобрений для сахарной свеклы — калийная соль, которая содержит натрий, положительно влияющий на урожай корнеплодов и содержание в них сахара. Применение на черноземах марганцевых удобрений повышает урожай и сахаристость свеклы.

Зона возделывания фабричной сахарной свеклы включает и основные районы выращивания озимой пшеницы, кукурузы на зерно и подсолнечника. В зерносвекловичных севооборотах минеральными удобрениями обеспечивают в первую очередь сахарную свеклу, но при этом решается одновременно и задача повышения урожая озимой пшеницы и кукурузы (табл. 91).

**91. Система удобрения в зерносвекловичном севообороте**

Культура	До посева				При посеве	После посева
	навоз	N	$P_2O_5$	$K_2O$	$P_2O_5$	N
Вика или горох с овсом на сено	—	0—30	20—30	30—40	10	—
Озимые зерновые	20—30	—	40—60	40—60	10	40—60
Свекла	—	120—160	90—130	90—150	15 NPK	—
Яровые зерновые	—	30—40	60—80	60—90	10	—
с подсевом клевера	—	—	—	—	—	—
Клевер	—	—	—	—	—	—
Озимые зерновые	—	—	40—60	40—60	10	40—60
Свекла	15—25	100—160	90—130	90—120	15 NPK	—
Кукуруза (на зерно)	—	80—100	80—100	80—100	5	—
Яровые зерновые	—	30—50	40—60	30—50	10	—

**Примечание.** Дозы навоза указаны в т/га; N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  — в кг/га. При высоком уровне агротехники и обеспеченности удобрениями на черноземах можно получить урожайность зерновых 2,5—3 т/га и сахарной свеклы 30—35 т/га. При меньшей обеспеченности минеральными удобрениями до посева их вносят в меньших дозах или под отдельные зерновые яровые культуры дают только в рядки.

Вошедшая в Федеральный регистр технологий производства продукции растениеводства (2000 г.) базовая технология производства фабричной сахарной свеклы интенсивного типа рассчитана на высокие показатели выхода сахара с 1 га (не менее 4,2 т/га сахара, т. е. урожайности корней не менее 30 т/га при перспективном после модернизации заводов выходе сахара 14 % или 40 т/га корней при фактическом выходе сахара 10–11 %) за счет комплекса биологически и агротехнически обоснованных технологических приемов и организационно-экономических мероприятий. Важнейшим фактором интенсификации производства сахарной свеклы, обеспечивающим до половины роста ее урожайности, является система защиты растений и применения удобрений. В основной зоне свеклосеяния России — Центрально-Черноземной и прилегающих к ней регионах — предусматривают внесение под предшествующую культуру севооборота не менее 40 т/га органических удобрений, а под основную обработку почвы под сахарную свеклу — не менее 80 % общей дозы минеральных удобрений, составляющей до 450 кг д. в., в том числе  $N_{165}P_{130}K_{155}$ . Окупаемость 1 кг д. в. удобрений по этой технологии, апробированной на площади посевов сахарной свеклы более 300 тыс. га, составила 67–89 кг товарной продукции, а производительность труда 2,25–2,33 чел.-ч/т.

#### 7.5.10. ПОДСОЛНЕЧНИК

Подсолнечник — основная масличная культура в нашей стране. Его посевы в последние годы значительно расширены в основных зонах возделывания — на Северном Кавказе, в Поволжье и в Центрально-Черноземной зоне. В Нечерноземной зоне подсолнечник выращивают преимущественно на силос. При возделывании на семена вынос питательных веществ на 1 т основной продукции составляет: 40–45 кг азота, 17–20 — фосфора ( $P_2O_5$ ) и около 100 кг калия ( $K_2O$ ). Отношение побочной продукции к основной равно 2,3–2,9. На каждые 100 ц зеленой массы подсолнечник потребляет около 30 кг азота, 10 — фосфора и 60 кг калия. Сорта с большой вегетативной массой дают урожайность 30–40 т/га, а при высокой агротехнике с применением удобрений — до 50 т/га. На кормовые цели подсолнечник выращивают как в чистом виде, так и в смеси с бобовыми культурами — горохом, викой, кормовыми бобами, люпином.

Подсолнечник — достаточно пластичная к условиям выращивания культура; он развивает мощную, глубоко проникающую в почву корневую систему и отличается повышенной способностью усваивать из труднорастворимых соединений питательные зольные элементы, в том числе калий. С начала вегетации до образования 5–6 пар листьев подсолнечник потребляет небольшое коли-

чество питательных веществ, но уже к началу цветения в растениях находится около половины азота, калия и треть фосфора от максимального их накопления при пожелтении корзинок. Потребление азота подсолнечником к наливу семян практически заканчивается, а калия составляет 80 % от максимального количества; в это время растения содержат только до 1/3 максимального содержания фосфора и продолжают его поглощать вплоть до полного созревания.

Подсолнечник на семена при размещении после озимых и яровых колосовых, кукурузы и картофеля обычно использует только последствие навоза, а при выращивании на силос хорошо отзывается на непосредственное внесение навоза и других органических удобрений. На южных карбонатных, типичных и выщелоченных черноземах, каштановых почвах ведущую роль при выращивании подсолнечника играет фосфор и его комбинация с азотом. На почвах Нечерноземья значение азотных удобрений возрастает, кислые почвы необходимо известковать. На песчаных и супесчаных почвах целесообразно применение калийных удобрений.

Органические и фосфорно-калийные удобрения на связных почвах вносят под основную обработку почвы, азотные в зависимости от формы удобрения — осенью или перед посевом. На орошаемых землях в дополнение к основному удобрению проводят подкормки в фазе 6–8 листьев с заделкой в почву междурядий. Подсолнечник хорошо отзывается на рядковое внесение водорастворимых форм фосфорсодержащих удобрений. При дефиците удобрений в рядки при посеве предпочтительнее вносить  $N_{20}P_{20}$  в виде соответствующих двухкомпонентных комплексных удобрений.

Агрохимической службой на основании результатов полевых опытов установлены нормативы расхода удобрений на единицу основной продукции, которые можно использовать для определения потребности в удобрениях на планируемый уровень урожайности (табл. 92).

92. Нормативы затрат питательных веществ удобрений на получение 1 т семян подсолнечника, кг д. в. (по данным ЦИНАО)

Экономический район	NPK	N	$P_2O_5$	$K_2O$
Центрально-Черноземный	60	18	24	18
Поволжский	65	20	30	15
Северо-Кавказский	43	20	20	3
Западно-Сибирский	58	33	27	8

Сельскохозяйственные производители, имеющие различный уровень материально-технического обеспечения, могут использовать технологии производства семян подсолнечника различной интенсивности, разработанные различными научными учреждениями страны (ВНИИ масличных культур им. В. С. Пустовойта,

НИИ сельского хозяйства Централных районов Нечерноземной зоны и др.) Традиционная технология представляет собой систему получения семян подсолнечника с использованием плодородия почвы и ресурсов агроландшафта, биологического потенциала растений, обеспечивающую реализацию генетического потенциала сортов и гибридов более чем на 45 % (при урожайности 1,2 т/га семян).

Интенсивная технология — система получения 2—2,5 т/га качественных семян подсолнечника, включающая комбинирование технологических процессов, защиту растений от наиболее опасных болезней, вредителей и сорняков, компенсацию выноса питательных веществ с урожаем за счет применения минеральных удобрений (органические удобрения нецелесообразны). При этом реализация генетического потенциала сорта составляет более 65 % при высокой производительности труда. Дозы удобрений при традиционной и интенсивной технологиях составляют соответственно  $N_{30}P_{40}$  и  $N_{60}P_{90}$ . При разработке технологий с учетом конкретных почвенных условий решают вопрос о целесообразности использования под подсолнечник калийных удобрений. Азотные удобрения вносят под предпосевную обработку, а фосфорно-калийные — под вспашку. Окупаемость 1 кг д. в. удобрений семенами подсолнечника составляет 7—8 кг.

#### 7.5.11. ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В ОВОЩНЫХ СЕВООБОРОТАХ

Овощеводство отличается от других отраслей растениеводства обширным видовым и сортовым составом растений, резко различающихся по длине вегетационного периода, строению и мощности корневой системы, темпам формирования используемых в качестве товарной продукции органов запаса и, следовательно, размерами и динамикой потребления питательных веществ при формировании урожая. Овощные культуры, как правило, высокотребовательны к плодородию почв, водному и питательному режимам либо вследствие интенсивного накопления сухого вещества за короткий период зелеными и скороспелыми овощами, либо вследствие образования большой растительной массы в товарной (20—50 т/га) и побочной продукции. Потребность в необходимых питательных веществах для средних и высоких уровней урожайности основных овощных культур, возделываемых в полевых условиях, легко представить, исходя из средних величин выноса важнейших элементов питания на 10 т основной продукции, приведенных в таблице 93.

Овощные севообороты размещают в хозяйствах на наиболее плодородных почвах (пойменных, торфянистых, хорошо окультуренных минеральных) с повышенным и высоким содержанием

93. Вынос питательных веществ на 10 т основной (с учетом побочной) продукции овощных культур, кг (средние данные по опытам агрохимической службы)

Культура	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Капуста белокочанная	30—40	10—13	35—50
Морковь столовая	25—35	10—15	40—55
Свекла столовая	40—50	10—20	60—80
Огурец (при орошении)	30—35	12—18	40—60
Томат (при орошении)	20—30	8—12	35—45
Лук репчатый	15—25	10—12	25—35

подвижных форм питательных веществ. Их располагают вблизи животноводческих ферм для снижения затрат на применение традиционно высоких доз навоза и органических удобрений при выращивании овощей и вблизи водосточников для проведения полива и орошения. Обязательным условием при возделывании овощных культур являются тщательная планировка поверхности полей, качественная, особенно финишная, подготовка почвы. Большинство овощных культур предпочитает близкую к нейтральной реакцию почвенной среды, поэтому первоочередным агрохимическим мероприятием является известкование кислых почв.

Для овощеводства характерна высокая степень интенсификации производства за счет применения минеральных макро- и микроудобрений и мер защиты растений от болезней, вредителей и сорной растительности. В 1990 г. средний уровень применения минеральных удобрений под овощные культуры в нашей стране составлял свыше 300 кг д. в. ( $N_{115}P_{97}K_{110}$ ). В последние годы произошли значительное сокращение площадей, уменьшение производства и заготовок овощей вследствие как сложной экономической ситуации, так и снижения уровня технологии производства, в том числе применения органических и минеральных удобрений.

По мере стабилизации социально-экономической ситуации и развития рыночных отношений состояние отрасли постепенно улучшается и при достаточном материально-техническом оснащении и освоении современных научно обоснованных технологий возможны рост площадей и урожайности овощных культур, насыщение внутреннего рынка и повышение возделывания конкурентоспособности отечественной продукции. Особое значение приобретают технологии производства овощной продукции, обеспечивающие максимальную реализацию биологического потенциала сортов за счет природных ресурсов, рационального использования почвенного плодородия и эффективного, ресурсосберегающего, экономически выгодного и экологически безопасного применения удобрений и других средств химизации.

Навоз и другие органические удобрения в овощных севооборотах вносят прежде всего под огурец, капусту и лук. Под лук, имеющий слаборазвитую корневую систему и высокую чувствитель-

ность к повышенной концентрации питательных веществ, следует вносить только хорошо перепревший навоз. Слабоперепревший навоз не рекомендуют применять под столовые корнеплоды из-за опасности разветвления и расщепления корнеплодов, снижения их товарной ценности и лежкости. На связных почвах под культуры раннего посева (лук, капуста ранняя и поздняя) навоз лучше вносить осенью под вспашку, а на легких почвах — под поздние высеваемые культуры (капуста среднеспелая, огурец) — весной. При недостатке органических удобрений следует использовать зеленое удобрение в качестве пожнивной (в северных районах после удобрений раннеспелых овощей) или подпосевной культуры прежде всего бобовых растений.

Потребность овощных культур в питательных веществах наиболее полно удовлетворяется при совместном применении органических и минеральных удобрений. В то же время при выращивании огурца предпочтительнее внесение высоких доз свежего навоза, под капусту при недостатке органических удобрений можно вносить только минеральные удобрения, а корнеплоды и раннеспелая капуста с успехом используют последствие органических удобрений.

Дозы и состав применяемых удобрений зависят от плодородия почв, состава возделываемых культур и планируемой урожайности.

В таблице 94 приведены установленные агрохимической службой на основании результатов полевых опытов нормативы затрат питательных веществ удобрений на 1 т основной продукции овощных культур, выращиваемых в различных регионах страны.

В овощеводстве используют все способы внесения удобрений — основное допосевное (разбросное и локальное), припосевное (рядковое и припосадочное), подкормки в течение вегетации (корневые и некорневые). При этом учитывают особенности почвенно-климатических условий, агротехники, видовых и сортовых различий в потреблении питательных веществ овощными культурами в течение вегетации. Например, средне- и позднеспелые сорта капусты имеют продолжительный период питания с наиболее интенсивным поступлением питательных веществ во время завязывания и формирования кочанов, а раннеспелой капусте (а также другим овощам с коротким периодом вегетации) требуется усиленное питание с начала роста. Навоз и основную долю фосфорно-калийных удобрений вносят под основную обработку почвы, а азотные (а на легких почвах и калийные) — под предпосевную. При посеве и при посадке сложные и комплексные удобрения вносят специальными комбинированными овощными сеялками в дозе 10—20 NPK.

Многие овощные культуры высаживают рассадой (капуста, томат, перец, баклажан, частично огурец), выращиваемой в торфо-

перегнойных горшочках или без них на грунтах с добавлением необходимых количеств питательных веществ с минеральными удобрениями. Практикуют также внесение небольшого количества удобрений с посадочным поливом, а также перегноя при высадке рассады в лунки.

На более легких почвах в зонах достаточного увлажнения, а также при орошении для овощных культур с продолжительным периодом вегетации целесообразно перенесение части азотных и калийных удобрений в подкормки с поливной водой или внутрипочвенно в междурядья.

При обработке междурядий культиваторами-растениепитателями одновременно вносят небольшие количества питательных веществ (доза удобрений в физической массе 50—60 кг/га). Максимальные дозы азотных удобрений для овощных культур регламентированы (табл. 94) во избежание накопления избыточных количеств нитратов в товарной продукции; в этих же целях регламентируют минимальный срок от последней подкормки азотом до уборки урожая.

**94. Нормативы затрат питательных веществ удобрений на 1 т основной продукции овощных культур (кг д. в.) и максимальные экологически безопасные дозы азота ( $N_{\max}$ , кг/га д. в.) (по данным ЦИНАО)**

Экономические районы	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N <sub>max</sub>
<i>Капуста белокочанная (при орошении)</i>				
Центральный	17	10	14	140
Центрально-Черноземный	14	13	14	135
Северо-Кавказский	20	17	17	120
Западно-Сибирский	19	16	19	130
Восточно-Сибирский	19	14	19	130
<i>Огурец (при орошении)</i>				
Центрально-Черноземный	28	23	23	110
Северо-Кавказский	27	22	24	100
Западно-Сибирский	25	23	20	100
Восточно-Сибирский	25	20	20	100
<i>Томат (при орошении)</i>				
Центрально-Черноземный	22	14	20	140
Поволжский	20	18	12	130
Северо-Кавказский	18	18	18	120
<i>Свекла столовая, морковь</i>				
Центральный	20/11	15/11	23/17	90/80
Центрально-Черноземный	22/14	20/14	20/14	100/90
Западно-Сибирский	25/18	20/14	20/24	100/90
Восточно-Сибирский	22/22	18/27	20/27	100/100

Примечание. В числителе — свекла столовая, в знаменателе — морковь.

При сбалансированном минеральном питании растений макро- и микроэлементами с внесением органических удобрений содержание нитратов в овощной продукции снижается.

Типичные базовые технологии, разработанные ВНИИ овощеводства, рассчитаны на механизированное возделывание ведущих овощных культур в основных зонах их производства, в специализированных овощеводческих хозяйствах, а прилагаемые технологические адаптеры предусматривают модификации базовых технологий применительно к конкретным почвенно-климатическим и ландшафтным условиям в хозяйствах разного уклада, в том числе фермерских.

Традиционные и высокопроизводительные технологии возделывания овощных культур (рассчитанные на реализацию потенциала сорта соответственно не менее чем на 60 и 80 %) предусматривают применение следующих доз органических и минеральных удобрений:

при выращивании капусты белокочанной для урожайности 35—50 и не ниже 60 т/га — соответственно  $N_{60-90}P_{40-60}K_{120-150}$  и  $N_{120-150}P_{80-100}K_{180-210}$  при дозе органических удобрений 40—60 т/га; столовой моркови для урожайности 25—35 и выше 40—45 т/га при внесении под предшествующую культуру 40—60 т/га органических удобрений применяют соответственно  $N_{30-45}P_{60-80}K_{90-120}$  и  $N_{30-60}P_{80-100}K_{150-180}$ ;

столовой свеклы при урожайности 20—35 и выше 40 т/га при общей дозе органических удобрений 40—60 т/га применяют соответственно  $N_{60-90}P_{40-60}K_{150-180}$  и  $N_{90-120}P_{60-80}K_{180-210}$ ;

огурца при обоих типах технологий — обычной и высокопроизводительной (урожайность в условиях центральных районов Нечерноземья не ниже 20 т/га) 40—60 т/га органических удобрений и  $N_{60}P_{120}K_{90}$ ;

томата при урожайности 25—40 и не ниже 40 т/га в условиях центральных районов Нечерноземной зоны одинаковый блок применения удобрений при обычной и высокопроизводительной технологиях — 40—60 т/га органических удобрений под предшествующую культуру и  $N_{90}P_{135}K_{60}$ ;

лука репчатого из севка для урожайности не ниже 25 и свыше 35 т/га при внесении 40—60 т/га органических удобрений дозы минеральных удобрений составляют при обычной и высокопроизводительной технологиях соответственно  $N_{45-60}PK_{60-90}$  и  $N_{60-80}PK_{90-120}$ .

Разработанные ВНИИ овощеводства проекты технологий широко апробированы, созданы также технологические адаптеры приспособления базовых типичных технологий производства овощной продукции к конкретным агроландшафтам, севооборотам и полям для восполнения лимитирующих природных факторов с учетом агроэкологических требований и ограничений, наличия и экономного использования финансовых, энергетических, технических и трудовых ресурсов.

Необходимо помнить, что правильное сбалансированное применение удобрений имеет важное значение не только для повышения урожая, но и улучшения качества продукции овощных культур. Но если усиленное фосфорно-калийное питание ускоряет созревание, повышает устойчивость овощных растений к стрессовым условиям и содержание в них запасных веществ и витаминов, то избыточное азотное питание может замедлить наступление товарной спелости и привести к накоплению нитратов в продукции, ухудшению лежкости овощей при хранении.

При использовании высоких доз органических, особенно нетрадиционных, удобрений необходимо осуществлять контроль за содержанием в овощной продукции тяжелых металлов и других токсикантов, а при применении пестицидов — их остаточных количеств. Нужно отметить, что даже систематическое использование под овощные культуры высоких доз минеральных удобрений (свыше 300 кг/га д. в.) не оказывает существенного влияния на содержание тяжелых металлов в продукции в течение длительного периода, измеряемого сотнями лет.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Как связана система удобрения в хозяйстве и севооборотах с зональными системами земледелия и технологиями возделывания культур? 2. Что понимают под системой удобрения в хозяйстве, в севообороте? Расскажите о годовых планах применения удобрений. 3. Какие основные принципы и какую последовательность необходимо соблюдать при разработке системы удобрения? 4. Как влияют почвенно-климатические и ландшафтные условия на эффективность удобрений, выбор их видов, форм, сроков и способов внесения? 5. Как увязать приемы технологии возделывания культур с применением удобрений? 6. Как учитывают особенности питания отдельных культур и характер севооборота при разработке системы удобрений? 7. В чем преимущество совместного применения органических и минеральных удобрений по сравнению с раздельной органической или минеральной системой удобрения в севообороте? 8. Расскажите о роли биологического азота в системе удобрения в севообороте. 9. Как связан уровень интенсификации производства с применением удобрений и других средств химизации? 10. Какие принципиальные подходы существуют для определения доз и соотношения элементов питания при разработке системы удобрения? 11. Какие методы определения доз удобрения вы знаете? Как определяют дозы удобрений по нормам затрат питательных веществ на 1 т основной продукции? 12. Какова роль способов применения удобрений в обеспечении питания сельскохозяйственных культур в соответствии с их особенностями и почвенно-климатическими условиями? 13. Каковы особенности питания и удобрения важнейших сельскохозяйственных культур: озимых и яровых зерновых злаков, кукурузы, зерновых бобовых, многолетних трав, технических культур (льна, картофеля, сахарной свеклы, подсолнечника)? 14. Как размещают органические и минеральные удобрения в севооборотах с ведущими зерновыми и техническими культурами в основных районах их возделывания? 15. В чем особенность системы удобрения в овощных севооборотах?



## 8.1. СИСТЕМА АГРОХИМИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Государственная агрохимическая служба в нашей стране существует с 1964 г., когда была создана сеть агрохимических лабораторий во главе с Центральной контрольной агрохимической лабораторией (ЦКАЛ) при ВИА. К этому времени, благодаря деятельности Д. Н. Прянишникова, его единомышленников и учеников, отечественными агрохимиками были разработаны научные основы интенсификации сельского хозяйства с помощью удобрений. На базе результатов рекогносцировочного почвенно-агрохимического обследования, которым была охвачена площадь свыше 30 млн га сельскохозяйственных земель, и массовых полевых опытов с удобрениями (ВИА и сформированной при ВИА и НИИФ Географической сети полевых опытов, проводившихся с участием отраслевых научно-исследовательских институтов, опытных станций и сельскохозяйственных вузов, см. стр. 368) были установлены основные географические закономерности действия азотных, фосфорных и калийных удобрений на всей территории бывш. СССР, выявлена эффективность различных их форм, определены перспективный ассортимент минеральных удобрений и потребность в них сельского хозяйства страны для обеспечения населения продовольствием и перерабатывающей промышленности — сырьем.

Созданный за годы Великой Отечественной войны и в послевоенный период промышленный потенциал позволил приступить к техническому переоснащению сельского хозяйства. Химическая промышленность высокими темпами наращивала производство и поставки сельскому хозяйству минеральных удобрений. Их выпуск за годы войны снизился в 3 раза — с 0,75 до 0,25 млн т д. в., но уже в 1955 г. составил 2,3 млн т, в 1960 г. — 3,3 млн т, а в 1965 г. — около 7,4 млн т, в том числе 2,7 млн т азота, 2,3 млн т фосфора и свыше 2,3 млн т калия. Возникли необходимые предпосылки для развития химизации сельского хозяйства и создания агрохимической службы для осуществления связи науки с производством по вопросам применения органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов и других средств химизации.

Основу агрохимической службы бывш. СССР в этот период со-

ставляли 206 зональных (областных, краевых и республиканских) агрохимических лабораторий, в том числе 110 на территории Российской Федерации. В среднем каждая такая лаборатория обслуживала 250—300 хозяйств с площадью сельскохозяйственных угодий 2,7 млн га, в том числе около 1 млн га пашни. Были созданы также районные и межхозяйственные агрохимические лаборатории и лаборатории в некоторых крупных хозяйствах. Научно-методическое руководство агрохимическими лабораториями и контроль за их работой проводил и ныне осуществляет созданный в 1969 г. Центральный научно-исследовательский институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО) с его филиалами и опорными пунктами. Административное руководство всей системой Госагрохимслужбы осуществляло Всесоюзное производственно-научное объединение «Союзсельхозхимия» Министерства сельского хозяйства СССР.

В функциональные обязанности зональных лабораторий (переименованных в последующем в проектно-изыскательские станции и центры агрохимической службы) входят:

- проведение почвенно-агрохимических изысканий сельскохозяйственных угодий, а также защищенных грунтов в овощеводстве; сейчас агрохимические лаборатории сертифицируют угодья и составляют агрохимические картограммы и паспорта полей;

- разработка для сельскохозяйственных производителей проектно-сметной и другой технологической документации на применение средств химизации, при централизованной экономике агрохимические лаборатории планировали поставки и распределение фондов минеральных удобрений и химических мелиорантов;

- организация и проведение опытной работы с удобрениями и другими средствами химизации в базовых хозяйствах для разработки нормативов затрат и окупаемости средств химизации;

- организация работы районных (межрайонных) комплексных агрохимических лабораторий и экспресс-лабораторий по оперативному проведению диагностики питания растений и оценке качества кормов в хозяйствах;

- определение баланса питательных веществ в земледелии и животноводстве;

- осуществление государственного контроля и авторского надзора за качеством и своевременностью проведения работ в хозяйствах по использованию средств химизации в строгом соответствии с проектно-сметной и другой технологической документацией, а также агроэкологическими требованиями и ограничениями;

- осуществление государственного контроля за качеством удобрений и других средств химизации, поставляемых сельскому хозяйству, их сертификация;

- оценка экономической и энергетической эффективности применения удобрений и других средств химизации по хозяйствам и на различных уровнях управления;

составление агрохимических карт административных районов, областей, краев, республик, анализ изменения почвенного плодородия;

оценка качества сельскохозяйственной продукции в хозяйствах, ее сертификация, разработка рекомендаций по улучшению качества;

проведение паспортизации складов удобрений и других средств производства при химизации, контроль за учетом и хранением химических средств;

контроль за загрязнением объектов окружающей среды средствами химизации, радионуклидами, тяжелыми металлами и другими токсикантами;

помощь производственным подразделениям агрохимической службы и сельскохозяйственным производителям в организации и проведении работ по агрохимическому обеспечению сельскохозяйственного производства;

обобщение, пропаганда и внедрение в производство достижений науки и передовой практики по агрохимическому обслуживанию и применению средств химизации.

Станции и центры агрохимической службы на основе проведения указанных работ выдают руководящим органам сельского хозяйства, агрохимическим объединениям и непосредственно хозяйствам соответствующую документацию и научно обоснованные рекомендации по рациональному и экологически безопасному применению удобрений, других средств химизации и повышению на этой основе эффективности сельскохозяйственного производства (рис. 21).

Интенсивный рост применения минеральных удобрений под технические культуры (чай, хлопчатник, сахарная свекла) позволил в короткий срок резко повысить их урожайность.

С увеличением производства минеральных удобрений их стали использовать на больших площадях и в более высоких дозах не только под технические, но и под зерновые и кормовые культуры, что обеспечило значительное повышение их урожайности.

Практика химизации сельского хозяйства страны в 60—70-е годы XX в. показала, что применение удобрений по рекомендациям агрохимической службы повышает их эффективность на 20—30 % по сравнению с использованием рекомендаций общего характера без учета содержания питательных веществ в почве конкретных полей и участков, особенностей питания возделываемых культур.

При правильном применении минеральные удобрения дают высокий экономический эффект, в первый же год окупаемость их достигает 3—5-кратной величины. Особенно сильное действие удобрения оказывают на всех почвах при орошении, а также в районах достаточного увлажнения. Однако эффективность минеральных удобрений в разных почвенно-климатических зонах неодинакова и зависит не только от обеспеченности сельскохозяй-



Рис. 21. Основные задачи проектно-исследовательских станций химизации (по В. П. Фетелову, 1985)

ственных культур теплом и влагой, а почв подвижными формами питательных веществ, но и от правильного научно обоснованного их применения в оптимальных дозах и соотношениях, сроках и способах внесения, наличия соответствующей материально-технической базы.

Для своевременного и качественного выполнения рекомендаций агрохимической службы по правильному научно обоснованному применению органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов и других химических средств необходима также четкая организация всех работ по их использованию. С этой целью в начале 70-х годов в ряде республик и областей начали создавать систему сервисного обслуживания сельского хозяйства, включающую хранение, транспортировку и внесение удобрений, извести, химических средств защиты растений силами специализированных производственных подразделений. В августе 1979 г. было принято правительственное решение о создании в СССР единой государственной агрохимической службы, включающей не только научные, но и производственные подразделения, которым была передана значительная часть имевшегося в объединении «Сельхозтехника» машинного парка общего и специального назначения.

Во Всесоюзное производственно-научное объединение по агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства «Союзсельхоз-

химия» вошли 12 производственно-научных объединений и 3 главных управления химизации в составе госагропромов союзных республик; 169 областных, краевых и республиканских (в автономных республиках) производственных объединений и отделов химизации агропромов; более 3 тыс. районных производственных объединений по агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства, 206 проектно-изыскательских станций химизации сельского хозяйства, 3590 станций защиты растений с пунктами сигнализации и прогнозов, научные и опытные учреждения, занимающиеся вопросами химизации сельского хозяйства и повышения плодородия почв и другие научные подразделения.

Созданное в Российской Федерации производственно-научное объединение «Россельхозхимия» включало 75 областных, краевых, республиканских, 1700 районных и межрайонных объединений «Сельхозхимия», 185 проектно-изыскательских станций химизации, агрохимических лабораторий и станций защиты растений. В состав «Россельхозхимии» вошли ВНИПТИХИМ с 9 филиалами, ВНИИ защиты растений, Центральная торфоболотная опытная станция, а затем в ее системе были созданы ВНИПИагрохим, НИПТИЖ, ВНИПТИОУ, ВНИПТИМ и другие научные институты.

Агрохимическая служба выполняла практически всю работу — от научного обоснования до применения удобрений в хозяйствах, в том числе закупку, транспортировку с заводов до потребителей минеральных удобрений и химических мелиорантов, а также проведение известкования и гипсования, внесение значительной части органических и минеральных удобрений.

Научными учреждениями Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук (ВАСХНИЛ, ныне Российская академия сельскохозяйственных наук — РАСХН) и Государственной агрохимической службы была создана нормативная база химизации, разработаны научные основы комплексного применения средств химизации, эффективные технологии и системы удобрения в зональных системах земледелия, а также при возделывании ведущих сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям.

Научно-производственные подразделения агрохимической службы с учетом материалов агрохимического обследования почв и результатов полевых опытов разрабатывали конкретные рекомендации хозяйствам по правильному применению удобрений (оптимальные дозы и соотношения, сроки и способы внесения удобрений) для получения планируемых объемов производства сельскохозяйственной продукции, которые служили основой для составления ежегодных планов применения удобрений для каждого поля или участка в хозяйствах.

В последние 15 лет агрохимическая служба разрабатывает по заявкам хозяйств проектно-сметную документацию на использование удобрений, известкование и гипсование почв, в которой на-

ряду с нормами, сроками и способами внесения удобрений и химических мелиорантов указываются и необходимые затраты материально-денежных средств, планируемая урожайность, экономическая и энергетическая эффективность мероприятий. При разработке рекомендаций и проектно-сметной документации, а также при обобщении результатов полевых опытов и агрохимического обследования почв широко используют электронно-вычислительную технику.

Основными структурными производственными подразделениями агрохимической службы являются районные агрохимические объединения, выполняющие одновременно функции товарной базы и подрядного производителя работ по применению удобрений и других средств химизации в хозяйствах по заявкам сельскохозяйственных производителей. Для этого они располагают необходимой материально-технической базой: прирельсовыми (пристанными) и глубинными механизированными складами для хранения минеральных удобрений, химических мелиорантов и других средств химизации, техникой общего назначения и специальными машинами для их транспортировки и внесения, ремонтными мастерскими и прочими техническими службами, а также квалифицированными кадрами специалистов и механизаторов.

В крупных экономически благополучных хозяйствах функционировали также агрохимические пункты — специализированные внутрихозяйственные подразделения, оснащенные необходимыми средствами производства для своевременного и качественного выполнения работ по рациональному применению органических и минеральных удобрений (иногда мелиорантов), химических средств защиты растений. В конце 80-х годов XX в. на территории бывш. СССР действовало около 6 тыс. внутрихозяйственных и межхозяйственных (обслуживающих несколько скооперировавшихся хозяйств) пунктов химизации. Во многих хозяйствах агрохимические работы выполняли своими силами путем организации постоянных или сезонных отрядов плодородия и защиты растений.

Значительный объем работ по химизации земледелия выполняли подразделения сельскохозяйственной авиации. Использование авиации для внесения удобрений и пестицидов обходится дорого, но бывает необходимо в случае невозможности применения наземных машин (например, на переувлажненных полях) и срочной потребности в химических обработках посевов.

В 1986—1990 гг. средняя обеспеченность минеральными удобрениями в стране на 1 га пашни достигла почти 100 кг д. в. по сравнению с 60 кг в 1979 г. Применение органических удобрений составило около 480 млн т в год, на 1 га пашни с органическими удобрениями вносили 47 кг азота, фосфора и калия. Ежегодные масштабы известкования в 1986—1990 гг. возросли до 5,4 млн га, а гипсования — до 200 тыс. га, за год проводили фосфоритование

почв на площади в среднем 1,9 млн га. С 1981 г. агрохимическая служба начала осуществлять комплексное агрохимическое окультуривание почв (КАХОП); за первые 5 лет площадь окультуренной этим методом пашни увеличилась примерно на 10 млн га, при этом прирост урожайности зерновых составил 35—40 %, картофеля и кукурузы — около 30 %. КАХОП оказалось перспективной формой подготовки полей, прежде всего парующих, для посева сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям, которые начали внедрять в 1986—1990 гг.

КАХОП с доведением агрохимических показателей почвы до оптимального уровня, обеспечивающего гарантированное получение планируемой урожайности культур и высокую отдачу от внедрения интенсивных технологий, обеспечивалось за счет проведения химической мелиорации, внесения повышенных доз органических удобрений, фосфоритования кислых почв и применения фосфорно-калийных удобрений, возделывания сидеральных культур.

Однако необходимо учитывать, что КАХОП — это высокзатратное дорогостоящее мероприятие, требующее правильной агроэкономической оценки и научного обоснования для обеспечения рационального использования материально-технических средств. Опыт внедрения КАХОП на основе рекомендаций научно-производственных подразделений агрохимической службы свидетельствует о достаточно высокой эффективности этого мероприятия. При окультуривании полей с кислыми истощенными почвами затраты на КАХОП полностью окупаются за 2—3 года, а положительное влияние на урожайность прослеживается на протяжении 5—6 лет.

Внедрение интенсивных технологий показало, что высокие урожаи сельскохозяйственных культур можно получать не только на опытных полях, но и в производстве. Урожайность озимой пшеницы при интенсивной технологии в основных районах их возделывания достигала 50—60 ц/га, яровой пшеницы — 35—45, сахарной свеклы — 450—600, картофеля — 300—400 ц/га, т. е. уровня высокоразвитых стран Западной Европы. Возделывание культур по интенсивным технологиям базируется на максимальной концентрации и высокоэффективном использовании материально-технических ресурсов, применении достижений науки, четком соблюдении технологической дисциплины и программированном выращивании урожая.

Внедрение интенсивных технологий тесно связано с общей высокой культурой земледелия, освоением научно обоснованных зональных систем земледелия, четким соблюдением агротехнических приемов, своевременным и качественным проведением всех работ.

Культуры, выращиваемые по интенсивным технологиям, нужно размещать на полях с более плодородными и окультуренными

почвами с хорошим фитосанитарным состоянием, по лучшим предшественникам, на хорошо подготовленной почве. Для посева используют сорта с высоким потенциалом (как по урожайности, так и по технологическим, пищевым или кормовым достоинствам продукции), обеспечивающие наибольшую отдачу от удобрений и химических средств защиты растений.

Посевной материал должен отвечать высоким сортовым и посевным требованиям, в соответствии с рекомендациями его обрабатывают протравителями, микроэлементами и регуляторами роста. Проводят комплекс агротехнических, химических и биологических мер борьбы с болезнями, вредителями и сорняками. С помощью средств химической мелиорации и удобрений создают оптимальные условия для формирования высокого урожая хорошего качества, обеспечивают сбалансированное питание растений в течение всей вегетации. Ретарданты и биостимуляторы регулируют рост и развитие культур, повышают устойчивость растений к полеганию.

Агрохимические мероприятия — важнейшая составляющая часть интенсивной технологии. Почвенно-агрохимическое обследование позволяет правильно оценить уровень потенциального и актуального плодородия почв, определить характер предварительной агрохимической подготовки полей под посевы по интенсивным технологиям и оценить потребность в химической мелиорации и удобрениях.

Обязательно устраняют кислотность или щелочность почв. На ранее известкованных почвах при выращивании требовательных к нейтральной реакции культур при необходимости проводят поддерживающее известкование.

Под посевы культур по интенсивным технологиям в первую очередь выделяют поля с повышенным актуальным плодородием, как правило, не ниже 3—4-й группы по содержанию подвижных форм питательных элементов.

Посевы культур, выращиваемых по интенсивным технологиям, обеспечивают необходимым количеством минеральных удобрений. Дозы минеральных удобрений на планируемую урожайность устанавливают с учетом агрохимических свойств почвы, внесения органических удобрений и результатов комплексной (почвенной, растительной и метеорологической) диагностики питания растений. Совершенно верно, что для реализации интенсивной технологии обязательны очень высокие дозы минеральных удобрений. Для получения высоких урожаев необходимы соответствующие дозы удобрений, однако они не должны быть избыточными. Чрезмерно высокие дозы, особенно при несбалансированном внесении элементов минерального питания, снижают окупаемость удобрений и могут привести не к повышению, а к недобору урожая. В первую очередь это относится к азотным удобрениям. Так, по данным ВНИПТИХИМ (на основе обобщения результа-

тов 54 полевых опытов), на выщелоченных черноземах Центрально-Черноземной зоны повышение дозы азота с 120 до 150 кг/га на неизменном фоне фосфорно-калийных удобрений не привело к повышению урожайности озимой пшеницы. Кроме того, неумеренное внесение удобрений может загрязнять окружающую среду. Особенно опасно загрязнение грунтовых вод и питьевых источников нитратами. Каждое поле должно получать только необходимую дозу удобрений в требуемом соотношении и в оптимальные сроки.

При интенсивной технологии должно быть сбалансированное питание растений во все фазы их роста и развития не только макро-, но и микроэлементами. Это достигается за счет применения удобрений до посева, при посеве и в подкормку в течение вегетации. Благодаря созданию постоянной технологической колеи при выращивании культур сплошного посева осуществимо максимальное приближение срока внесения азота к периоду интенсивного потребления растениями этого наиболее важного для формирования урожая, но исключительно лабильного и экологически опасного элемента питания. Одновременно решается задача надежной защиты растений от полегания, вредителей, болезней и сорняков с помощью пестицидов. При этом внесение ретардантов и химических средств защиты растений по возможности совмещают с внесением азота.

При интенсивной технологии возделывания культур необходимо обеспечить высокое качество работ машин по внесению удобрений и опрыскивателей, безотказное и четкое функционирование всей системы агрохимического обслуживания, быстрое внедрение новых перспективных форм удобрений и способов их применения.

Богатый, но непродолжительный и не всегда положительный опыт интенсификации сельского хозяйства за счет комплексной химизации земледелия в нашей стране показал, какое важное значение при этом имеют общий уровень культуры земледелия, правильная зональная агротехника, техническая оснащенность и строгое соблюдение агроэкологических требований и технологической дисциплины. Пророческими оказались предупреждения Д. И. Менделеева о том, что применяя удобрения, нельзя кое-как пахать, а также Д. Н. Прянишникова о том, что избыток удобрений не может заменить недостаток знаний у агрономов.

К сожалению дальнейшее развитие химизации сельского хозяйства и ее материально-технической базы, совершенствование сложившейся системы агрохимического обслуживания сельского хозяйства было прервано в результате проведения непоследовательных социально-экономических реформ. С упразднением союзных структур функции ВПНО «Союзсельхозхимия» перешли к соответствующим республиканским организациям. С 1988 г. начали сокращаться производство и поставки сельскому хозяйству ми-

неральных удобрений, объемы проводившихся за счет госбюджета работ по химической мелиорации и окультуриванию почв, а также применение органических и минеральных удобрений, других средств химизации. Тем не менее в начале 90-х годов XX в. в России сохранились практически все научные учреждения агрохимического профиля и основные структурные подразделения агрохимической службы. В республиках, краях и областях Российской Федерации действовали около 110 агрохимических центров и станций, 225 станций защиты растений, токсикологических лабораторий и лабораторий прогнозов, свыше 20 биологических фабрик и 70 биологических лабораторий.

На районном уровне в объединениях «Сельхозхимия» действовало около 4 тыс. механизированных отрядов, 1300 специализированных товарных баз общей мощностью 7,4 млн т единовременного хранения удобрений и других средств химизации, 800 комплексных лабораторий химизации и защиты растений, 5 баз централизованного резерва пестицидов. Последующее снижение государственной поддержки и платежеспособности сельскохозяйственных производителей, диспаритет цен привели к резкому снижению применения средств химизации и масштабов агрохимических работ, поставило производственные подразделения агрохимической службы на грань выживания.

Во многих районах предприятия агрохимической службы прекратили свою деятельность или акционировались и частично или полностью перепрофилировались на выполнение дорожно-транспортных, строительных и других работ, организовали на сохранившейся производственной базе сельскохозяйственное производство на арендованных землях. Лишь в отдельных регионах России — в Белгородской и Орловской областях, в Башкирии и Татарстане объемы агрохимических работ не только сохранились, но и возросли благодаря пониманию их значения руководством этих областей и республик и финансовой поддержке. Так, в Татарстане хозяйствам республики в 1992 г. предоставили 30%-ную, а с 1993 г. — 50%-ную компенсацию за приобретение минеральных удобрений и пестицидов.

Силами ГКО «Татсельхозхимия», в которую входят 56 районных объединений, три карьера по добыче торфа, сапропеля и производству известковых удобрений, две межрайонные профилактическо-регламентные станции, специализированные ПМК и автотранспортные предприятия, выполняется основной объем агрохимических работ. Механизированные отряды объединения полностью обеспечивают поставку в республику средств химизации, проведение работ по известкованию и фосфоритованию почв (и 80 % производства известковых материалов), выполняют 70 % работ по вывозке и внесению органических удобрений, постоянно увеличивают объемы внесения минеральных удобрений и пестицидов. Поставку в республику минеральных удобрений осуществ-

ляют заводы-изготовители на основе прямых договоров в виде товарного кредита под будущее его погашение после реализации полученного урожая. Все это положительно сказалось на урожайности сельскохозяйственных культур и плодородии почв. Ежегодный валовой сбор зерна в целом по республике возрос с 2,9 млн т в 1986—1990 гг. до 3,5 млн т в среднем за 1991—1995 гг., а в последующие годы составил свыше 4,5 млн т.

Стремление сохранить свою производственную базу и профиль работы (а также монопольное положение в сфере сервисного агрохимического обслуживания) в новых экономических условиях привело сначала к преобразованию многих государственных предприятий агрохимической службы в акционерные общества открытого типа с незначительной долей участия в них непосредственных землепользователей. Ни в одно из них не вошел завод по производству удобрений и других средств химизации.

Однако в процессе становления рыночных отношений появились новые формы торговли агрохимикатами и агрохимического обслуживания сельского хозяйства. Заинтересованные в реализации своей продукции на внутреннем рынке заводы-изготовители минеральных удобрений и контролирующие их финансово-промышленные группы создали консорциум «Агрофинпром». Его целью стали объединение усилий предприятий агрохимического комплекса, центров и станций агрохимической службы и сельских производителей по выпуску и применению удобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, насыщения рынка отечественным продовольствием, сохранения и повышения плодородия почв.

Консорциум стремится наладить эффективную сеть поставок минеральных удобрений в регионы России. Так, в 1997 г. в Орловской области была создана специальная структура ООО «Регион-Агро», в основе деятельности которой лежит непосредственная работа с сельскохозяйственными производителями, способными вовремя расплатиться со своим кредитором. ООО «Регион-Агро» проводит 100%-ное кредитование хозяйств минеральными удобрениями под будущий урожай на льготных условиях. Крестьяне фактически получают бесплатный товарный кредит. Цены на минеральные удобрения соответствуют отпускным ценам заводов-изготовителей, т. е. значительно ниже цен торговых посредников. Хозяйства получают также запчасти и топливно-смазочные материалы. Осенью в счет погашения товарного кредита сельскохозяйственные производители поставляют кредитору продукцию (прежде всего зерно) по согласованным ценам.

По такому же принципу ведется работа по приобретению удобрений с Новомосковской АК «Азот», ОАО «Дорогобуж» и другими производителями минеральных удобрений. В районах области, где все хозяйства работали с ООО «Регион-Агро», урожайность сельскохозяйственных культур возросла в 1,3—1,5 раза по сравнению с

исходным уровнем. Там же, в Орловской области, компания «Аналит-Трейд» и АО «Воскресенские минеральные удобрения» (два крупнейших производителя фосфатного сырья и минеральных удобрений в России) взяли на сервисное обслуживание и обеспечение 70 тыс. га пашни. Поставки минеральных удобрений на условиях товарного кредита в счет будущего урожая производят и в другие регионы России. Реализуется также программа создания на основе существующих районных баз сельхозхимии и складов удобрений современных тукосмесительных установок для производства смесей минеральных удобрений на месте их потребления с учетом требований конкретного сельскохозяйственного производителя. Планируется создание оптовых региональных складов-распределителей (складов межсезонного хранения) емкостью 60—100 тыс. т, позволяющих заводам-поставщикам сосредоточивать запасы удобрений для реализации в регионе обслуживания. Такая региональная база может быть самостоятельным производственно-коммерческим предприятием или действовать совместно с заводом-поставщиком.

Очевидно, что безусловный приоритет по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства на современном этапе остается за государственной агрохимической службой, которая еще сохранила часть ранее созданной достаточно мощной материально-технической базы (склады, специализированную технику, механизированные отряды по выполнению отдельных видов работ) и квалифицированные опытные кадры. Этот фактор приобретает особое значение в связи с низкой обеспеченностью сельского хозяйства страны необходимой техникой (из-за чего вновь потребовалась организация МТС для аренды и выполнения агротехнических работ), ее моральным и физическим старением.

В России практически перестали серийно выпускать машины для допосевного внесения удобрений и комбинированные сеялки (сажалки); более половины построенных ранее складов для хранения минеральных удобрений и средств защиты растений пришли в негодность, да и остальные используют не по назначению. Обеспеченность машинами для внесения органических удобрений составляет менее трети потребности даже при снижении масштабов их накопления. В условиях сокращения бюджетных ассигнований и скудных кредитных ресурсов особенно остро стоит вопрос соблюдения зональной агротехники, правильной и экологически безопасной технологии применения удобрений и других средств химизации, привлечения инвестиций на приобретение новой техники, восстановление серийного ее производства.

Развитие агрохимического обслуживания и совершенствование его организационно-управленческой структуры во многом зависит от общего состояния агропромышленного комплекса страны, решения земельных и экономических отношений в соответствии с

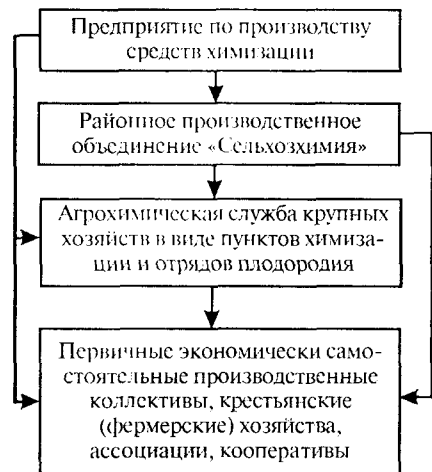


Рис. 22. Схема производственных связей партнеров агрохимического блока в условиях экономической самостоятельности хозяйств (по В. Е. Путову, Ю. Г. Токмареву, ЦИНАО)

принятым курсом их реформирования. Очевидно, однако, что при демократизации управления сельскохозяйственным производством определяющим принципом агрохимического обслуживания является обеспечение права свободного выбора сельскохозяйственным производителем различных форм выполнения работ по химизации: своими силами, создания

на кооперативной основе специализированного подразделения или привлечения подрядных организаций, в том числе районного звена агрохимической службы, на договорной основе либо взятия напрокат его техники для выполнения всех или отдельных видов работ (рис. 22).

В то же время производственные подразделения агрохимической службы должны перейти от роли монопольного централизованного посредника и подрядчика, диктующего свои правила потребителю, к равноправному взаимовыгодному сотрудничеству с заводом-изготовителем и сельхозпроизводителями. Формы этих взаимоотношений могут быть разнообразными, но должны преследовать одну цель — поставку и применение средств химизации с минимальными затратами, без потерь и с наибольшей выгодой для потребителя. Соответственно и при выборе форм агрохимического обслуживания сельскохозяйственных производителей решающими факторами будут более низкая стоимость работ, безупречное их качество, результативность и экологическая безопасность. Следовательно, деятельность производственных подразделений службы агрохимического сервиса и ее взаимоотношения с сельскохозяйственными предприятиями должны строиться на принципах маркетинга, когда за основу принимают экономическую эффективность услуг для потребителя. При этом, конечно, важно сохранить имеющуюся материально-техническую базу химизации и на ее основе развивать обновленную агрохимическую службу.

В качестве примера реализации такого подхода можно привести создание агрофирмы ОАО «СМАМО» в Пермской области на базе межрайонной «Агропромхимии», в акционировании которой

приняли участие три крупных и шесть мелких крестьянских хозяйств прилегающих районов. По договорам с хозяйствами агрофирма выполняет агрохимические, транспортные и агрохимические работы, обеспечивает хозяйства техникой, запчастями, другими средствами производства. Вошедшие в агрофирму сельскохозяйственные производители реально участвуют в управлении и контроле за ее деятельностью.

Организационная структура единой системы агрохимического обслуживания сельского хозяйства для всех категорий землепользователей предполагает наличие в своем составе: научно-исследовательских и проектно-технологических институтов с соответствующими экспериментальными базами, государственных служб министерств и ведомств, предприятий по производству минеральных удобрений и других средств химизации, а также специализированной техники, научно-производственных подразделений агрохимической службы, торговых и обслуживающих хозяйства производственных подразделений с необходимой материально-технической базой (в том числе существующих районных агрохимических центров и пунктов химизации). В случае совмещения функций товарной базы и производственной деятельности районными объединениями агрохимической службы схема их связей с заводами и обслуживаемыми хозяйствами не включает других посредников.

Наряду с государственной системой агрохимического обслуживания на конкурсной основе может осуществляться деятельность других организационно-производственных форм и рыночных структур агрохимического сервиса — акционерных обществ, кооперативов, совместных и частных предприятий, выполняющих функции дистрибьютеров (крупных оптовиков-распределителей) и дилеров (мелких оптовиков) торговой сети для потребителей (хозяйства, кооператива, фермера и общественных либо личных подсобных хозяйств).

При формировании новых подходов к деятельности агрохимической службы в условиях рыночной экономики и реформирования сельскохозяйственного производства следует учитывать необходимость расширения сферы услуг (рис. 23).

Научно-методическое обеспечение работы агрохимической службы России осуществляют ЦИНАО и Научно-методический центр по агрохимии и агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства, в который помимо ЦИНАО вошли проектно-технологические институты РАСХН агрохимического профиля. Главным научным учреждением этого Центра является ВИУА, который совместно с руководимой им Географической сетью полевых опытов с удобрениями и другими средствами химизации занимается разработкой фундаментальных проблем агрохимии, агропочвоведения и агроэкологии. Такая структура организации научного, научно-методического и проектно-технологического обеспечения агрохимической службы (рис. 24) позволяет объединять усилия,





Примечание. \* Основные услуги; • новые услуги.

Рис. 23. Схема развития услуг при агрохимическом обслуживании земледельцев (по Гарбалетову)

лучше координировать и интегрировать деятельность научных учреждений РАСХН, вузовской и отраслевой науки, избежать дублирования в работе, сконцентрировать и специализировать исследования и разработки по определенным фундаментальным направлениям в соответствии с запросами производства, снизить затраты на проведение НИР и ОКР и повысить их эффективность (Попов, 1998).

На основе материалов полевых опытов (Геосети и массовых полевых опытов агрохимической службы) и результатов агрохимического обследования почв научно обосновываются, разрабатываются и совершенствуются рекомендации, нормативная и методическая документация, методы и технологии, которыми руководствуются центры и станции, производственные подразделения агрохимической службы.

Конечной целью научных фундаментальных и прикладных агрохимических исследований в современных условиях является разработка зональных адаптивно-ландшафтных систем земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур, предусматривающих наиболее агрономически и экономически эффективное, энергосберегающее и экологически безопасное применение удобрений и других средств химизации при рациональном использовании почвенного плодородия и других природных

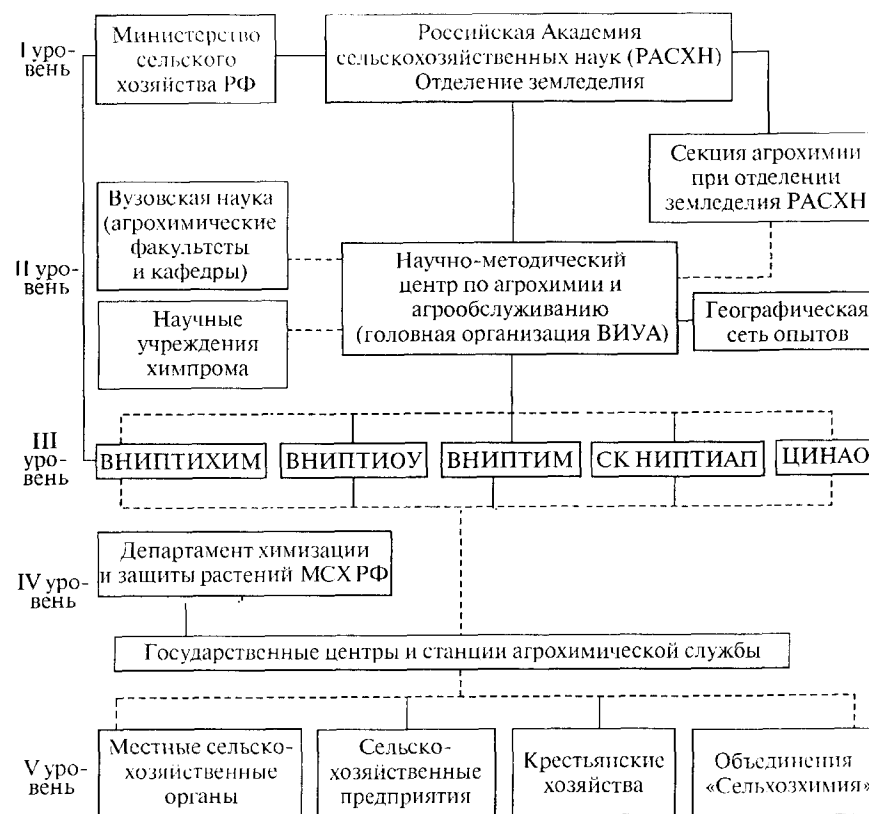


Рис. 24. Структура организации агрохимической науки, проектно-технологического обеспечения и агрохимического обслуживания сельского хозяйства России (по П. Д. Попову):

I уровень — управление, планирование и финансирование научных, проектно-технологических и методических работ; II уровень — фундаментальные исследования, координация научно-технологических и методических разработок; III уровень — научно-технологические, проектно-конструкторские и методические разработки; IV уровень — проектно-исследовательские работы, контроль за состоянием плодородия почв; V уровень — освоение и применение технологий, проектов, технических средств и методик в производстве

ных ресурсов, средств биологизации земледелия и максимальном вовлечении биологического азота, фиксируемого из атмосферы бобовыми, свободноживущими и ассоциативными азотфиксирующими почвенными микроорганизмами. Задача агрохимической службы — адаптировать эти технологии в конкретные технологические проекты возделывания сельскохозяйственных культур (с учетом почвенных и погодных особенностей, технической обеспеченности и других организационно-хозяйственных условий, экономической возможности хозяйств) и реализовать их внедрение в производство при строгом соблюдении технологической дисциплины, агротребуваний и экологических ограничений.

Особое внимание уделяют изучению и разработке дифференцированных технологий и технических средств для крупных товаропроизводителей, фермерских кооперативных хозяйств со средними и мелкими земельными площадями и различными уровнями интенсификации производства. Ведут исследования по использованию местных удобрений и мелиорантов, нетрадиционных агро-руд, технологии экологически безопасного их применения. Ученые и специалисты участвуют в разработке правовых, экономических, методических и материальных основ и программ сохранения плодородия почв и обеспечения сельскохозяйственных производителей удобрениями и средствами химизации, новых подходов к агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства в условиях перехода к рыночным отношениям.

Совершенствование агрохимического обслуживания требует внедрения современных информационных технологий, создания единого информационного пространства АПК с унифицированными банками данных по агрохимической и агроэкологической составляющей с выходом на консультативную службу, сервисные подразделения агрохимической службы и товаропроизводителей. В этих целях в ВИУА, ЦИНАО и других научных учреждениях формируют банки данных по результатам полевых опытов, агрохимического и агроэкологического мониторинга, создают математические программы для анализа данных и выдачи рекомендаций через ЭВМ с использованием электронной сети оперативной связи. В институтах Научно-методического центра осуществляют подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров агрохимической службы.

В связи с введением в России законов о стандартизации, сертификации продукции и услуг, а также о единстве измерений ЦИНАО ведет подготовку кадров и аккредитацию испытательных лабораторий и органов по сертификации на базе центров и станций агрохимической службы. Институтом создана и поддерживается действенная система метрологического обеспечения работ в агрохимической службе и научных учреждениях. Разрабатываются и совершенствуются методы анализа почв и грунтов, кормов и агрохимикатов, измерительные приборы и лабораторное оборудова-

ние. Совершенствуется методология картографирования сельскохозяйственных угодий и агрохимического обследования почв с учетом ландшафтных особенностей территорий, расширяется набор контролируемых показателей, позволяющих объективно оценивать состояние и динамику изменения почвенного плодородия (Сычев, 1998).

Главная задача агрохимической службы — рациональное использование, сохранение и воспроизводство почвенного плодородия земель сельскохозяйственного назначения. Плодородие почвы — трудно возобновляемый природный ресурс, уязвимый и нетощаемый при хозяйственной деятельности без проведения почвозащитных мероприятий, химической мелиорации, применения необходимых количеств органических и минеральных удобрений. От состояния почвенного плодородия зависит производство сельскохозяйственной продукции, удовлетворение потребности населения страны в продовольствии. Забота о плодородии почв в интересах нынешнего и будущих поколений граждан Российской Федерации — важнейшая функция государства, которое должно иметь и эффективно использовать правовые и экономические рычаги для сохранения и повышения почвенного плодородия земель сельскохозяйственного назначения. Уместно напомнить высказывание основателя агрохимии Ю. Либиха о том, что «причина возникновения и падения наций лежит в одном и том же. Расхищение плодородия почв обуславливает их гибель. Поддержание этого плодородия — их жизнь, богатство и могущество». От состояния почвенного плодородия зависят не только продовольственная безопасность и социальная стабильность в стране, но и здоровье людей и экологическое состояние окружающей среды.

## **8.2. АГРОХИМИЧЕСКАЯ СЛУЖБА И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

В последнее время во всем мире экологические проблемы, связанные со снижением плодородия и деградацией почв, их загрязнением, а также других объектов окружающей среды различными токсичными веществами в связи с хозяйственной деятельностью человека, вызывают серьезную озабоченность ученых, общественных экологических организаций, средств массовой информации и населения. Однако при непрофессиональных оценках экологической ситуации в России акцентируют внимание на якобы особой опасности для окружающей среды и здоровья людей средств химизации земледелия. Так ли это?

Агрохимическая наука на основе экспериментальных исследований (в том числе на многолетних полевых опытах, при осуществлении длительного агрохимического и агроэкологического мониторинга) доказала, что грамотное и научно обоснованное при-

менение не только традиционных органических удобрений, промышленных минеральных удобрений и химических мелиорантов, но и других средств химизации (пестицидов, регуляторов роста растений, химических регуляторов микробиологических процессов в почве) экологически безопасно и не ухудшает состояние природной среды. Это, однако, справедливо только при одном обязательном условии — все используемые агрохимикаты и пестициды должны пройти предварительные испытания на безопасность и получить от соответствующих органов разрешение на применение. Их использование должно осуществляться в полном соответствии с агроэкологическими требованиями под постоянным контролем. В соблюдении этого условия проявляется исключительная роль агрохимической службы и системы сертификации агрохимикатов.

В длительных стационарных опытах Геосети в различных зонах страны доказана важная роль органических и минеральных удобрений не только в увеличении урожаев и улучшении качества продукции, но и в сохранении и повышении почвенного плодородия. На основе изучения динамики гумусового состояния и азотного режима почв, других агрохимических показателей в этих опытах установлено, что длительное систематическое применение навоза и различных форм азотных, фосфорных и калийных удобрений не вызывает никаких необратимых негативных изменений в свойствах почвы и ее биологической активности. Подкисляющее действие физиологически кислых удобрений, проявляющееся на малобуферных почвах (прежде всего дерново-подзолистых и серых лесных с низким содержанием органического вещества, особенно более легкого гранулометрического состава) полностью устраняется при известковании.

Напомним, что известкование кислых почв оказывает многогранное положительное влияние на агрофизические, физико-химические свойства, питательный режим почв и их плодородие. Избыточное (свыше ПДК) накопление нитратов в растениеводческой продукции и загрязнение ими природных вод, в том числе питьевых, могут происходить только при несоблюдении применяемых доз азотсодержащих удобрений, а также при нарушении технологии и сроков их внесения. Отметим, что увеличение концентрации нитратного азота в листовых, зеленых овощных культурах и плодово-овощных соках может быть связано не с применением азотных удобрений, а с минерализацией и нитрификацией азота традиционно используемых в овощеводстве высокогумусированных почв и грунтов, а также органических удобрений, применяемых в овощеводстве, как правило, в повышенных дозах. Агрохимической службой и другими испытательными лабораториями контролируется содержание нитратов в продуктах (особенно предназначенных для детского питания) и кормах. Для рыночного контроля и населения выпускают портативные нитратомеры с цифровой индикацией и указателями предельных

концентраций нитратов для различных видов анализируемой продукции.

Необходимо отметить, что развитые страны Западной Европы с проблемой возможного загрязнения нитратами растениеводческой продукции и природных вод столкнулись лишь в последнее время — через 100–150 лет систематического применения удобрений в высоких дозах. Лишь переизбыток производства сельскохозяйственной продукции и развитие движения «зеленых» вынудили эти страны несколько сократить уровень применения удобрений и перейти на «экологически чистые» биологические системы земледелия (которые затронули всего около 1 % сельскохозяйственных угодий). При этом отказ от применения минеральных удобрений и пестицидов приводит к значительному снижению продуктивности сельскохозяйственного производства.

В отношении загрязнения почвы, сельскохозяйственной продукции, воды и атмосферы тяжелыми металлами и другими токсикантами необходимо прежде всего подчеркнуть «львиную» долю техногенного загрязнения. Основными источниками загрязнения являются предприятия горнорудной, металлургической промышленности, транспорт, работающие на угле тепловые электростанции, индустриальные выбросы и стоки, отходы коммунального хозяйства. Сельскохозяйственное техногенное (агрогенное) загрязнение значительно меньше, в том числе доля возможного загрязнения средствами химизации — ничтожна. Азотные удобрения, производство которых базируется на синтетическом аммиаке, практически не содержат примесей, тем более токсикантов. Это же характерно для отечественного хлористого калия как галургического, так и флотационного производства. Промышленные фосфорные и фосфорсодержащие сложные, комплексные удобрения (которые производятся с использованием отечественного апатитового концентрата, выгодно отличающегося от зарубежных фосфатов, особенно североафриканского фосфорита с повышенным содержанием кадмия) по количеству тяжелых металлов и радиоактивности также экологически безопасны.

С точки зрения содержания тяжелых металлов наиболее безопасны азотные удобрения (более загрязнены ими могут быть сульфат аммония и аммиачная вода коксохимического производства). В хлористом калии больше хрома, свинца и кадмия, но их концентрация ниже, чем фоновое содержание в почвах и установленные ПДК (ОДК). Более вероятными загрязнителями почвы, особенно свинцом, кадмием и мышьяком, могут быть фосфорные и фосфорсодержащие сложные и комплексные удобрения (табл. 95). Однако для удвоения содержания этих элементов и других тяжелых металлов в почве потребовалось бы, как показали расчеты с использованием результатов многолетних полевых опытов, внесение сотен тонн фосфорных удобрений на гектар (Потатуева, 1994; Овчаренко, 1997; Черных, Милащенко, Ладонин, 1999, и др.).

Практически нет никаких ограничений с этих позиций и на применение промышленной известняковой муки. В то же время местные известковые удобрения и фосфоритная мука должны контролироваться на содержание тяжелых металлов и мышьяка, других токсикантов. Особенно жесткий контроль необходим за качеством органических и органо-минеральных нетрадиционных удобрений, используемых в сельском хозяйстве отходов промышленности и коммунального хозяйства.

**95. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в минеральных удобрениях, фоновое валовое их содержание в почве и ПДК (ОДК), мг/кг (по данным ЦИНАО)**

Удобрение	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	As
Карбамид	<0,5	15	15	30	10	*	15	*	0,2
Селитра аммиачная	<0,5	15	10	35	10	<0,1	15	<0,1	*
Суперфосфат двойной	—	25	15	—	20	25	10	3	2,0
Калий хлористый гранулированный	0,5	30	15	120	15	5	До 40	1—3	2
Аммофос	5	130	15	280	10	10	20	3	2
Нитроаммофос	3	25	10	120	5	2	25	2	2
Известковая мука домодедовская	1	80	50	160	2	1	50	*	20
Фосфоритная мука Егорьевская	—	180	—	—	15	10	210	1	—
Фоновое валовое содержание в почвах	1—10	1—200	2—100	50—2500	2—50	0,1—20	10—200	0,01—1,0	1—50
ПДК (ОДК) валового содержания в почве	—	90	55	1500	85	32	100	0,5—2	2—10

Примечание. «—» — не определялось; «\*» — значения концентрации ниже предела обнаружения.

Федеральными законами «О животном мире» и «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» предусмотрена обязательность экологической экспертизы не только пестицидов и биостимуляторов, но и минеральных удобрений, процедуры регистрации испытаний, экспертизы, стандартизации, сертификации и государственной регистрации агрохимикатов. При проведении испытаний особое внимание уделяют содержанию вредных и токсических примесей (тяжелых металлов и мышьяка, радионуклидов и пр.). В соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей среды» ЦИНАО совместно с Госкомэкологии России разработаны Правила охраны окружающей природной среды от воздействия пестицидов и минеральных удобрений при их применении, хранении и транспортировке. Они вошли в систему природоохранной документации Российской Федерации (ЭНиП) и обязательны для исполнения всеми предприятиями,

независимо от форм собственности и ведомственной подчиненности, а также гражданами. Ведомственный контроль за соблюдением установленных требований возложен на органы агрохимической службы и службы защиты растений. Отдельными отраслевыми стандартами и агроэкологическими нормативами определены требования к экологической безопасности местных известковых удобрений и фосфоритной муки, различных органических и органо-минеральных удобрений, особенно приготавливаемых из нетрадиционных материалов (см. с. 235).

Следовательно, минеральные удобрения только при неправильном использовании и отсутствии должного контроля за их применением могут быть потенциальными загрязнителями почв. В то же время они служат важным природоохранным средством. Минеральным удобрениям наряду с органическими и известковыми принадлежит огромная роль в системе противэрозионных мероприятий при рекультивации земель, восстановлении лесов и озеленении, лесоразведении. Известкование и внесение органических удобрений ограничивают поступление в растения и накопление в товарной продукции сельскохозяйственных культур ряда тяжелых металлов, подвижность которых снижается при нейтрализации почв и вследствие сорбции органическим веществом и образования с ним металлоорганических комплексов.

Известкование и применение калийных удобрений на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, позволяет снизить загрязнение растениеводческой продукции, кормов и продуктов животноводства наиболее опасными радионуклидами — стронцием-90 и цезием-137 (благодаря их сродству соответственно с кальцием и калием и конкуренции этих элементов при поступлении в растения — сельскохозяйственные культуры и травы естественных сенокосов и пастбищ). Усиление питания растений при использовании минеральных удобрений также может способствовать снижению концентрации разнообразных токсикантов в растениях вследствие эффекта «разбавления» при росте урожая. Применение органических и минеральных удобрений, а также проведение химической мелиорации почв повышают их биологическую активность и деградацию органических поллютантов. Общеизвестна положительная роль сбалансированного минерального питания в повышении устойчивости сельскохозяйственных культур к стрессовым условиям, усиленного калийного питания — к стрессовым условиям и поражению болезнями, а известкования — к корневым гнилям.

Одна из важнейших функций агрохимической службы — осуществление государственного контроля за строжайшим соблюдением всеми земледельцами законодательных и правовых требований по сохранению плодородия почв и охране окружающей среды от загрязнения средствами химизации, радионуклидами, тяжелыми металлами и другими токсикантами. Для этого

определяют остаточные количества пестицидов в почве и растениях, содержание нитратов в сельскохозяйственной продукции и питьевых источниках. Строго контролируют также проведение профилактических мероприятий и соблюдение мер безопасности по охране здоровья людей, сельскохозяйственных животных и объектов окружающей среды при проведении работ со средствами химизации.

Для выполнения природоохранных функций в ЦИНАО, центрах и на станциях агрохимической службы имеются соответствующие структурные подразделения. Помимо выполнения функций научно-методического центра агрохимической службы ЦИНАО является Центральным органом по сертификации почв земельных участков и грунтов, Центральным органом по сертификации кормов и кормовых добавок, Органом по сертификации пищевых продуктов и продовольственного сырья (растениеводческой продукции), кормов, почв, земельных участков и грунтов, агрохимикатов, Органом по аккредитации аналитических лабораторий. На базе аналитических подразделений института в 1995 г. создан и аккредитован испытательный центр ЦИНАО. Помимо выполнения производственных функций испытательной лаборатории он является головным центром по разработке стандартных образцов, кормов и растительных материалов, которые используют при внешнем и внутрилабораторном контроле работы аналитических подразделений центров и станций агрохимической службы.

Все научно-производственные подразделения агрохимической службы аккредитованы в качестве испытательных лабораторий, из них половина зарегистрирована в качестве органов сертификации определенного набора продукции. На базе ЦИНАО организовано обучение специалистов агрохимической службы, многие из них аттестованы экспертами.

Институтами Научно-методического центра по агрохимии и агрохимическому обслуживанию разрабатываются методические подходы к оценке и прогнозу загрязнения почв, растений и водных объектов тяжелыми металлами, другими токсикантами и потенциальными поллютантами, изучаются их распределение и миграция в почве, в агроландшафтах, на склоновых землях, вопросы нормирования их содержания, критерии оценки степени загрязненности агроэкосистем.

Научно-производственные подразделения агрохимической службы проводят комплексные исследования по агроэкологическому мониторингу и изучению поведения тяжелых металлов в системе почва — растения, которые помимо сплошного обследования почв на содержание тяжелых металлов, мышьяка и фтора при агрохимическом мониторинге включают обширную программу работ на базе длительных полевых опытов Геосети и специально оборудованных ландшафтных агроэкологических полигонах (см. стр. 370) и стационарных реперных участках.

Государственные центры и станции химизации проводят эти исследования по следующей единой схеме (Овчаренко, 1995):

выявление источников загрязнения (промышленных и агрогенных) с обязательным изучением состава и объема выбросов поллютантов, составление картосхем загрязнения и оценка по степени вредоносности для окружающей среды;

систематическое (через 1, 3, 5 и 7 лет) радиальное крупномасштабное агроэкологическое обследование земель сельскохозяйственного назначения и составление картограмм содержания токсикантов, выявление загрязненных и незагрязненных (пригодных для использования) полей и участков;

проведение полевых, микрополевых, вегетационных и лабораторных опытов с мелиорантами и другими средствами для детоксикации почв, выявления более устойчивых к токсикантам или способных к их концентрации растений, подбор сельскохозяйственных культур для выращивания на загрязненных территориях; определение уровней накопления токсикантов в растениях и товарной части урожая, поступления поллютантов из почвы, поливных вод, атмосферных выбросов, внесенных удобрений и других агрохимикатов;

систематическая оценка качества растениеводческой и животноводческой продукции, испытания на безопасность и сертификация;

выполнение программы наблюдений и аналитических работ при проведении агроэкологического мониторинга на полигонах и стационарных реперных участках в целях изучения накопления, распределения и миграции токсикантов в почве, растениях, водных объектах; изучение влияния агрогенных факторов на содержание токсикантов в урожае, почве и других объектах окружающей среды, учет поступления токсикантов из атмосферы и с выпадающими осадками посредством ловушек, передвижения в почве и вымывания токсикантов с помощью лизиметрического метода, поверхностного смыва с помощью стоковых площадок на различных элементах рельефа;

анализ удобрений, мелиорантов, других средств химизации на содержание токсикантов, испытание на соответствие и безопасность;

формирование банка данных, анализ и обобщение информации, оценка и прогнозирование загрязнения почвы и растений с помощью компьютерных программ;

разработка и выдача сельскохозяйственным товаропроизводителям проектов технологий производства продукции должного качества и рекомендаций по использованию и детоксикации загрязненных угодий, осуществление авторского контроля за их реализацией;

обоснование ОДК токсикантов в почве и растениях, разработка нормативной и директивной документации, новых методов контроля за параметрами агроэкологического мониторинга (в том числе дистанционных), новых приборов и лабораторного оборудования, других технических и электронных средств.

Согласно результатам сплошного обследования почв сельскохозяйственных угодий России на содержание тяжелых металлов, мышьяка и фтора, проводимого с 1991 г. всеми государственными центрами и станциями агрохимической службы (табл. 96, количество определяемых химических элементов по регионам неодинаково, лишь около 20 центров и станций определяли полный набор из 8—10 элементов), количество загрязненных почв элементами 1-го класса опасности не превышает 2 %, а загрязнение ртутью практически не выявлено. Доля почв с содержанием элементов 2-го класса опасности свыше установленных ПДК (ОДК) составляет от 0,6 (хром) до 3,8 % (медь). Загрязнение почв имеет в основном локальный и точечный характер.

96. Площадь обследованных и загрязненных тяжелыми металлами и мышьяком сельскохозяйственных угодий (по данным ЦИНАО)

Элемент	Класс опасности	Обследовано	Загрязнено	Количество загрязненных почв, %
		тыс. га		
Свинец	1	31125	520	1,66
Кадмий	1	39675	185	0,62
Ртуть	1	14065	Нет	0
Цинк	1	38040	325	1,92
Мышьяк	1	6085	< 5	0,05
Хром	2	11330	70	0,62
Никель	2	18590	530	2,84
Медь	2	37410	1420	3,79
Кобальт	2	17040	330	1,92

Специалисты центров и станций агрохимической службы осуществляют систематический контроль за радиационной обстановкой на местах их расположения, реперных участках локального мониторинга и на более 1 тыс. контрольных участков, а также за суммарной радиоактивностью и содержанием наиболее опасных радионуклидов (стронция-90 и цезия-137) в фосфорных удобрениях, нетрадиционных агрорудах, органических и органо-минеральных удобрениях, при оценке качества продовольственной продукции, кормов и комбикормов, другой продукции при сертификации. Сотрудники более 50 центров и станций агрохимической службы принимали участие в ликвидации последствий чернобыльской катастрофы, проведении подробного радиологического обследования на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

Лаборатория сельскохозяйственной радиологии и мониторинга на реперных участках ЦИНАО совместно с токсикологами и радиологами центров и станций агрохимической службы разрабатывает государственные и отраслевые стандарты по определению тяжелых металлов и радионуклидов в почвах и растениях, организует контроль техногенного загрязнения почв, продукции растениеводства, кормов, атмосферных осадков и поверхностных вод.

## 8.3. МЕТОДЫ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 8.3.1. ПОЛЕВОЙ ОПЫТ

Полевой опыт с удобрениями проводят в полевых условиях для определения действия (и последствия) удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и его качество, а также на плодородие почвы.

**Виды полевого опыта.** В зависимости от места и условий проведения, цели опыта, длительности проведения и количества изучаемых факторов различают несколько видов полевых опытов с удобрениями. Полевые опыты могут быть *стационарными* и *производственными* (см. с. 8)

В *однофакторных* опытах изучают действие одного какого-либо приема (виды или формы, или дозы удобрений на неизменном агротехническом фоне, либо действие одного агротехнического фактора при прочих равных условиях).

В *многофакторных* опытах рассматривают действие одновременно нескольких факторов и их сочетаний (например, виды и дозы удобрений в зависимости от сорта культуры и т. д.).

В зависимости от длительности проведения различают опыты кратковременные и многолетние. В *кратковременных* опытах действие удобрений или приемов возделывания в аналогичных почвенных условиях по одной схеме изучают в течение 2—3 лет, а в *многолетних* — более 3 лет. Однолетние опыты проводят только в течение одного вегетационного сезона. Если же такой опыт в последующие годы закладывают на новом участке в аналогичных условиях и вновь учитывают только прямое действие изучаемого фактора, он также считается однолетним.

Достоверность и ценность результатов опыта возрастают при длительном их проведении, так как в этом случае исключается действие случайных погодных факторов на эффективность изучаемых удобрений или приемов. Стационарные полевые опыты, как правило, — многолетние, в них изучают действие систематического внесения удобрений в севообороте или его звеньях, а также при бессменной культуре на одном специально подготовленном опытном участке.

*Единичные полевые* опыты закладывают независимо друг от друга в отдельных пунктах по различным схемам; их проводят по самостоятельным программам наблюдений и исследований.

*Массовые полевые* опыты проводят по единым тематике и схемам одновременно во многих пунктах. Для выявления закономерностей в действии удобрений и других агроприемов в зависимости от почвенно-климатических условий массовые стационарные и производственные опыты ведут по географическому принципу как в пределах территории всей страны, так и по природно-экономическим регионам.

*Коллективные массовые* опыты проводят одновременно во многих точках по единой схеме и методике для изучения влияния агротехники, степени окультуренности почв, других природных и хозяйственных условий на эффективность удобрений. Такие опыты в широких масштабах ведут центры и станции агрохимической службы в системе базовых хозяйств, имеющих типичные в пределах зоны обслуживания природные почвенно-климатические и хозяйственные условия.

Для пропаганды достижений науки и техники в области применения удобрений и новых технологий возделывания культур проводят *демонстрационные* производственные полевые опыты.

**Основные методические требования.** К ним относятся типичность опыта, сравнимость и соблюдение принципа единственного различия, точность и достоверность опыта, тщательное оформление документации полевому опыту.

**Типичность опыта.** Это соответствие условий проведения полевого опыта почвенно-климатическим, организационно-хозяйственным и агротехническим условиям того ареала, применительно к которому будут использоваться результаты опыта. Полевой опыт нужно проводить на наиболее распространенных, имеющих наибольшее сельскохозяйственное значение, типичных для зоны проведения опыта почвах, при использовании типичной агротехники, с типичной для данной зоны или района культурой и районированными сортами по лучшим и типичным предшественникам и т. д.

Требование типичности обуславливает также длительность проведения опыта, поскольку в отдельные годы могут складываться нехарактерные погодные условия.

**Сравнимость и соблюдение принципа единственного различия.** Полевой опыт следует проводить так, чтобы путем сравнения урожаев и различных наблюдений за ростом и развитием культур можно было сделать вполне определенный вывод о действии изучаемых факторов. Схема полевого опыта определяется темой, целью и задачами исследования, она включает стандартный (или контрольный) вариант и варианты с изучаемыми удобрениями или приемами. Схемы составляют так, чтобы сравниваемые варианты различались только по одному фактору при прочих равных условиях. Применительно к полемому опыту с удобрениями это означает, что разные формы удобрений нужно обязательно сравнивать при равных дозах (наряду с большими или меньшими дозами того удобрения, с которым оценивают действие испытываемой формы), а при изучении эффективности разных доз удобрений их следует вносить в одной форме. Однако требование соблюдения принципа единственного различия не надо понимать буквально и приводить к ограничению условий, при которых изучаемые удобрения или приемы могут проявить свое максимальное действие.

**Точность и достоверность опыта.** Полученные в полевом опыте количественные результаты (величина урожая, показатели его качества, размер выноса питательных элементов и т. д.) могут расходиться с истинными величинами из-за различных погрешностей. Ошибки в величине урожая могут быть связаны с неточностью измерений площади делянки, вычисления и зависят от точности применяемых измерительных инструментов и приборов. Такие ошибки возрастают с уменьшением площади делянок. Они могут быть вызваны пестротой почвы на опытном участке, наличием микрорельефных воздействий, неоднородной предшествующей историей участка. Ошибка опыта вследствие исходной пестроты в уровне почвенного плодородия может быть снижена правильным выбором числа повторностей вариантов опыта, формы и размеров делянки, их расположения на опытном участке. При проведении различных работ не исключены случайные ошибки (например, просевы на делянках опыта, вымочки или другие повреждения посевов). В этом случае проводят выключку частей делянки при учете урожая или полную выборку отдельных делянок.

Достоверность опыта по существу оценивают путем проверки соответствия принятой методики исследований поставленной задаче. Достоверность опыта обуславливается логически правильно построенной схемой, методикой выбора объекта и условий проведения опыта. Достоверность (или существенность) различий количественных показателей, полученных в опыте, как и точность опыта, устанавливают математической обработкой результатов методами вариационной статистики.

**Тщательное оформление документации по полемому опыту.** Основной документ — журнал полевого опыта, в котором по установленной форме фиксируют данные по схеме опыта и программе работ, характеристике опытного участка, все работы и наблюдения, материалы учетов и измерений. Эти данные записывают в журнал полевого опыта непосредственно при их выполнении либо на основании дневника полевых опытов, в котором обязательно фиксируют все первичные данные в момент проведения работ.

**Выбор и подготовка участка, размещение на нем полевого опыта.** Для проведения полевого опыта подбирают выровненный (без уклона и замкнутых понижений) участок с типичной для данного хозяйства (района) однообразной по генетическим характеристикам и свойствам почвой, с хорошо известной предшествующей историей. Степень пестроты участка оценивают по почвенной карте, результатам агрохимического обследования почв или по специально проводимым химическим анализам почвы. Перед закладкой стационарных опытов для изучения пестроты участка предварительно проводят *рекогносцировочные посевы*. Для этого используют культуры, чувствительные к изменению плодородия по-



чвы и более устойчивые к неблагоприятным погодным условиям: овес, ячмень, яровую пшеницу. Для выявления пестроты опытного участка проводят дробный учет урожая рекогносцировочного посева, разбив его на отдельные площадки. Размер такой площадки не должен превышать планируемую площадь делянок полевого опыта.

Во избежание случайных ошибок опытный участок располагают на необходимом удалении от леса или отдельных деревьев, дорог, водоемов, животноводческих помещений и т. д.

Выбранный участок одинакового уровня плодородия делят на *опытные делянки* — прямоугольные участки одинаковой площади и формы. Число делянок должно быть равно произведению числа вариантов на повторность. *Размер и форму опытных делянок* выбирают в зависимости от пестроты участка, цели опыта и требований точности, вида культуры и технологии возделывания. Величина и форма делянки должны обеспечивать соблюдение принятой технологии возделывания культуры с использованием необходимых сельскохозяйственных машин. Обычно площадь опытной делянки для культур сплошного посева составляет  $100 \text{ м}^2$ , для пропашных — до  $200 \text{ м}^2$ . Наиболее распространенная форма делянок — вытянутая, она обеспечивает большую точность опыта, так как полнее охватывает пестроту участка. При ограниченной площади опытных делянок предпочтительнее их форма, близкая к квадратной. Форма делянки зависит также от размеров защитных полос.

Для устранения краевого влияния растений (растения на краях делянки находятся в условиях, отличающихся от внутренней части делянки), снижения ошибки опыта из-за переноса почвы при ее обработке, сноса удобрений при внесении на делянки и перемещения их с почвой вдоль периметра опытных делянок выделяют *защитные полосы*. В краткосрочных опытах с удобрениями ширина таких полос с каждой стороны делянки должна быть не менее  $0,75 \text{ м}$  (сдвоенной для смежных делянок —  $1,5 \text{ м}$ ), а в многолетних — не менее  $1 \text{ м}$  (сдвоенная —  $2 \text{ м}$ ).

Для пропашных культур с каждой стороны делянки выделяют защитную полосу шириной, равной двум междурядьям (два ряда растений с соответствующей площадью питания). При посеве или посадке вдоль длинной стороны делянки ее ширина должна быть кратной ширине посевного агрегата. Внесение удобрений и посев культур проводят на всей площади опытной делянки, т. е. защитные полосы удобряют, обрабатывают и засевают вместе со всей делянкой. Растения с защитных полос убирают непосредственно перед учетом урожая, и, следовательно, площадь учетной делянки равна общей площади за вычетом площади защитных полос. Чем более вытянуты делянки, тем больше защитных полос и меньше учетная площадь. Методически правильно, если на защитные площади приходится около 25 % площади опытного участка (рис. 25).

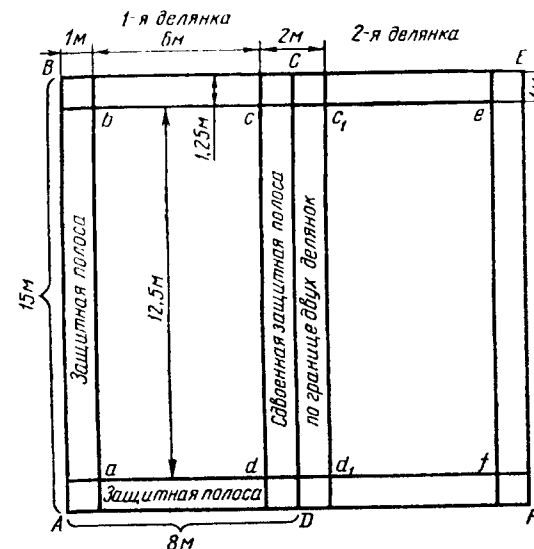


Рис. 25. Опытная и учетная площадь делянки и защитные полосы:

ABCD и DCEF — опытные делянки; abcd и  $d_1c_1ef$  — учетные делянки

Вне площади опытных делянок для разворота машин и орудий с обоих концов делянок предусматривают защитные полосы не менее  $10 \text{ м}$  при тракторной и  $6 \text{ м}$  при конной тяге. Эти полосы засевают и обрабатывают вместе со всей площадью опытных делянок.

Точность опыта в большей степени зависит от его *повторности* в пространстве — размещения каждого варианта опыта на нескольких одноименных делянках. Полевые опыты с удобрениями при площади делянок до  $200 \text{ м}^2$  обычно проводят в четырехкратной (а с овощными культурами и в шестикратной) повторности, что позволяет получить точность опыта 2—4 %. Двух-, трехкратная повторность допускается в предварительных, рекогносцировочных и демонстрационных опытах, а также в производственных опытах при площади делянок более  $1000 \text{ м}^2$ . Стационарные опыты всегда проводят не менее чем в четырехкратной повторности. При ограниченной площади делянки повторность опыта должна быть больше (на делянках  $10\text{—}20 \text{ м}^2$  и тем более в мелкоделяночных опытах, где площадь делянки менее  $10 \text{ м}^2$ , число повторностей увеличивают до 6—8). Принято считать, что разницу менее 5 % в полевом опыте не улавливают. Точность опыта может быть повышена увеличением площади и числа повторностей.

Полевые опыты с удобрениями обычно проводят методом организованных повторений (в каждом повторении представлены все

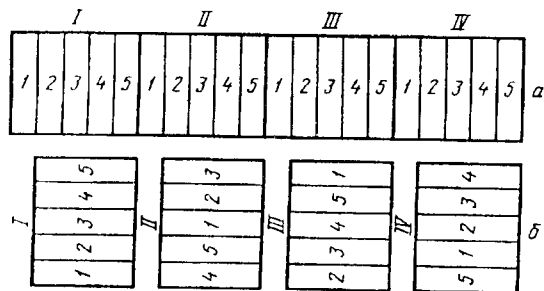


Рис. 26. Примерные схемы систематического размещения вариантов полевого опыта:

а — однорядное последовательное; б — многорядное ступенчатое; 1—5 — варианты опыта; I—IV — повторения опыта

варианты схемы опыта). Расположение повторений и вариантов опыта должно обеспечивать наиболее полный охват пестроты почвенного плодородия на участке и наилучшие условия для сравнения вариантов. В полевых опытах с удобрениями чаще всего повторения располагают компактно — сплошным методом, при этом отдельные повторения имеют общие границы (рис. 26). Повторения опыта могут быть размещены в один, два или более рядов.

Внутри повторений делянки вариантов располагают систематически (в определенном порядке чередования) либо рендомизированно (случайно, беспорядочно).

В опытах с применением удобрений в севообороте должно быть чередование не только в пространстве, но и во времени.

**Схемы полевых опытов с удобрениями.** Изучение видов удобрений. Изучение трех видов удобрений проводят по восьмерной схеме: 1 — без удобрения (контроль), 2 — азотное удобрение (N), 3 — фосфорное удобрение (P), 4 — калийное удобрение (K), 5 — NP, 6 — NK, 7 — PK, 8 — NPK.

Такой же принцип может лежать в основе схемы полевого опыта по изучению действия любых трех факторов, например удобрений, полива и сорта: 1 — районированный сорт без удобрений и без полива, 2 — районированный сорт + удобрение, 3 — районированный сорт + полив, 4 — районированный сорт + удобрение + полив, 5 — новый сорт без удобрений и без полива, 6 — новый сорт + удобрение, 7 — новый сорт + полив, 8 — новый сорт + удобрение + полив.

Если почва хорошо обеспечена каким-либо одним из трех основных элементов питания, например калием, восьмерную схему можно сократить до пяти вариантов: 1 — контроль 2 — N, 3 — P, 4 — NP, 5 — NPK.

Если ставится задача изучить действие какого-либо одного вида удобрений, например фосфора, восьмерную схему сокра-

щают до четырех вариантов: 1 — контроль, 2 — P, 3 — NK, 4 — NPK.

**Изучение форм удобрений.** Различия в действии отдельных форм одного вида удобрения обычно невелики, что повышает требования к точности опыта. Сравнение форм одного из видов удобрений, например азотного, проводят при равном дозе азота на фоне внесения двух других основных видов удобрений (т. е. фосфорных и калийных): 1 — контроль, 2 — PK (фон), 3 — фон + аммиачная селитра, 4 — фон + мочеви́на, 5 — фон + безводный аммиак.

Для сравнения эффективности простых и концентрированных (сложных и комплексных удобрений, например нитрофоски, содержащей азот, фосфор и калий) может быть принята такая схема: 1 — контроль, 2 — NPK (смесь простых удобрений — аммиачной селитры, суперфосфата и хлористого калия), 3 — NPK (нитрофоска в эквивалентных дозах по NPK варианта 2).

В схемах по изучению новых форм удобрений используемые как стандарт хорошо изученные ранее удобрения следует брать в нескольких дозах.

**Изучение доз и соотношений удобрений.** С увеличением доз удобрений урожай растет только до определенного предела. Максимальный уровень урожая сохраняется при дальнейшем увеличении доз также в определенном интервале, дальнейшее повышение доз может вызвать снижение урожая. Поэтому при изучении действия различных доз одного вида удобрений на фоне двух других основных видов нужно испытывать, по крайней мере, три дозы. Наименьшая — на уровне, обеспечивающем примерно половину максимальной прибавки урожая, средняя — на уровне, необходимом для максимального урожая, а наивысшая — примерно на 1/3 выше предыдущей. Например, максимальная прибавка урожая от внесения азота ожидается при дозе его 90 кг/га на фоне фосфорно-калийных удобрений. Схема для изучения доз азота для этого случая следующая: 1 — контроль, 2 — PK (фон), 3 — фон + N<sub>45</sub>, 4 — фон + N<sub>90</sub>, 5 — фон + N<sub>120</sub>.

Однако действие возрастающих доз любого вида удобрений на урожай зависит от уровня снабжения другими элементами питания и важно обеспечить наиболее благоприятное соотношение между всеми удобрениями. Например, одна из схем опыта Географической сети полевых опытов выглядит так:

- |                                    |   |  |
|------------------------------------|---|--|
| 1. Контроль (без удобрений)        | 5. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>  | 9. N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>   |
| 2. P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> | 6. N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>  | 10. N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>  |
| 3. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> | 7. N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>60</sub>  | 11. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>  |
| 4. N <sub>60</sub> K <sub>60</sub> | 8. N <sub>60</sub> P <sub>120</sub> K <sub>60</sub> | 12. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> |

**Изучение сроков и способов внесения удобрений.** Изменение сроков внесения удобрений обычно

вызывает необходимость в изменении и способа их заделки (табл. 97), что обусловлено агротехническими условиями.

#### 97. Способы внесения полного минерального удобрения

Вариант опыта	Основное удобрение (до посева)	Припосевное удобрение	Подкормка
1	—	—	—
2	N <sub>70</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	—	—
3	N <sub>70</sub> P <sub>70</sub> K <sub>80</sub>	P <sub>10</sub>	—
4	N <sub>40</sub> P <sub>70</sub> K <sub>80</sub>	P <sub>10</sub>	N <sub>30</sub>
5	N <sub>40</sub> P <sub>70</sub> K <sub>50</sub>	P <sub>10</sub>	N <sub>30</sub> K <sub>30</sub>

В многофакторных полевых опытах по полной факториальной схеме, в которой уровень каждого фактора сочетается со всеми уровнями остальных изучаемых факторов, число вариантов значительно увеличивается. Простейшим примером факториальной схемы является восьмерная, в которую входят варианты со всеми возможными сочетаниями N, P и K в двух дозах — 0 и 1. При изучении действия трех факторов, например тех же N, P и K удобрений в трех дозах, схема всех возможных их сочетаний будет включать уже 27 вариантов, при четырех факторах и четырех их уровнях — 64, а при пяти — 125 вариантов.

По традиционной методике такие опыты проводить очень сложно, поэтому многофакторные опыты закладывают в одной-двух повторностях, а для повышения точности размещение вариантов на опытном участке осуществляют способом блокировки, позволяющим учесть пестроту почвенного плодородия в одном или двух направлениях. Наиболее представительную выборку вариантов из полной факториальной схемы и обработку полученной информации по урожайности опытной культуры и другим учитываемым показателям проводят с помощью ЭВМ. Такие опыты весьма информативны и широко используются для оценки эффективности комплексного применения удобрений и других средств химизации в зависимости от уровней плодородия и окультуренности почв, агротехнических факторов и регулируемых факторов внешней среды, сортовых особенностей культур и др.

Во всех опытах с удобрениями контрольным служит вариант без удобрений. В опытах с видами и дозами удобрений контрольным также является вариант с другими удобрениями, на фоне которых изучают действие исследуемого вида удобрений. В опытах по изучению форм удобрений контролем служит вариант со стандартной формой удобрения, а при исследовании сроков и способов внесения удобрений контрольным — вариант с обычным стандартным способом применения удобрений. Во всех случаях при разработке схем полевых опытов с удобрениями необходимо строгое соблюдение принципа единственного различия.

**Программа полевого опыта.** Включает детальное описание сроков, условий и методики проведения опытов, сопутствующих наблюдений, учетов и аналитических работ в период вегетации, метода и элементов учета урожая, оценки точности и достоверности урожая, показателей выноса элементов питания и качества урожая и изменений уровня плодородия почвы.

Важное место в программе занимает описание агротехнических условий и приемов, которые выполняют в опыте (оценка плодородия и история поля, предшественники, система обработки почвы, сроки и способы проведения всех агротехнических работ и т. д.). Кроме обязательной программы наблюдений и аналитических исследований (фенологические, метеорологические, фитопатологические и энтомологические наблюдения, анализ почвы опытного участка перед закладкой опыта, определение размеров выноса азота, фосфора и калия с урожаем, основных показателей качества урожая), следует планировать проведение дополнительных работ, которые позволят раскрыть суть действия изучаемого фактора, например наблюдения за динамикой содержания доступных форм питательных элементов в опытах с удобрениями и т. д.

Программа опыта должна предусматривать способ учета урожая (прямым методом или по пробному снопу), технику уборки, определение структуры урожая, методику отбора растительных проб для последующего их анализа. В программу входит методика статистической обработки данных урожая, биометрии, аналитических данных и агроэкономическая оценка изучавшегося фактора.

Требования при закладке, проведении, составлении программы полевых опытов с удобрениями в системе Государственной агрохимической службы регламентированы Отраслевым стандартом (ОСТ 10106—87).

**Производственные опыты и учет действия удобрений в хозяйственных условиях.** Полевые опыты с удобрениями в производственных условиях проводят на больших площадях с применением обычно используемых в хозяйстве агротехники и сельскохозяйственных машин. Производственные опыты следует проводить с соблюдением всех основных требований полевого опыта: природной и хозяйственной типичности, принципа единственного различия, точности и достоверности ведения документации. В случае ограниченного числа вариантов (2—4) необходимую точность достигают прежде всего путем увеличения площади делянок. Повторность производственных опытов — не менее трехкратной, только при площади делянок свыше 0,5 га допустима двукратная повторность. Делянки производственного опыта обычно располагают вдоль всех длины и ширины поля. Ширина делянки должна быть кратной ширине захвата туковых сеялок (не менее двух проходов для выделения защитных полос) и ширине захвата комбайна или других уборочных машин (двух или более). Учет урожая должен быть только сплошной механизированный, его ведут на делянках

производственных опытов путем прокосов вдоль всей делянки, т. е. всего поля. Учетная площадь делянки при одном проходе комбайна равна произведению ширины его захвата на длину делянки.

Программа производственного опыта включает обязательно минимум сопутствующих наблюдений и учетов, математическую обработку данных урожая, агрономическую и экономическую оценки эффективности удобрений.

Для учета агрономической и экономической эффективности удобрений в хозяйственных посевах оставляют неудобренные участки или контрольные полосы. Для культур сплошного посева неудобренная площадь должна быть не менее 0,25 га, а пропашных — 0,1 га. Наиболее удобен способ выделения контрольных полос (не менее двух), по ширине кратных захвату туковых сеялок (не менее двух проходов) вдоль всего поля. Перед уборкой восстанавливают границы контрольных полос и по обе стороны от них выделяют аналогичные полосы на удобренных посевах. Учет на полосах с зерновыми культурами проводят сплошным или выборочным методом после уборки на полосах защитных рядков растений. Учет корне- и клубнеплодов проводят только взвешиванием урожая со всей учетной площади полосы после выкопки защитных (обычно двух) рядков с каждой ее стороны.

Все агротехнические мероприятия, работы по уходу за растениями, учет урожая следует проводить на контрольных полосах и остальном удобренном участке одновременно и одинаковыми способами. В течение вегетации проводят наблюдения за ростом и развитием растений и их результаты фиксируют в дневнике. В отобранных перед уборкой урожая средних пробах по вариантам опыта определяют основные показатели качества товарной продукции.

### 8.3.2. ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

*Лизиметры* — это устройства, предназначенные для сбора и измерения объема просочившихся через почвенную толщу фильтрационных вод, содержащих растворенные вещества. Название этих устройств произошло от греческого слова «лизос» — растворение. Анализ лизиметрических вод с различных глубин позволяет проследить за перераспределением минеральных и органических веществ (в том числе питательных веществ удобрений, подвижных форм органического вещества, разнообразных токсикантов) по почвенному профилю, определить размеры их вымывания из почвы и охарактеризовать их участие в балансе системы почва — растение — вода. В зависимости от целей исследований используют разнообразные лизиметрические устройства: лизиметры для водобалансовых расчетов, врезаемые в почву лизиметрические ворон-

ки, вакуумные пробоотборники почвенных растворов, пластинчатые лизиметры из пористых материалов, хроматографические колонки с почвой и другими сорбентами, лизиметры для агрохимических исследований («пингвины» лизиметры).

Используемые в агрохимических исследованиях лизиметры различаются по конструктивным характеристикам и устройству при способностей для изучения просачивания воды (и растворенных в ней питательных элементов) сквозь толщу почвы под влиянием атмосферных осадков или исследуемого режима орошения. Все лизиметры должны иметь дренаж, трубопроводы для отвода и емкостью для сбора просачивающихся через почву вод, аппаратуру с датчиками, обеспечивающую необходимую точность, достоверность и непрерывность наблюдений. Слой почвы (с сохранением естественного строения или насыпной) может быть от 20–25 см до нескольких метров. Наиболее распространены лизиметры с толщиной слоя почвы 1 м. В лизиметрах с парующей почвой или с растениями должны поддерживаться условия, близкие к моделируемым природным. Площадь лизиметров обычно от 0,25 до 1–1,5 м<sup>2</sup>.

Лизиметры из бетонных, металлических (оцинкованное железо) или пластиковых колец или коробов вкапывают в грунт (или заполняют грунтом) так, чтобы уровень почвы в них совпадал с поверхностью прилегающего участка. Плотность насыпных лизиметров должна соответствовать естественной, а насыпку ведут по генетическим горизонтам. Необходимо обеспечить нормальное освещение, обработку почвы, защиту посевов в лизиметре от повреждений и т. д.

Устанавливают лизиметры обычно вблизи лаборатории для обеспечения своевременной и без потерь доставки лизиметрических вод (нередко в больших объемах) и химического их анализа. Группы лизиметров (по десять штук и более; число зависит от схемы опыта и программы исследований) располагают на небольшом расстоянии друг от друга. Вблизи лизиметрических площадок устанавливают дождемер для учета выпадающих осадков и прочую аппаратуру для наблюдений за метеорологическими условиями.

Как и при проведении полевых опытов, в лизиметрических исследованиях необходимо соблюдать условия типичности, сопоставимости и принципа единственного различия, точности и достоверности, тщательность ведения документации.

Лизиметрический метод широко используют в нашей стране при разработке актуальных теоретических и практических вопросов мелиорации, почвоведения, агрохимии и экологии, в том числе круговорота и баланса питательных веществ в условиях возмущенности техногенной нагрузки на все компоненты агроэкосистем. При существующих научных учреждениях и вузах функционируют стационарные лизиметрические станции и установки (во ВНИИПХИМ ВНИИ кормов, МГУ, МСХА, ВИУА в Московской области, ВНИИМЗ в Твери, ВНИГЛ на Валдае и др.). Так, на лизиметрических

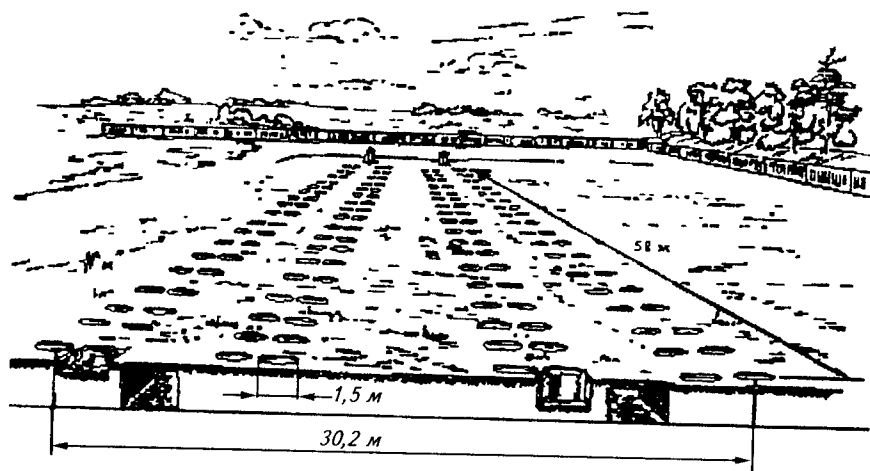


Рис. 27. План размещения лизиметров на лизиметрической станции ВНИПТИХИМ

ком полигоне ВНИПТИХИМ установлено 144 лизиметра насыпного типа с глубиной почвенного профиля 0,5 и 1,0 м. Железобетонные кольца имеют внутренний диаметр 1,5 м, для набивки лизиметров использовали дерново-подзолистую среднесуглинистую почву, характерную для Центрального района Нечерноземной зоны (рис. 27, 28).

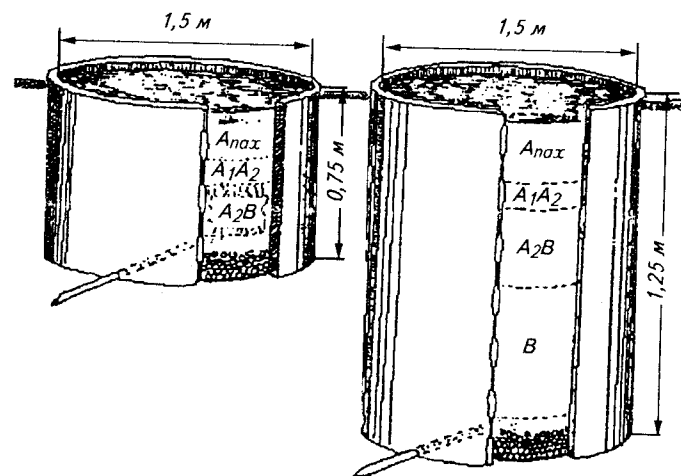


Рис. 28. Устройство насыпных лизиметров

В проводимых здесь опытах исследуют миграцию, потери и баланс питательных веществ при применении макро- и микроудобрений при статической и динамической моделях почвенного плодородия, другие актуальные вопросы агрохимии, почвоведения и агроэкологии.

Во ВНИИ кормов для изучения баланса питательных веществ в луговых агроэкосистемах используют лизиметры размером 50 × 50 см и глубиной 70 см из нержавеющей стали с монолитами ненарушенного сложения наиболее распространенных в Нечерноземной зоне почв: дерново-подзолистой суглинистой и супесчаной, торфяной. Результаты научных исследований по размерывывания и балансу питательных веществ, полученные с применением лизиметрического метода, важны для решения практических задач агрохимии.

### 8.3.3. ВЕГЕТАЦИОННЫЙ МЕТОД

В зависимости от цели исследования вегетационный метод может быть самостоятельным или служить дополнением к полевым опытам. Вегетационный метод имеет несколько модификаций (почвенные, песчаные, водные культуры, метод текущих растворов, изолированного питания, стерильные культуры), выбор которых определяется целями исследований и характером действующего фактора. Основные требования к проведению полевого опыта, разработке схемы и программы применительно и к вегетационным опытам.

Повторность при проведении вегетационных опытов с зерновыми культурами при учете урожая — четырехкратная, а для культур, выращиваемых по одному растению на сосуд, — шести—восьмикратная. Если предусматривают промежуточные сроки наблюдений за динамикой накопления сухого вещества растений и потребления ими питательных веществ, то исходная повторность опыта соответственно возрастает.

**Почвенные культуры.** Для проведения вегетационных опытов в почвенных культурах используют только верхний пахотный горизонт почвы, просеянной через грохот с размером ячеек 3 мм. В сосудах вместимостью 1—10 кг почвы (чаще 5—8 кг, объем сосуда зависит прежде всего от биологических особенностей опытных растений) с естественным или искусственным дренажем поддерживают оптимальные условия увлажнения (обычно 60 % НВ почвы).

Средние дозы удобрений (г/кг почвы) составляют из расчета: азота — 0,05—0,2, фосфора ( $P_2O_5$ ) — 0,05—0,15, калия ( $K_2O$ ) — 0,05—0,2. Это значительно выше доз, обычно используемых в полевых условиях (при диаметре сосуда 20 см доза 0,5 г азота на сосуд соответствует около 150 кг/га), и эффект от удобрений в вегетационных опытах проявляется более четко, чем в полевых.

Выбор почвы диктуется целями эксперимента; часто для вегетационных опытов используют почву с делянок полевых опытов с удобрениями.

**Водные и песчаные культуры.** В условиях водных и песчаных культур, т. е. при выращивании культур на питательных растворах с использованием бесплодных сред (чистого кварцевого песка и дистиллированной воды) имеется возможность строго контролировать питание растений. Это позволяет изучать влияние состава и концентрации питательного раствора, реакции и буферности среды на рост и развитие растений, требования культур к режиму питания (уровню и соотношению питательных элементов) по периодам роста и другие важные вопросы агрохимии. Питательные смеси для водных и песчаных культур отличаются по содержанию питательных элементов, формам минеральных солей, характеру и степени изменения реакции среды по мере потребления питательных веществ растениями и по другим свойствам. Состав наиболее употребляемых питательных смесей приведен в таблице 98.

98. Питательные смеси для водных и песчаных культур, г/л воды или 1 кг песка

Состав смеси*	Гельригеля	Кнопа	Прянишникова
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ безводная	0,482	1,0	—
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	—	—	0,24
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0,136	0,25	—
$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	—	0,172
$\text{MgSO}_4$ безводная	0,060	0,25	0,060
KCl	0,075	0,12	0,16
$\text{FeCl}_3$	0,025	Следы	0,025
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	—	0,344
pH:			
в начале опыта	3,6	5,5	6,5
в конце опыта	7,0	7,2	5,8

\*В смеси вносят также определенный набор микроэлементов (бор, молибден, медь, цинк, марганец и др.).

Состав питательных растворов по вариантам в соответствии со схемой опыта регулируют изменением доз, формы отдельных солей смесей. При этом обязательно выравнивают ионный состав и концентрацию растворов всех вариантов по всем другим элементам питания, кроме изучаемого.

Для проведения опытов в песчаных культурах используют такие же сосуды, как в почвенных культурах. Питательные элементы (в виде растворов, а нерастворимые соли — в сухом виде) вносят при набивке сосудов из расчета на 1 кг песка.

Опыты с водными культурами проводят в банках с широким горлом (рис. 29) вместимостью 4—8 л, закрываемых пробками с отверстиями, в которых с помощью ватных тампонов закрепля-



Рис. 29. Водные культуры. Вегетационный опыт с томатом. У первого сосуда слева чехол спущен и видна корневая система растения

ют проростки опытных культур, крепят каркас и пропускают трубки для продува питательных растворов воздухом, чтобы обеспечить нормальное снабжение корней кислородом. Проростки предварительно выращивают в кюветах с песком, опилками или на фильтровальной бумаге. При высадке растений в сосуды высота ростка должна быть 5—7 см, а корневая система длиной 6—7 см. Во всех сосудах в вегетационных опытах выращивают одинаковое число растений, при необходимости проводят прореживание. Сосуды снабжают двойными (темными внутренними и светлыми наружными) чехлами для защиты корней от света, устранения перегрева и попадания пыли. За вегетационный период в водных культурах 3—4 раза проводят полную смену питательных растворов во всех вариантах опыта. В случае необходимости поддержания стабильной реакции среды через 1—2 дня проводят измерение pH и корректировку реакции питательных смесей разбавленными растворами NaOH или HCl.

Для поддержания в течение сезона постоянных состава и концентрации питательных элементов используют модификации метода водных культур — сменные водные культуры (при частой замене растворов) или текущие культуры (при постоянном протекании питательных растворов через сосуды с растениями со скоростью около 4 л в день).

Программа наблюдений и аналитических работ в вегетационных опытах определяется темой, целью и задачами исследований.

#### 8.3.4. ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Лабораторные опыты и модельные эксперименты.** Это исследования, осуществляемые в лабораторной обстановке с целью изучения действия и взаимодействия факторов внешней среды, плодородия почв и питания растений, установления направленности и степени их влияния на изучаемые агрохимией объекты — почву, растения и удобрения, а также процессы взаимосвязи между ними. Такие исследования проводят как в обычных лабораторных, так и искусственно регулируемых условиях температурного режима, аэрации, освещения, увлажнения — в термостатах, боксах, световых комнатах, климатических камерах и фитотронах. Методом лабораторного опыта и постановкой модельных лабораторных экспериментов успешно разрешают многие не только теоретические, но и практические вопросы агрохимической науки. Например, модельные эксперименты с почвенными колонками используют для выяснения трансформации, миграции и распределения в почве питательных веществ и различных токсикантов, а компостирование почвы в заданных условиях применяют для оценки их питательного режима, определения содержания подвижных и усвояемых форм элементов питания, интенсивности процессов минерализации и иммобилизации азота в почве, нитрификационной способности почв.

**Аналитические работы.** Они являются важной составной частью всей многогранной деятельности научных агрохимических учреждений и агрохимической службы. Агрохимики используют весь арсенал методов аналитической химии, физико-химические и физические методы анализа, современные инструментальные методы — от капельного варианта качественного анализа (при растительной диагностике, распознавании видов и форм удобрений) до новейших рентгенофлуоресцентного и нейтронно-активационного методов эмиссионно-спектрального анализа. Цели агрохимического анализа почв, растений и удобрений рассматривались ранее (стр. 9). Особенно широко в научных и научно-производственных подразделениях применяют фотометрию, потенциометрию и спектральные методы анализа (в том числе инфракрасную спектрометрию) и хроматографию.

Система аналитических лабораторий Государственной агрохимической службы включает около 120 комплексных лабораторий, анализирующих почву, агрохимикаты, сельскохозяйственную пищевую продукцию, продовольственное сырье, воды внутрихозяйственного использования (в том числе питьевую, сточную, поливную воду водоемов). Все аналитические работы выполняют по стандартным методикам под постоянным оперативным и статистическим контролем за качеством анализов со стороны ЦИНАО, который аккредитован Госстандартом России как Орган по аккредитации аналитических лабораторий (центров), который подтверждает техническую и кадровую их компетенцию в определенной

области деятельности. При проведении сертификационных исследований разрешено применять только стандартизированные методики анализов (ГОСТами и ОСТами) или методики, аттестованные в порядке, установленном Госстандартом России. ЦИНАО разработано более 100 действующих ГОСТов по методикам анализов почв и почвогрунтов, кормов, комбикормов и комбикормового сырья, органических и минеральных удобрений, созданы и внедрены в практику работы лабораторий Госагрохимслужбы и других аналитических лабораторий подобного профиля более 140 типов стандартных образцов, которые применяют при внешнем и внутрилабораторном контроле за качеством аналитических работ, аттестации средств измерения, методик количественного анализа, при проведении сравнительных испытаний.

Агрохимические центры и станции оснащены высокопроизводительной аппаратурой для поточного определения контролируемых показателей при агрохимическом и агроэкологическом мониторинге земель, оценке качества и безопасности растениеводческой продукции. ЦИНАО совместно с другими специализированными институтами и конструкторскими бюро разработана новая более совершенная технология анализа почв, кормов и других объектов, которую планируют внедрить в агрохимическую службу России. Поточное определение подвижных форм питательных веществ в почве (а также тяжелых металлов и других показателей) включает одну ручную операцию по установке 10-местной технологической кассеты и загрузку бункера автоматических весов почвенной пробой с помощью специальной мерки, дальнейшее взвешивание, перенос пробы в емкость кассеты, дозирование и введение экстрагента; перемещение кассеты автоматизировано. Почвенные суспензии перемешиваются пропеллерными мешалками (сразу в двух технологических кассетах) либо в качалках (для длительного — в течение 1 ч взбалтывания одновременно 50 кассет).

Последующее осветление экстракта проводят центрифугированием на высокооборотных центрифугах, в которые помещают четыре декадные кассеты любого из четырех применяемых ныне типов (это исключает длительный процесс фильтрования, общий цикл центрифугирования занимает не более 5 мин). Затем надосадочный осветленный экстракт переливают в аналитические кассеты с помощью 10-канального перистальтического насоса. Аналитические кассеты поступают на автомат подачи проб 2—4-канального поточного инжекторного анализатора с колориметрическим (при определении фосфора) или пламенно-фотометрическим окончанием (в случае определения калия, кальция, магния и натрия). В качестве аналитического окончания можно использовать атомно-абсорбционные спектрофотометры или ион-селективные ионометры с датчиками. Спектрально-аналитические приборы через интерфейс связаны с ЭВМ, которая принимает аналитическую информацию, обрабатывает и выдает результаты в требуемой фор-



ме. Лаборатория, оснащенная таким оборудованием, может выполнять анализ 10 тыс. проб в год на основные показатели при полной загрузке лаборатории (500 проб в смену при 220 сменах в год). Созданный ЦИНАО комплект приборов для поточного анализа агрохимических объектов нового поколения уже работает в Государственном центре агрохимической службы «Воронежский».

#### 8.4. СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ ОПЫТНОГО ДЕЛА В РОССИИ

**Географическая сеть полевых опытов с удобрениями и другими средствами химизации.** Создана по инициативе Д. Н. Прянишникова в 1941 г. В ее состав входило 287 научных учреждений (в том числе 17 всесоюзных), 70 сельскохозяйственных вузов и более 100 республиканских и областных опытных станций, расположенных в различных почвенно-климатических зонах бывш. СССР. До распада Союза Геосетью под научно-методическим руководством ВИА было проведено свыше 20 тыс. краткосрочных опытов и 700 многолетних опытов с удобрениями при возделывании различных полевых культур, трав на лугах и пастбищах, многолетних насаждений. Результаты этих опытов позволили обосновать потребность сельского хозяйства в минеральных удобрениях и разработать их ассортимент, распределение предприятий по производству удобрений и поставку их сельскому хозяйству по природно-экономическим районам страны, зональные дозы и оптимальные соотношения видов удобрений под основные сельскохозяйственные культуры, наиболее рациональные сроки и способы внесения. По материалам исследований разрабатывали рекомендации по применению удобрений, нормативы затрат питательных веществ удобрений на получение единицы прибавок урожая, определяли параметры плодородия почв и оценивали баланс элементов питания в земледелии страны.

В настоящее время из 500 длительных опытов, проводившихся на территории России, сохранилось лишь около половины (266), в том числе 22 опыта длительностью свыше 50 лет, 23 опыта продолжительностью 50–35 лет и 90 опытов – 35–20 лет. Распалась сеть полевых опытов агрохимических станций химической промышленности, осуществлявшая агрохимическую оценку новых сырьевых источников и испытание новых видов и форм минеральных удобрений. Значительно сократилась работа по проведению массовых полевых опытов агрохимической службой страны, которая за 35 лет со времени ее создания в 1964 г. провела свыше 60 тыс. опытов с ведущими культурами непосредственно в производственных условиях только в Российской Федерации. Федеральный банк данных, собранных ЦИНАО, включает результаты более 48 тыс. массовых полевых

опытов агрохимической службы с удобрениями, мелиорантами и другими средствами повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Для получения сопоставимых результатов опытную работу в агрохимической службе осуществляют в соответствии с ГОСТ 10 106-87 «Полевые опыты с удобрениями. Порядок проведения» и Методическими рекомендациями по проведению полевых опытов, подготовленными ЦИНАО в 1993 г. В этих документах определены методические требования при закладке и проведении полевых опытов и выполнении обязательной программы наблюдений и аналитических работ, регламентированы набор и методы лабораторных анализов почв, применяемых удобрений и растений на содержание питательных веществ и токсикантов, для оценки потребительских свойств получаемой продукции.

Массовость, единство методических требований и программ исследований полевых опытов агрохимической службы и максимальная привязка к производственным условиям в различных типичных почвенно-климатических регионах страны позволяют в сочетании с результатами периодического агрохимического обследования почв получать надежную информацию об эффективности удобрений и изменении плодородия почв. После обобщения и обработки с помощью математических методов и ЭВМ эту информацию используют для разработки нормативов, регламентов, агроэкологических требований и рекомендаций по применению удобрений.

Несмотря на очевидные трудности современного переходного периода для науки и сельского хозяйства, под научно-методическим руководством ВИА продолжает результативно работать Геосеть полевых опытов с удобрениями с участием более 90 научных учреждений и ежегодно обобщаются материалы их исследований по актуальным проблемам агрохимии на всероссийских совещаниях под эгидой РАСХН. Кроме того, закладываются новые полевые опыты, претерпели существенные изменения схемы и программы исследований на длительных полевых опытах Геосети для комплексного решения задач не только агрохимии, но и земледелия, селекции, микробиологии, других отраслей сельскохозяйственной науки.

Многие стационарные опыты приобрели особую ценность в качестве экспериментальных агроэкологических полигонов, на которых исследуют не только традиционные вопросы действия удобрений на урожай и его качество, плодородие почв, но и их влияние на агроэкосистему в целом. На базе длительных полевых опытов Геосети осуществляется агрохимический и агроэкологический мониторинг всех объектов окружающей среды – почвы, растений, воды и атмосферы. Эти опыты являются уникальной базой для экспериментального обоснования агроэкологических требований к качеству и применению различных агрохимических

препаратов, нормативов по содержанию токсикантов в объектах окружающей среды, для создания динамических моделей продукционных процессов и формирования урожая, а также комплексных моделей плодородия почв. Разрабатываемые на базе исследований в многофакторных опытах динамические модели с использованием ЭВМ для обработки обширного банка данных и системного подхода позволяют оценить влияние отдельных и комплекса агротехнических приемов и уровня интенсификации земледелия на урожайность сельскохозяйственных культур, качество продукции и экологическую обстановку.

Экологизация землепользования в России и организация адаптивно-ландшафтного земледелия требуют постановки принципиально новых задач. Предметом изучения должны стать все объекты ландшафтов — от агроценозов на отдельных полях до крупных территорий, представленных природными агроэкосистемами.

В связи с усилением внимания к экологическим проблемам возникла необходимость создания ландшафтных агроэкологических полигонов как нового вида полевого эксперимента, позволяющего оценить миграцию биофильных, токсичных и других веществ с поверхностными водами, смывом почвы по элементам ландшафта, устойчивость и влияние агроэкосистем на окружающую природную среду при различных уровнях интенсификации и системах земледелия, в том числе применения удобрений и пестицидов. Так, на ЦОС ВИА в Барыбино (Московская обл.) создан агроэкологический полигон на площади 22 га со склоновыми землями (размер катен 6–12 га) с длительным опытом по агроэкологической оценке четырех систем удобрения: биологической, органической, минеральной и интегрированной органо-минеральной.

Опыт заложен на северном склоне в почвозащитном севообороте, причем участок варианта с каждой системой удобрения представляет естественный водосбор, оборудованный автоматизированными системами для учета поверхностного стока воды и смыва почвы, а вдоль всей длины склона расположены стоковые площадки. На агрополигоне и прилегающей территории размещены скважины для наблюдений за грунтовыми и напорными водами, установлены датчики контроля основных агрометеопараметров.

Для наблюдения за внутрипочвенной и боковой миграцией питательных веществ почвы и удобрений, а также токсикантов на водосборах установлены лизиметры специальной конструкции применительно к склоновым землям. До закладки опыта и после каждой ротации пятипольного севооборота в почвенных образцах, отбираемых по фиксированной сетке квадратов площадью 20 × 20 м, определяют агрохимические показатели, содержание тяжелых металлов, остатки пестицидов и других токсикантов. Ведут учет и анализ химического состава атмосферных осадков, сточных и лизиметрических вод. Наблюдают за динамикой продукционно-

го процесса возделываемых культур, учитывают урожаи и его качество, определяют вынос питательных веществ растениями. Полученные данные подвергают математической обработке методом Геостатистики, позволяющим оценить пространственную вариабельность изучаемых параметров на территории полигона, выявить причинные связи варьирования от природных и антропогенных факторов, охарактеризовать точность измерений и достоверность выявленных различий в урожаях и аналитических данных.

Подобные полигоны ландшафтного агроэкологического мониторинга и стационарные многофакторные опыты на склоновых землях развернуты в ОПХ «Новосельское» ВИА в Калужской области и Центрально-Черноземном филиале этого института, в учхозе МСХА «Михайловское» в Московской области и в ряде других научных учреждений страны. В них исследуют влияние природных и антропогенных факторов на продуктивность агроценозов, баланс химических элементов и состояние агроэкосистем в условиях ландшафтного земледелия.

На современном этапе Геосетью полевых опытов и массовыми производственными полевыми опытами Госагрохимслужбы решаются также задачи научного обоснования новых передовых мало-затратных и экологически безопасных технологий и их адаптации к различным уровням интенсификации земледелия с учетом возможного ресурсного обеспечения.

Результаты исследований в Геосети полевых опытов в сочетании с материалами агрохимического обследования почв, полевых опытов и наблюдений центров и станций агрохимической службы на реперных участках служат важными источниками комплексной агроэкологической информации, значение которой и ценность постоянно возрастают.

**Демонстрационные опыты.** Проводятся агрохимической службой и формируемой в стране с участием научных учреждений и вузов Информационно-консультативной службой (ИКС) в целях распространения среди сельских товаропроизводителей и внедрения разнообразных инноваций и научных разработок в производство. В качестве примера приведем демонстрационные опыты ИКС Дмитровского района Московской области (созданной Московской сельскохозяйственной академией им. К. А. Тимирязева совместно с администрацией района и инвесторами), в которых изучают перспективные сорта и гибриды различных культур, в том числе картофеля, кукурузы на силос, озимой пшеницы, капусты и других овощных, а также новые технологии и приемы их возделывания, включая применение удобрений и пестицидов.

Эти опыты организуют сначала в крупных акционерных обществах, а затем в фермерских хозяйствах. На базе демонстрационных опытов ученые МСХА проводят семинары и дважды за вегетационный сезон — полевые дни (в середине лета с осмотром состояния посевов на опытах и перед уборкой урожая для демонст-

рации результатов применения инноваций). Проведение демонстрационно-производственных опытов способствует внедрению в хозяйствах Дмитровского района новых перспективных сортов и приемов их возделывания, эффективных и экологически безопасных технологий применения удобрений и других средств химизации на значительных площадях (Стороженко, Словцов, 1999).

#### Контрольные вопросы и задания

1. Когда в нашей стране начато формирование системы агрохимического обеспечения сельского хозяйства и создана единая Государственная агрохимическая служба? 2. Какую структуру имеет агрохимическая служба Российской Федерации? Какие задачи решают научные, научно-производственные и производственные подразделения агрохимической службы? 3. Какие организации обеспечивают научно-методическое руководство деятельностью агрохимической службы? Какие функции выполняют центры и станции агрохимической службы, производственные ее подразделения в районах и хозяйствах? 4. На каких принципах должно осуществляться совершенствование структуры и деятельности агрохимической службы страны в современных условиях? 5. Как обеспечивается и осуществляется агрохимической службой контроль за соблюдением всеми землепользователями законодательства об охране плодородия почвы и защите окружающей среды? 6. Расскажите о природоохранной роли применения удобрений и химической мелиорации почв. 7. Какие задачи решают с помощью отдельных биологических и лабораторных методов в общей системе агрохимических исследований? 8. Каково значение отдельных видов полевого опыта, ландшафтных агроэкологических полигонов и агроэкологического мониторинга в обосновании практических вопросов химизации сельского хозяйства? 9. Назовите основные методические требования, которые должны соблюдаться при проведении полевого опыта. 10. Как осуществляют выбор элементов методики полевого опыта: величины и формы деленок, повторности, системы расположения деленок на опытном участке, способов учета урожая? 11. Как составляют схемы полевых опытов с удобрениями? Что включает программа полевого опыта с удобрениями? 12. Как проводят производственные полевые опыты для оценки агрономической и экономической эффективности удобрений в условиях хозяйства? 13. Какие основные требования предъявляют при устройстве и выборе расположения лизиметров? 14. Какое значение имеют отдельные виды вегетационных опытов в изучении питания растений, свойств почв и удобрений? 15. С какой целью проводят статистическую обработку результатов опытов? 16. Какие задачи решают при проведении лабораторных опытов и модельных экспериментов? 17. Как обеспечивают поточное выполнение аналитических работ в центрах и станциях агрохимической службы?

## ПРИЛОЖЕНИЯ

#### Приложение 1

Предельно допустимые концентрации нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ) в пищевых продуктах, мг/кг сырой массы\*

Пищевые продукты	Открытый грунт	Защищенный грунт
Листовые овощи (салат, шпинат, шавель, капуста салатная, петрушка, сельдерей, укроп, кориандр)	2000	3000
Свекла столовая	1400	—
Капуста белокочанная:		
ранняя	900	—
поздняя	500	—
Лук:		
зеленый (перо)	600	800
репчатый	80	—
Перец сладкий	200	400
Кабачок	400	400
Морковь:		
ранняя	400	—
поздняя	250	—
Картофель	250	—
Огурцы	150	400
Томаты	150	300
Дыня	90	—
Арбуз, виноград столовых сортов, яблоки, груши	60	—
Продукты детского питания (овощи консервированные)	50	—

\* Здесь и в приложениях 3, 4 по СанПиН 2.3.2.560—96.

#### Приложение 2

Классификация химических элементов-загрязнителей по степени опасности

Класс опасности	Химический элемент
Первый	Мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор
Второй	Бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
Третий	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций

**ПДК тяжелых металлов в продовольственном сырье и пищевых продуктах, мг/кг**

Продукты	Cd	Hg	Pb	Zn	Cu
Зерно	0,1	0,03	0,5	50	10
Крупа, мука	0,10	0,02–0,03	0,5	50	10
Хлеб	0,05	0,01	0,3	25	5
Овощи свежие	0,03	0,02	0,5	10	5
Ягоды, фрукты свежие	0,03	0,02	0,4	10	5
Мясо и птица свежая	0,05	0,03	0,5	70	5
Яйцо	0,01	0,02	0,3	50	3
Детское питание:					
на молочной основе	0,02	0,005	0,05	5	1
зерномолочной основе	0,02	0,01	0,1	10	5
мясной и птичьей основе	0,01	0,02	0,3	50	5
рыбной основе	0,10	0,15	0,5	30	10
овощной и фруктовой основе	0,02	0,01	0,3	10	5

Приложение 4

**Временный максимально допустимый уровень (МДУ) химических элементов первого класса опасности в кормах для птиц и сельскохозяйственных животных, мг/кг корма**

Вид корма	As	Cd	Hg	Se	Pb	Zn	F
Зерно и зернофураж	0,5	0,3	0,1	0,5	5,0	50	10
Грубые и сочные корма	0,5	0,3	0,05	1,0	5,0	50	20
Корне- и клубнеплоды	0,5	0,3	0,05	2,0	5,0	100	20
Минеральные добавки	50	0,4	0,1	5,0	50	1000	2000
Комбикорма для птиц:							
откормочных	1,0	0,4	0,1	1,0	5,0	100	50
яйценоских	0,5	0,3	0,05	0,5	3,0	50	20
Комбикорма для животных:							
КРС откормочный	1,0	0,4	0,1	1,0	3,0	100	20
МРС молочный	0,5	0,3	0,05	0,5	5,0	50	10
свиньи	1,0	0,4	0,1	1,0	5,0	100	50

Приложение 5

**Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) мышьяка и тяжелых металлов в почвах с различными физико-химическими свойствами (валовое содержание), мг/кг**

Элемент	Почвы	ОДК, мг/кг	Агрегатное состояние вещества в почвах	Класс опасности	Особенности действия на организм
Мышьяк	Песчаные и супесчаные	2	Твердое: в виде солей, органоминеральных соединений, в сорбированном виде, в составе минералов	1	Ядовитое вещество, ингибирующее различные ферменты, отрицательное действие на метаболизм. Возможно канцерогенное действие
	Кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5,5$	5			
	Близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5,5$	10			

Элемент	Почвы	ОДК, мг/кг	Агрегатное состояние вещества в почвах	Класс опасности	Особенности действия на организм
Свинец	Песчаные и супесчаные	32	Твердое: в виде солей, органоминеральных соединений, в сорбированном виде, в составе минералов	1	Разностороннее негативное действие. Блокирует SH-группы белков, ингибирует ферменты, вызывает отравления, поражения нервной системы
	Кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5,5$	65			
	Близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5,5$	130			
Кадмий	Песчаные и супесчаные	0,5	То же	1	Сильно ядовитое вещество, блокирует сульфгидрильные группы ферментов, нарушает обмен железа и кальция и синтез ДНК
	Кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5,5$	1,0			
	Близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5,5$	2,0			
Цинк	Песчаные и супесчаные	55	»	1	Недостаток или избыток вызывают отклонения в развитии. Отравления при нарушении технологии внесения цинксодержащих пестицидов
	Кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5,5$	110			
	Близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5,5$	220			
Медь	Песчаные и супесчаные	33	»	2	Повышает клеточную проницаемость, ингибирует глутатионредуктазу, нарушает метаболизм, взаимодействуя с -SH, -NH <sub>2</sub> и -COOH группами
	Кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5,5$	66			
	Близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5,5$	132			
Никель	Песчаные и супесчаные	20	Твердое: в виде солей, в сорбированном виде, в составе минералов	2	Для теплокровных и человека малотоксичен. Ингибитор оксидаз. Обладает мутагенным действием
	Кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5,5$	40			
	Близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5,5$	80			

Наименьшая ширина водоохранных зон (прибрежных полос)

Тип водоема	Ширина водоохранной зоны, м
Ручьи и мелкие реки длиной до 10 км	15
Реки длиной, км:	
до 11—50	100
51—100	200
101—200	300
201—500	400
более 500	500
Озера и водохранилища (площадь акватории), км <sup>2</sup> :	
до 2,0	300
более 2,0	500

Масса 1 м<sup>3</sup> и объем 1 т различных удобрений

Удобрение	Масса 1 м <sup>3</sup> , т	Объем 1 т, м <sup>3</sup>
Суперфосфат простой	1,1	0,9
Фосфоритная мука	1,7	0,6
Преципитат	0,8	1,2
Томасшлак	2,0	0,5
Термофосфат	1,7	0,6
Сульфат аммония	0,8	1,2
Аммиачная селитра	0,8	1,2
Натриевая селитра	1,1—1,4	0,7—0,9
Сернокислый калий	1,3	0,8
Хлористый калий	0,95	1,1
Навоз коровий:		
свежий	0,3—0,5	1,4
полуперепревший	0,7—0,9	1,2
перепревший	0,8—1,0	1,0
Навозная жижа	1,0	1,0
Торф разложившийся при влаге 60 %	0,6	1,6
Зола древесная	0,4	2,5
Помет птичий	0,3	3,3
Известь молотая	1,7	0,6
Гипс	0,75	1,3

Ориентировочное расстояние между смежными проходами машин, при котором неравномерность внесения гранулированных минеральных удобрений составляет 22 %

Удобрение	Ориентировочное расстояние между смежными проходами машин, м			
	КСА-3	1-РМГ-4	РУМ-5	РУМ-8
Гранулированный суперфосфат, сложные гранулированные удобрения	10—11	11—12	12—13	13—16
Аммиачная селитра	8—9	9—10	11—12	12—14
Карбамид	6—7	6—7	7—8	8—10

Удобрение	Ориентировочное расстояние между смежными проходами машин, м			
	КСА-3	1-РМГ-4	РУМ-5	РУМ-8
Прессованный хлористый калий и сульфат аммония	7,5—8,5	8—9	9—11	
Мелкокристаллический хлористый калий, калийная соль, сульфат аммония	3,5—4,5	5—6	6—7	

Содержание основных элементов питания растений в органических удобрениях

Название удобрения	Содержание элементов питания		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<i>Твердые, содержащие более 25 % сухого вещества</i>			
Подстилочный навоз:			
КРС	0,49	0,24	0,60
свиной	0,80	0,20	0,45
Подстилочный помет птичий	1,85	1,00	0,82
Твердая фракция бесподстилочного навоза:			
КРС	0,47	0,30	0,55
свиного	0,65	0,51	0,25
Компосты:			
торф : навоз КРС (1:1)	0,45	0,20	0,40
торф : навоз свиной (1:1)	0,60	0,20	0,20
торф : птичий помет (1:5)	1,00	1,00	0,35
солома : навоз КРС (1:1)	0,40	0,30	0,60
солома : навоз свиной (1:1)	0,50	0,28	0,40
солома : помет птичий (1:1)	1,15	1,11	0,48
из бытовых отходов	0,15	0,06	0,05

*Полужидкие на основе бесподстилочного навоза и помета, содержащие 8—25 % сухого вещества*

КРС	0,48	0,26	0,50
Свиной	0,65	0,47	0,21
Помет птичий	1,20	1,00	0,64

*Навозные стоки животноводческих предприятий, содержащие менее 3 % сухого вещества*

КРС	0,06	0,03	0,07
Свиной	0,08	0,02	0,04

*Удобрения из растительного сырья*

Солома	0,60	0,30	1,10
Зеленое удобрение	0,45	0,13	0,38
Прочие растительные остатки	0,28	0,18	0,41

## Средний вынос питательных веществ урожаями культур

Культура	Основная продукция	Вынос на 1 ц основной продукции с учетом побочной, кг		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Зерновые				
Озимая пшеница	Зерно	3,0	1,1	2,5
Яровая пшеница	»	3,2	1,3	2,3
Озимая рожь	»	2,8	1,3	2,7
Ячмень	»	2,5	1,0	2,0
Овес	»	2,9	1,4	2,7
Кукуруза	»	3,0	1,0	3,1
Просо	»	3,3	1,0	3,3
Гречиха	»	3,0	1,5	3,9
Зернобобовые				
Горох	Зерно	6,6*	1,5	2,0
Вика	»	6,2*	1,3	1,6
Люпин	»	6,8*	1,9	4,7
Кормовые бобы	»	6,6*	1,8	5,2
Прядильные и масличные				
Лен-долгунец	Волокно	8,0	4,0	7,0
	Соломка	1,4	0,7	1,2
Подсолнечник	Семена	6,0	2,6	18,6
Рапс озимый	»	4,9	2,3	3,0
Рапс яровой	»	5,0	3,5	9,0
Корнеклубнеплоды				
Катофель	Клубни	0,6	0,2	0,9
Свекла сахарная	Корнеплоды	0,6	0,2	0,8
Свекла кормовая	»	0,4	0,1	0,7
Морковь кормовая	»	0,4	0,2	0,7
Брюква	»	0,6	0,3	0,8
Турнепс	»	0,5	0,2	0,6
Травы				
Клевер — люцерна	Сено	2,28*	0,59	1,59
Тимофеевка	»	0,16	0,75	2,20
Клевер	»	1,98*	0,59	1,50
Люцерна	»	2,60*	0,65	1,50
Вика	»	2,30*	0,62	1,10
Вика-овес	»	1,0	0,50	2,00
Клевер-тимофеевка	»	1,76*	1,25	1,75
Естественные сенокосы	»	2,70	1,25	4,50

\* Бобовые культуры 1/3 азота выносят из почвы, 2/3 — фиксируют из воздуха.

## Мероприятия по использованию почв в зависимости от их загрязнения тяжелыми металлами

Уровень содержания и загрязнения	Мероприятие
Содержание: очень низкое, низкое	Для биологически важных элементов (цинк, медь и др.) необходимы микроудобрения или добавки в корма в зависимости от содержания подвижных форм соединений элементов в почвах и содержания их в продукции
среднее	Не требуются
повышенное	Устранение влияния источника загрязнения и периодический контроль за почвами и продукцией
высокое	Обязательное устранение влияния источника загрязнения, постоянный контроль за содержанием тяжелых металлов в почвах и продукции
очень высокое (низкий уровень загрязнения)	Подбор сельскохозяйственных культур, не накапливающих тяжелые металлы, комплекс агротехнических мер по уменьшению поступления тяжелых металлов в продукцию (известкование, применение органических и минеральных удобрений); исключить выращивание зеленных культур и овощей
Загрязнение: среднее	Выращивание культур, не накапливающих тяжелые металлы (зерновые на зерно, семенники трав, технические культуры, саженцы плодовых и ягодных культур, цветоводство) с обязательным применением комплекса агротехнических мер по снижению поступления тяжелых металлов в продукцию
высокое, очень высокое	Исключить выращивание культур для продовольственных целей. Необходимы дополнительные разработки по рекультивации почв

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
<b>Глава 1. Агрохимия — научная основа интенсификации земледелия с помощью удобрений</b> .....	5
1.1. Задачи и методы агрохимии .....	5
1.2. Краткая история развития агрохимии .....	10
1.3. Значение удобрений и применение их в сельском хозяйстве .....	16
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	22
<b>Глава 2. Химический состав и питание растений</b> .....	23
2.1. Химический состав растений и качество урожая .....	23
2.1.1. Содержание в растениях сухого вещества и основных органических соединений .....	23
2.1.2. Элементный состав растений .....	33
2.1.3. Сертификация растениеводческой продукции .....	36
2.2. Питание растений и влияние факторов внешней среды на поглощение питательных веществ .....	37
2.2.1. Воздушное питание растений .....	38
2.2.2. Корневое питание растений .....	39
2.3. Влияние условий минерального питания на рост, развитие и продуктивность растений .....	47
2.4. Динамика потребления и вынос элементов питания сельскохозяйственными культурами .....	55
2.4.1. Динамика потребления питательных веществ растениями в ходе вегетации .....	55
2.4.2. Вынос элементов питания с урожаем сельскохозяйственных культур .....	57
2.5. Растительная диагностика питания сельскохозяйственных культур .....	62
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	68
<b>Глава 3. Агрохимические свойства и плодородие почвы</b> .....	69
3.1. Состав и поглощательная способность почвы .....	69
3.2. Реакция и буферная способность почвы .....	80
3.3. Содержание питательных элементов в почве и их доступность растениям .....	85
3.4. Агрохимическое обследование и сертификация почв .....	94
3.5. Агрохимическая характеристика основных типов почв и общее состояние земельного фонда Российской Федерации .....	104

3.5.1. Агрохимическая характеристика основных типов почв .....	104
3.5.2. Общее состояние земельных ресурсов России .....	105
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	115
<b>Глава 4. Химическая мелиорация почв</b> .....	116
4.1. Известкование кислых почв .....	116
4.1.1. Отношение различных растений к реакции почвы и известкованию .....	116
4.1.2. Влияние извести на свойства и питательный режим почвы .....	119
4.1.3. Определение нуждемости кислых почв в известковании и допозвести .....	122
4.1.4. Известковые удобрения .....	125
4.1.5. Сроки и способы внесения извести, эффективность известкования .....	127
4.1.6. Агротехнические требования и экологические ограничения при проведении известкования .....	130
4.2. Гипсование солонцов .....	131
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	135
<b>Глава 5. Минеральные удобрения</b> .....	136
5.1. Классификация удобрений .....	136
5.2. Производство и ассортимент минеральных удобрений .....	140
5.2.1. Азотные удобрения .....	141
5.2.1.1. Нитратные удобрения .....	143
5.2.1.2. Аммонийные и аммиачные удобрения .....	146
5.2.1.3. Аммонийно-нитратные удобрения .....	149
5.2.1.4. Мочевина .....	150
5.2.1.5. КАС — водные растворы аммиачной селитры и мочевины .....	151
5.2.1.6. Баланс азота в земледелии России. Пути снижения потерь и повышения эффективности азотных удобрений .....	155
5.2.2. Фосфорные удобрения .....	157
5.2.2.1. Суперфосфат .....	160
5.2.2.2. Цитратнорастворимые формы .....	162
5.2.2.3. Фосфоритная мука .....	164
5.2.2.4. Баланс фосфора в земледелии России. Пути повышения эффективности фосфорных удобрений .....	168
5.2.3. Калийные удобрения .....	169
5.2.3.1. Промышленные калийные удобрения .....	172
5.2.3.2. Местные калийсодержащие материалы .....	174
5.2.3.3. Условия эффективного применения калийных удобрений. Баланс калия в земледелии .....	177
5.2.4. Микроудобрения .....	182
5.2.5. Комплексные удобрения .....	183
5.2.5.1. Сложные удобрения .....	184
5.2.5.2. Сложно-смешанные, или комбинированные, удобрения .....	187
5.2.5.3. Смешанные удобрения .....	191
5.3. Сертификация минеральных удобрений .....	194
5.4. Транспортировка, хранение и внесение минеральных удобрений, агроэкологические требования .....	194



5.5. Безопасность жизнедеятельности при работе с минеральными удобрениями .....	203
Контрольные вопросы и задания .....	204
<b>Глава 6. Органические удобрения</b> .....	206
6.1. Навоз .....	206
6.1.1. Подстилочный навоз .....	207
6.1.2. Бесподстилочный навоз .....	218
6.2. Навозная жижа .....	223
6.3. Птичий помет .....	224
6.4. Торфяные компосты .....	226
6.5. Нетрадиционные органические удобрения .....	229
6.5.1. Сапропель, бытовые отходы .....	230
6.5.2. Гидролизный (технический) лигнин .....	231
6.5.3. Древесная кора и опилки .....	231
6.5.4. Гуминовые препараты и биогумус .....	231
6.5.5. Солома зерновых злаковых культур .....	233
6.6. Агроэкологические требования при внесении органических удобрений .....	234
6.7. Зеленое удобрение .....	235
Контрольные вопросы и задания .....	238
<b>Глава 7. Система удобрения</b> .....	240
7.1. Основные принципы построения системы удобрения .....	240
7.1.1. Понятие о системе удобрения и уровнях интенсивности технологий .....	240
7.1.2. Почвенно-климатические и ландшафтные условия применения удобрений .....	245
7.1.3. Особенности питания отдельных культур и применения удобрений в севооборотах .....	248
7.1.4. Биологический азот и продуктивность севооборотов .....	250
7.1.5. Сочетание органических и минеральных удобрений .....	252
7.1.6. Уровень интенсификации производства и применение удобрений .....	254
7.2. Определение потребности в минеральных удобрениях и их доз .....	259
7.2.1. Определение потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях .....	259
7.2.2. Определение доз минеральных удобрений .....	262
7.3. Способы внесения удобрений .....	278
7.4. Предварительная оценка экономической эффективности применения удобрений .....	282
7.5. Удобрение важнейших сельскохозяйственных культур в севооборотах .....	285
7.5.1. Озимая пшеница и озимая рожь .....	285
7.5.2. Яровая пшеница, ячмень и овес .....	292
7.5.3. Крупяные культуры .....	298
7.5.4. Кукуруза .....	299
7.5.5. Зерновые бобовые культуры .....	302
7.5.6. Многолетние травы .....	305

7.5.7. Лен-долгунец .....	310
7.5.8. Картофель .....	311
7.5.9. Сахарная свекла .....	318
7.5.10. Подсолнечник .....	320
7.5.11. Особенности системы удобрения в овощных севооборотах .....	323
Контрольные вопросы и задания .....	

<b>Глава 8. Агрохимическое обслуживание сельскохозяйственного производства</b> .....	326
8.1. Система агрохимического обслуживания сельского хозяйства .....	326
8.2. Агрохимическая служба и охрана окружающей среды .....	331
8.3. Методы агрохимических исследований .....	331
8.3.1. Полевой опыт .....	360
8.3.2. Лизиметрический метод .....	363
8.3.3. Вегетационный метод .....	366
8.3.4. Лабораторные методы исследований .....	368
8.4. Состояние и развитие опытного дела в России .....	372
Контрольные вопросы и задания .....	373
<b>Приложения</b> .....	