

# Агрохимия

Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко

Б. А. ЯГОДИН,  
Ю. П. ЖУКОВ,  
В. И. КОБЗАРЕНКО

# АГРОХИМИЯ

*Издание третье, стереотипное*

ДОПУЩЕНО  
Министерством сельского хозяйства РФ  
в качестве учебника для студентов вузов,  
обучающихся по агрономическим специальностям



ЛАНЬ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • МОСКВА • КРАСНОДАР  
2021



УДК 631  
ББК 40.4я73

**Я 30 Ягодин Б. А.** Агрохимия : учебник для вузов /  
Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. — 3-е изд.,  
стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 584 с. — Текст :  
непосредственный.

**ISBN 978-5-8114-8478-2**

В учебнике изложены теоретические основы питания растений, свойства почвы и их значение для правильного применения удобрений, методы химической мелиорации почв, состав и взаимодействие с почвой минеральных и органических удобрений, системы удобрения в севообороте. Рассмотрены методы исследований и методика опытного дела в агрохимии, диагностика минерального питания растений, технология внесения удобрений, применение удобрений в связи с охраной окружающей среды, экологическая агрохимия.

Для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки «Агрохимия и агропочвоведение», «Агрономия», «Садоводство».

УДК 631  
ББК 40.4я73

**Рецензенты:**

*В. Н. ЕФИМОВ* — доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор, академик РАСХН;  
*А. С. ПИСКУНОВ* — доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор, академик РАН.

**Обложка**  
*Е. А. ВЛАСОВА*

© Издательство «Лань», 2021  
© Коллектив авторов, 2021  
© Издательство «Лань»,  
художественное оформление, 2021

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

●

Агрономическая химия, или агрохимия, — наука о взаимодействии растений, почвы и удобрений в процессе выращивания сельскохозяйственных культур, о круговороте веществ в земледелии и использовании удобрений для увеличения урожая, улучшения его качества и повышения плодородия почвы. Современная агрохимия — теоретическая биологическая и химическая дисциплина, имеющая прямую связь с практикой сельскохозяйственного производства.

Агрохимия по праву занимает центральное место среди агрономических дисциплин, так как применение удобрений — эффективное средство развития и совершенствования растениеводства. Значение агрохимии усиливается в связи с тем, что она изучает все воздействия на растения и приемы их выращивания.

Главная задача агрохимии — управление круговоротом и балансом химических элементов в системе почва — растение. Классик отечественной агрохимии академик Д. Н. Прянишников считал задачами агрохимии изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех мер воздействия на химические процессы, протекающие в почве и растениях, которые могут повышать урожай или изменять его состав. Применение удобрений — главный способ вмешательства человека в этот круговорот (рис. 1).

Задача современного агрохимика состоит в определении точных параметров круговорота всех биогенных элементов с учетом зон выращивания и специфики различных сельскохозяйственных растений и их сортов при заданных уровнях продуктивности (рис. 2).

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

Агрохимия играет важную роль в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур, создании оптимальных уровней всех факторов, участвующих в фор-



Рис. 1. Треугольник  
Прянишникова

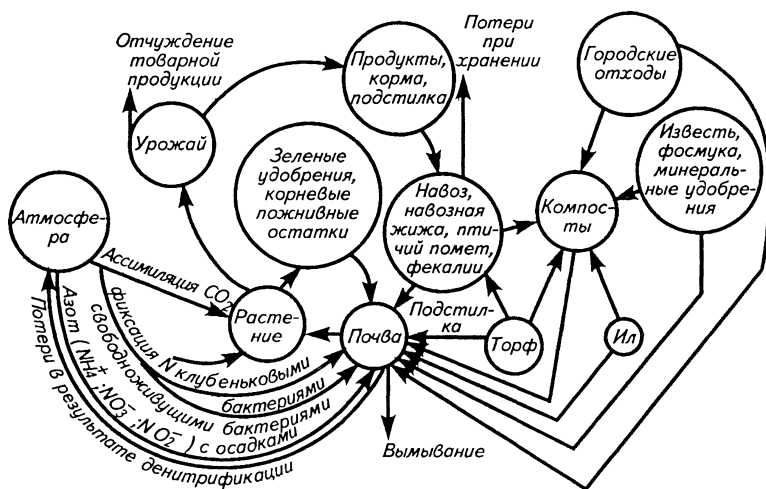


Рис. 2. Круговорот веществ

мировании урожая, в их наиболее благоприятном сочетании. Получение максимального экономически выгодного урожая базируется на использовании лучших сортов, обеспечении необходимых физических и химических свойств почв, комплексном применении средств химизации в период вегетации растений, своевременном и качественном выполнении всех агротехнических работ.

Агрохимия как наука развивается чрезвычайно быстро. Это определяется необходимостью постоянно увеличивать продуктивность сельскохозяйственных культур, улучшать технологии их возделывания и соблюдать требования охраны окружающей среды.

Минеральное питание — один из основных регулируемых



факторов, используемых для целенаправленного управления ростом и развитием растений с целью создания высокого урожая хорошего качества. Регулирование других факторов роста — света, тепла и влаги — широко применяют в защищенном грунте. Изменять влажность в полевых условиях можно при искусственном орошении и осушении агротехническими приемами. В сельскохозяйственном производстве, как правило, приходится лишь приспосабливаться к определенному уровню солнечной радиации, подбирая соответствующие культуры, сорта и приемы агротехники.

Главная задача земледелия — эффективное использование солнечной энергии для создания органического вещества. Уникальным аппаратом для этого служит растение, содержащее хлорофилл.

Наземные растения ежегодно извлекают из атмосферы ориентировочно 20 млрд т углерода в форме  $\text{CO}_2$  (1300 кг на 1 га), а вся совокупность растений, включая морские водоросли, — около 150 млрд т. Только наземные растения ежегодно перерабатывают  $42^{17}$  кДж космической энергии (свет) в продукты ассимиляции.

Однако коэффициенты использования на создание органического вещества растениями энергии ФАР (фотосинтетически активной радиации,  $\lambda$  380—720 нм), составляющей 47—49 % интегральной солнечной радиации, весьма низки. Обычно в посевах коэффициенты использования ФАР не превышают 0,5—3 %. Максимально возможным для фотосинтеза, идущего при солнечном свете, считается КПД ФАР 28 %. Наиболее интенсивное накопление биомассы — до 700 кг/га в сутки — наблюдается в фитоценозах при хороших условиях освещенности, температуры и водоснабжения, высоком уровне минерального питания и составляет до 14 % приходящейся за день на посев энергии ФАР.

Человек не может активно влиять на поток солнечной радиации; трудно изменить и другие необходимые для жизнедеятельности растений факторы. Применение удобрений — эффективное средство повышения урожайности растений и улучшения круговорота веществ в земледелии.

В практике сельскохозяйственного производства более сбалансированное питание растений достигается путем применения удобрений, известкования и гипсования почвы. Из этого следует, что в области теории важнейшая проблема агрохимии — решение вопросов управления продуктивностью растений и качеством получаемой растительной продукции путем обеспечения оптимального уровня минерального питания в течение всей вегетации и в связи с этим разработка методов оперативной диагностики. Сложность решения данной проблемы заключается в необходимости точного

учета изменяющихся потребностей растений в элементах питания в период роста, учета наследственных возможностей культивируемых сортов и постоянно изменяющегося комплекса почвенно-климатических факторов жизнеобеспечения растений.

С минеральным питанием растений в условиях недостатка или избытка химических элементов в почве связано много важных эколого-физиологических проблем. Для сбалансированного питания растений в целях получения максимальных сборов высококачественной сельскохозяйственной продукции особенно важен строго дифференцированный подход к применению удобрений с учетом обеспеченности почв доступными формами элементов, других почвенно-климатических факторов, особенностей питания различных сельскохозяйственных культур.

---

## Глава 1

# ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АГРОХИМИИ И ХИМИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

●

### 1.1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

Знания о повышении плодородия почв с помощью разнообразных удобрительных средств накапливались в результате практической деятельности многих поколений земледельцев. Унавоживание почвы и внесение в нее различных хозяйственных отходов для повышения урожая возделываемых культур используется человечеством на протяжении тысячелетий. Уже во времена Римской империи применяли зеленое удобрение (запашка массы растений для улучшения плодородия почв в Египте), было известно об удобрительном действии золы, извести (мергеля), гипса. Однако суть этих приемов оставалась неизвестной, и предстоял долгий и сложный путь к раскрытию тайн питания растений.

Философы-материалисты Древней Греции на основе чисто умозрительных заключений говорили о том, что для жизни растений необходимы огонь, земля, вода и воздух. Они были недалеки от истины, поскольку солнце (огонь) действительно является источником света и энергии для фотосинтеза растений, земля — источником минеральных элементов питания, воздух — диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ), а вода — это не только составная часть зеленых растений, на долю которой приходится не менее 3/4 их массы, но и важнейший фактор и участник всех основных процессов жизнедеятельности организма.

У древних авторов существовало представление о «жирах» почвы, от которых зависит ее плодородие. Эти представления в дальнейшем нашли развитие в гумусовой теории питания растений.

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

Почти через 100 лет опытами немецкого химика И. Глаубера (1656) было показано, что добавление селитры к почве оказывает сильное действие на повышение урожая растений. Однако ученые XVII в. не смогли этого оценить, так как до открытия азота оставалось еще более 100 лет, а роль азота в жизни растений установлена значительно позже.



Оригинальные мысли о воздушном питании растений были высказаны М. В. Ломоносовым в 1753 г.: «Преизобильное рашение тучных дерев, которые на бесплодном песку корень свой утвердили, ясно изъясляет, что жирными листьями жирный тук из воздуха впитывают».

Связь воздушного и корневого питания растений была отмечена французским химиком А. Лавуазье, открывшим в 1775 г. наличие азота в атмосфере. Он писал: «Растения почерпают материалы, необходимые для своей организации, в воздухе, который их окружает, в воде, вообще в минеральном царстве».

Благодаря практическим запросам земледелия зарождались первые знания в области корневого минерального питания растений.

Русский агроном профессор И. М. Комов (1750—1792) в книге «О земледелии» подробно излагает значение отдельных сельскохозяйственных культур, говорит о необходимости удобрения «худой» земли, подчеркивает значение навоза не только как удобрения, но и его роль в сохранении влаги в почве, в улучшении структуры почвы. И. М. Комов отмечал также важную роль извести для повышения урожаев сельскохозяйственных культур.

Эти высказывания близки мыслям А. Т. Болотова (1738—1833), который в статье «О навозных солях» отмечал, что доступные растениям питательные вещества образуются из органических удобрений.

Роль «щелочно-соляных веществ», т. е. минеральных веществ, для питания растений изложил русский ученый А. П. Пошман (1792—1852) в книге «Наставление о приготовлении сухих и влажных туков, служащих к удобрению пашен».

М. Г. Павлов (1793—1840) считал, что удобрить почву — значит сделать ее более плодородной, улучшить физические свойства, устранить кислотность или ускорить разрушение органических веществ почвы.

В области минерального питания интересные взгляды излагались в конце XVIII столетия (1789) Рюккертом, отмечавшим, что каждое растение требует особого состава почвы, на которой оно удастся всего лучше, и что некоторые растения при многолетней культуре без перерыва очень истощают поле. При этом он указывал на возможность устранения такого истощения с помощью удобрения, которое содержит преимущественно недостающее вещество.

В конце XVIII в. в Западной Европе была распространена гумусовая теория питания растения, выдвинутая в 1761 г. шведским химиком Валериусом. Верные суждения о большом значении гумуса для плодородия почвы сочетались в этой теории с неправильным представлением о том, что гумус является единственным веществом почвы, могущим служить пищей для растений.

Поскольку значение минеральных солевых солей в питании

растения уже трудно было отрицать, Валериус предположил, что они способствуют растворению гумуса (который, как он ошибочно полагал, непосредственно усваивается через корни).

В 1836 г. благодаря работам французского ученого Ж. Буссенго было положено начало изучению круговорота питательных веществ в земледелии и установлен факт накопления азота в почве бобовыми культурами. Вместо гумусовой теории Ж. Буссенго разработал азотную теорию питания, указал на первостепенное значение азота в земледелии и показал, что культура клевера (бобовых) в севообороте приводит к улучшению азотного баланса и к значительному увеличению урожая. Он высказал предположение, что бобовые усваивают азот из воздуха. Одновременно в его работах было показано, что количество углерода в урожае не связано с его количеством в навозе, а источником углерода для растений служит диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) воздуха.

Коренной поворот во взглядах на питание растений вызвало появление в 1840 г. книги немецкого ученого Ю. Либиха «Химия в приложении к земледелию и физиологии», в которой давалась уничтожающая критика гумусовой теории и была сформулирована теория минерального питания растений. Ю. Либих объяснил причину истощения почвы и выдвинул теорию удобрения почв для поддержания плодородия, основанную на полном возврате в почву всех взятых из нее минеральных веществ. Позднее К. А. Тимирязев отмечал, что учение о необходимости возврата — одно из величайших приобретений науки.

Показав, что истощение почвы различными элементами питания идет неравномерно, Ю. Либих сформулировал «закон минимума», по которому высота урожая зависит от количества минимального (т. е. наиболее недостающего) фактора. Например, если при выращивании кукурузы недостает азота или цинка, то сколько бы ни вносили фосфора, калия и других элементов, они не смогут поднять урожай.

Ю. Либих привлек внимание к изучению вопросов круговорота веществ и баланса элементов минерального питания. В наши дни эти проблемы являются основными и с точки зрения агрохимии, и с точки зрения охраны окружающей среды.

Работы Ю. Либиха принесли большую пользу, однако его взгляды не были лишены некоторых ошибок. Так, Ю. Либих считал, что растения получают достаточное количество азота с осадками из атмосферы. Обогащение почвы азотом бобовыми растениями Ю. Либих объяснял тем, что они за долгий период роста поглощают больше аммиака из воздуха и больше поглощают азота, поступающего с осадками.

Мнение Ю. Либиха о том, что зольные вещества важны, а об азоте можно не беспокоиться, опроверглось многовековой практикой удобрения полей навозом.

Важное значение для развития теории минерального питания

имели опыты с выращиванием растений на бесплодных средах (воде или песке) при введении необходимых питательных веществ в виде минеральных солей. В 1858 г. Кноп и Сакс сумели довести растения при выращивании на искусственных питательных средах с использованием минеральных солей до полного созревания.

Исследования Гельригеля (1886) с бобовыми выявили способность этих культур усваивать молекулярный азот атмосферы с помощью развивающихся на их корнях клубеньковых бактерий.

Опытами с выращиванием растений на питательных смесях из минеральных солей была доказана потребность растений в азоте, фосфоре, калии, кальции, магнии, сере, а в последующем — в отдельных микроэлементах, показаны равноценность и незаменимость каждого из элементов минерального питания для растений.

Параллельно с развитием теории питания растений в сельском хозяйстве начинается применение минеральных удобрений. В середине XIX в. в практику сельскохозяйственного производства вошли два минеральных удобрения: чилийская селитра и суперфосфат. В 1865 г. в Стассфурте стали добывать калийные соли.

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

Профессор А. Н. Энгельгардт (1832—1893), выдающийся демократический деятель того времени, автор писем «Из деревни» и «Химических основ земледелия», был горячим пропагандистом применения удобрений. А. Н. Энгельгардтом были выполнены работы по использованию фосфоритной муки в качестве фосфорных удобрений в Смоленской губернии. Важное значение А. Н. Энгельгардт придавал зеленому удобрению. Он отмечал, что фосфоритная мука и сидерация — средства для приведения в культурное состояние громадных масс северных земель. А. Н. Энгельгардт был активным сторонником и пропагандистом применения известкования и минеральных удобрений в сочетании с органическими удобрениями.

Активно работал в области земледелия русский химик Д. И. Менделеев (1834—1907). Он создал опытные станции по изучению действия удобрений в Петербургской, Московской, Смоленской и Симбирской губерниях. Выступая за создание научных основ отечественной агрономии, он считал необходимым проводить опыты с применением искусственных удобрений. В то же время Д. И. Менделеев — сторонник всестороннего подхода к повышению продуктивности земледелия. Он писал: «Я восстаю против тех, кто печатно и устно проповедует, что все дело в удобрениях, что, хорошо удобряя, можно и кое-как пахать».

Д. И. Менделеев провел первые полевые опыты по улучшению эффективности удобрений в различных районах страны, т. е. зало-



жил основы Географической сети полевых опытов для выяснения закономерностей в действии удобрений по почвенно-климатическим зонам.

В 1884 г. вышла в свет книга одного из основоположников русской агрономической науки П. А. Костычева «Учение об удобрении», в которой он критиковал «теорию полного возврата», выдвинутую Ю. Либихом. П. А. Костычев отмечал, что плодородие почвы зависит не только от количества в ней питательных веществ, но и от структуры почвы и других ее физических свойств. Структуру почвы он связывал с накоплением перегноя. Им выполнены работы по характеристике фосфатного режима почв.

Профессор Г. Г. Густавсон (1843—1908) в книге «Двадцать лекций по агрономической химии» изложил вопросы химии почв и удобрений, анализа почв, удобрений, кормов.

В создании научных основ агрохимии большое значение имели классические исследования К. А. Тимирязева (1843—1920), внедрение им в научную практику методики вегетационных опытов. К. А. Тимирязев высоко ценил опытную работу. В 1872 г. он построил первый в России вегетационный домик.

Задачи, сформулированные К. А. Тимирязевым применительно к земледелию, в полной мере относятся и к современной агрохимии. Основной научной задачей земледелия он считал изучение особенностей выращивания сельскохозяйственных растений, тщательный учет требований культурных растений к условиям внешней среды. Углубляясь в теоретические вопросы физиологии растений и ведя работы по ассимиляции в области, граничащей с физикой, К. А. Тимирязев одновременно не забывал об интересах земледелия и всегда подчеркивал близость агрономической химии к физиологии растений. К. А. Тимирязев всегда боролся с узким практицизмом, мешающим глубине научного исследования.

Наиболее ярко выражено отношение К. А. Тимирязева к агрономической химии в его книге «Земледелие и физиология растений» (1937). Книга представляет собой сборник избранных лекций, речей и переводов конца XIX — начала XX в. и посвящена учителю К. А. Тимирязева агрохимику Ж.-Б. Буссенго. «Живется хорошо растению — хорошо живется человеку; гибнет растение — неминуемое бедствие грозит и человеку», — писал К. А. Тимирязев в этой книге. Отсюда следует важный вывод: для того чтобы накормить человека, необходимо накормить растение, а это практическое применение агрохимии: «... все задачи агрономии, если вникнуть в их сущность, сводятся к определению и возможно точному осуществлению условий правильного питания растений».

В понимании К. А. Тимирязева наука «агрохимия» немыслима в изоляции от смежных отраслей естествознания. Он постоянно указывал на неразрывную связь агрономической химии с физиологией растений и земледелием. Родство агрохимии и физиологии растений очевидно: вторую К. А. Тимирязев считал дочерью пер-

вой. Именно эти две дисциплины определили прогресс земледелия в XIX в.

«Успехи агрономической химии, появление новых методов расширяют область науки, но только проверка непосредственно на растении сообщает полную достоверность ее объяснениям и выводам. Земледелие стало тем, что оно есть, только благодаря агрономической химии и физиологии растений; это очевидно а priori (само собою) и доказывается самой историей». Касаясь взаимосвязи и взаимозависимости наук, К. А. Тимирязев проводит удачную аналогию: физиология животных — медицина, физиология растений (физиология питания) — агрономия: «подобно тому как физиология животных обязана своим началом медицинским школам, так физиология растений будет в значительной мере обязана своим развитием агрономическим школам, и в настоящее время сельскохозяйственные академии, опытные станции, кафедры агрономической химии едва ли не важнейшие центры, в которых развивается физиология растений, в особенности же физиология питания».

К. А. Тимирязев в XIX в. впервые в мире начал читать лекции по земледельческой химии. Он так определял главную задачу агрономической химии: «Она имеет своим предметом изменения и превращения вещества, связанные с ростом и питанием растений», т. е. именно то, что составляет главное содержание еще почти не существовавшей в то время физиологии растений.

Интересна и оригинальна для того времени трактовка К. А. Тимирязевым и самого земледелия. Понимая сложность возделывания культурных растений, он отмечает, что «... нигде, быть может, ни в какой другой деятельности не требуется взвешивать столько разнообразных условий успеха, нигде не требуется таких многосторонних сведений, нигде увлечение односторонней точкой зрения не может привести к такой крупной неудаче, как в земледелии», поэтому земледелие необходимо сделать научным и рациональным, а научным оно становится, если его основой является физиология растений и агрономическая химия. Согласно философии К. А. Тимирязева знание как цель — это наука, знание как средство — это искусство. «Искусство же земледелия, искусство, опирающееся на точные данные науки, состоит в том, чтобы освободить растение, а следовательно, и земледельца от власти земли». Единство теории и практики земледелия К. А. Тимирязев видит в следующем: «Узнать потребность растения — вот область теории; прибыльно... удовлетворить эти потребности — вот главная забота практики».

К. А. Тимирязевым положено начало целому направлению в агрохимии — листовой диагностике минерального питания. «Вы подумайте только, когда растение голодно, оно само звонит, чтобы его накормили.» Он, пожалуй, первым в России начал исследовать физиологическую и биохимическую роль микроэлементов в жиз-

ни растений. Об этом свидетельствуют результаты его опытов по изучению влияния железа, никеля, марганца, кобальта и цинка на превращение филоксантина в хлорофиллин. Впоследствии эти и подобные исследования дали начало агрохимии микроэлементов.

Развитие агрохимии в нашей стране неразрывно связано с деятельностью Д. Н. Прянишникова (1865—1948). В 1887 г. Дмитрий Николаевич поступил учиться в Петровскую академию и остался в ней на всю жизнь. Здесь он получил степень магистра агрономии (1890), профессорствовал (1895—1948), здесь (впервые в мире) ввел в практику студентов постановку вегетационных опытов (1896), замещал директора по учебной части (1907—1913), а затем и сам стал директором (1916). Именно в «Петровке» он до последних дней своих оставался во главе созданной им кафедры агрономической и биологической химии.

Практическое применение агрохимии, которая служит теоретической базой химизации земледелия, Д. Н. Прянишников рассматривал как мощное средство повышения производительности труда. А зачем это было необходимо, если Россия, издавна считавшаяся аграрной страной, вывозила хлеб в другие страны? Ответ мы находим в трудах Д. Н. Прянишникова. Дело не в том, что Россия из года в год собирала высокие урожаи хлебов, а в том, что она была аграрной страной только по составу населения, страной, в которой крестьяне питались по-вегетариански (вспомним С. Есенина, описывающего благополучную деревню: «...по праздникам — мясо и квас...»). Другие страны, например Германия, покупали русский хлеб, чтобы скормливать его скотине, получая при этом 1 фунт мяса из 4—5 фунтов зерна (средний урожай пшеницы в период 1908—1912 гг. в России составлял 45 пудов, в Германии — 140 пудов).

Д. Н. Прянишников отмечал, что: «Россия должна избежать противоречия между улучшением питания населения и экспортом», а для этого необходимо «создать действительные избытки хлеба». Каким образом? Средствами обработки почвы, механизацией или «химификацией», как в то время называли применение минеральных удобрений, или другими приемами? Не умаляя других средств повышения урожаев, Дмитрий Николаевич выбрал химификацию. Он умел выбирать главное; впоследствии выяснилось, что применение удобрений обеспечивает по крайней мере половину прибавки урожаев от интенсивных приемов.

Научные интересы Д. Н. Прянишникова отличались широтой охватываемых вопросов. Под его руководством изучали фосфорное питание растений, в частности усвоение растениями фосфора из фосфоритов и применение фосфоритной муки в качестве удобрения.

В связи с разработкой Соликамских калийных залежей Д. Н. Прянишников и его ученики выполнили ряд работ по использованию растениями калийных солей. Он всегда уделял большое



внимание изучению роли биологического азота в земледелии, подчеркивал необходимость использования органических удобрений. Д. Н. Прянишников организовал работы по изучению действия микроэлементов на растения. Он доказал, что аммонийные соли являются равноценным источником азотного питания для растения, как и соли азотной кислоты. Были установлены условия, при которых снабжение растений аммонийными солями не приводит к нежелательным вторичным эффектам. Эти работы имели чрезвычайно важное значение, так как способствовали решению вопроса о применении аммонийных солей в качестве азотных удобрений.

Преобразование азотистых веществ у растений Д. Н. Прянишников начал изучать с распада белковых веществ и дальнейших превращений продуктов распада. Было известно, что при прорастании семян, богатых белковыми веществами, образуется большое количество аспарагина. Д. Н. Прянишников доказал, что при распаде белков образуются аминокислоты, от которых в дальнейшем отщепляется аммиак. При прорастании семян образующийся аммиак связывается в виде аспарагина и таким образом переводится в неядовитое соединение, а аспарагин в растениях может вновь использоваться в процессах биосинтеза. Д. Н. Прянишников назвал аспарагин «обезвреженным аммиаком». Эти работы показали наличие тесной связи между азотным и углеводным обменом. Изучая азотнокислый аммоний, соль, в которой сочетаются аммиак и нитрат, Д. Н. Прянишников назвал «удобрением будущего».

Огромное значение для решения практических вопросов применения удобрений, развития азотно-туковой промышленности в нашей стране имели классические исследования Д. Н. Прянишникова по азотному обмену и питанию растений, а также его работы по использованию калийных и местных (навоз, торф, зола) удобрений, известкованию почв. Много труда Д. Н. Прянишников затратил на изучение сроков, доз и способов внесения удобрений, размещения их в севооборотах, удобрения отдельных культур.

Предметом постоянной заботы Дмитрия Николаевича было агрохимическое образование. Он никогда не противопоставлял учебное образование и научную работу. Часто цитируя высказывание Пирогова о том, что «научное и светит и греет», а «учебное без научного — только блеснит», он строил учебный процесс таким образом, чтобы самостоятельные исследования студентов занимали в обучении видное место. Правильное соотношение научного и учебного процессов в понимании Д. Н. Прянишникова наилучшим образом характеризует девиз его научно-педагогической деятельности: «Исследуя — учим».

Как и большинство выдающихся ученых, Д. Н. Прянишников мог по праву гордиться огромной армией своих учеников: практически все отечественные специалисты-агрономы, не говоря об агрохимиках, в той или иной степени учились у него. Среди его уче-

ников гордость отечественной науки академик Н. И. Вавилов — великий сеятель, агроном, растениевод, географ, эколог, историк, этнограф, генетик, селекционер, оставивший миру замечательные творения в области происхождения, изменчивости, иммунитета и экологии растений, оценивший, насколько это было возможно, ресурсы мировой флоры для использования в народном хозяйстве.

Под редакцией Д. Н. Прянишникова вышло 17 томов сборника «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ». При его активном участии были организованы Научный институт по удобрениям при ВСНХ, Всесоюзный институт удобрений, агротехники и агропочвоведения, Центральный научно-исследовательский институт сахарной промышленности. Фундаментальные труды Д. Н. Прянишникова, в том числе «Агрохимия» и «Азот в жизни растений и земледелии СССР», до настоящего времени используют для подготовки специалистов как в нашей стране, так и за рубежом.

Благодаря плодотворной научной деятельности Д. Н. Прянишникова и созданной им российской школы агрохимиков агрохимия в нашей стране развивается на физиологической и биохимической основе, тесно связана с практическими задачами химизации земледелия. Трудami Д. Н. Прянишникова, его соратников и учеников утвержден приоритет отечественной науки в решении многих проблем агрохимии.

В развитие отечественной агрохимии большой вклад внесли многие русские ученые. П. С. Коссович (1862—1915) показал возможность усвоения растениями аммиачного азота без перехода его в нитратный. Он доказал, что клубеньковые бактерии связывают азот атмосферы, поступивший через корни, а не через листья бобовых растений. Им исследованы процессы усвоения свободноживущими бактериями азота воздуха.

К. К. Гедройц (1872—1932) установил виды поглотительной способности почвы, выяснил, что в процессах обмена, происходящих в почве, участвуют гумус, органические остатки почвы, минеральная часть почвы и микроорганизмы. Трудami К. К. Гедройца установлена потенциальная кислотность почвы, обоснована теоретическая база для применения известкования и гипсования почв. Им выдвинуто положение о том, что все почвы обладают способностью обменивать содержащиеся в их поглощающем комплексе поглощенные катионы (как металлы, так и водород), причем количество катионов, поглощенных почвой, эквивалентно количеству катионов, вытесненных из почвенного раствора. Было установлено, что реакции обмена между катионами протекают моментально.

А. Н. Лебедев (1878—1941) впервые установил возможность эффективного применения фосфоритной муки в северной части Центрально-Черноземной зоны. Им проведены исследования сравнительной эффективности минеральных удобрений в разных районах нашей страны.

О. К. Кедров-Зихман (1885—1964) разработал теоретические основы действия извести. Им было изучено влияние на растения магнезия и бора.

П. Г. Найдин (1893—1969) — инициатор создания и руководитель Всесоюзной географической сети опытов с удобрениями ВИАУ, автор более 150 научных и научно-популярных работ по применению удобрений в различных районах страны, методике опытного дела, построению системы удобрения в севооборотах и другим вопросам.

Д. А. Сабинин (1889—1951) проводил научные исследования по минеральному питанию и другим разделам физиологии растений. В 1940 г. им была опубликована монография «Минеральное питание растений», удостоенная премии имени К. А. Тимирязева. Под руководством Д. А. Сабинина проводились исследования по изучению метаболических процессов в корневых системах. Им разрабатывались вопросы водного режима растительных клеток и тканей, структуры протопласта, изучались процесс фотосинтеза и связь его с минеральным питанием растений.

И. Г. Дикусар (1897—1973) — автор многих работ по азотному питанию растений, роли азота и фосфора в обмене веществ, условиям аммонийного и нитратного питания растений.

М. В. Катыльмов (1907—1969) проводил исследования по теории и практике применения микроэлементов в сельском хозяйстве.

Положительную роль в обучении кадров агрохимиков сыграл учебник «Агрохимия» (1954 г.) под редакцией А. Г. Шестакова, который стал заведующим кафедрой агрохимии после Д. Н. Прянишникова.

Ф. В. Турчин (1902—1965) занимался агрохимической оценкой различных форм простых и сложных минеральных удобрений. Будучи инициатором применения соединений, меченных стабильным изотопом азота  $^{15}\text{N}$ , он провел классические исследования по поступлению в растения и использованию на синтез аминокислот и белков азота нитратов, аммония и амидов. Этими исследованиями были установлены последовательность образования в растениях отдельных аминокислот и факт постоянного обновления белков. Ф. В. Турчин изучал также процессы биологической фиксации азота.

В. М. Клечковский (1900—1972) занимался вопросами фосфатного питания растений, количественных закономерностей действия удобрений, оптимального соотношения элементов питания растений. Он один из основоположников агрохимии искусственных радионуклидов. Одним из приемов снижения содержания в сельскохозяйственной продукции радионуклидов является применение минеральных и органических удобрений.

В. М. Клечковский подчеркивал, что в своем развитии агрохимия опирается и, несомненно, будет опираться на понимание ме-

ханизмов обмена веществ и энергии до самых глубоких уровней: субмолекулярного, молекулярного, субклеточного, клеточного и т. д. ...Если биохимик может остановиться на молекулярном и клеточном уровне, а физиолог — ткани и органа, то агрохимик должен «уровень урожая, проблему обмена веществ рассматривать на уровне севооборота, хозяйства, народного хозяйства в целом, тогда вместо обмена говорят о круговороте веществ. Прянишниковское направление в агрохимии характеризуется изучением связи между питанием и метаболизмом».

Проблема рационального использования шлаков интересовала В. М. Ключковского и А. В. Владимирова. Происходит иной ход процесса нейтрализации почвенной кислотности с образованием в почвенном растворе подвижной кремниеслоты с дальнейшим взаимодействием ее с почвой и растениями. В результате исследований В. М. Ключковский показал, что при взаимодействии фосфатов с почвами сочетаются процессы обменного поглощения и химического осаждения. Поглощение фосфат-ионов в почвах, насыщенных основаниями, обычно объясняется образованием фосфатов кальция. Однако размеры сорбции меченого  $^{32}\text{P}$  были одинаковы даже, когда в почве в поглощенном состоянии находился не кальций, а калий. С применением меченых атомов изучено влияние размеров гранул, их глубины и частоты заделки на поступление  $^{32}\text{P}$  в растения. Показано, что распределение  $^{32}\text{P}$  по органам растения при некорневом питании фосфором осуществляется медленнее и неравномернее, что подчеркивает особую роль корней. Методом меченых атомов установлено, что коэффициент использования по разности неточен, так как при внесении в рядки фосфора может эффективнее использоваться фосфор почвы за счет лучшего развития растений. В то же время в присутствии легкодоступного фосфора удобрений может уменьшиться и фосфор почвы.

В. М. Ключковский был ближайшим учеником Д. Н. Прянишникова, который прививал глубокое уважение к теории, стремление к совершенствованию методики, к обоснованию выводов и предположений. Этот путь в науке не всегда легок и прост. Чтобы связать теорию и практику, необходимо развивать теоретические исследования. Д. Н. Прянишников любил цитировать слова Герцена — «без науки научной не было бы науки прикладной». Возникновению сельскохозяйственного производства не предшествовало развитие научных знаний. Это создало почву для появления умозрительных, догматических натурфилософских концепций и представлений, очень далеких от науки. «Представители таких концепций, не опирающихся ни на строгую естественнонаучную теорию, ни на тщательный эксперимент, щедры на посулы, они любят похвалиться своей связью с практикой, но мало заботятся о том, что за отсутствием действительно научной теории им нечего связывать с практикой», — писал Д. Н. Прянишников.

В. М. Ключковский придавал большое значение химизации: «Химизация — это могучий рычаг технического прогресса в сельском хозяйстве, ...было бы большим заблуждением надеяться, что химизация может успешно развиваться без одновременного, и не только одновременного, но и опережающего развития своей научной основы — агрохимии. В химизацию вкладываются громадные средства. Первый долг ученых — эффективное научное обоснование мероприятий по химизации».

Д. Н. Прянишников на вопрос — что такое агрохимик? — отвечал: «Агрохимик — это лучший агроном среди химиков и лучший химик среди агрономов». В. М. Ключковский подчеркивал, что для агрохимика необходим высокий уровень фундаментальных знаний в химии, физике, математике. Выражая слова благодарности своим учителям, В. М. Ключковский говорил, что они воспитывали своим примером готовность к борьбе за научную правду, за отстаивание научных позиций и непримиримость к догматизму, начетничеству и верхоглядству. Ибо нет более опасного для авторитета науки, чем облаченное в наукообразную форму невежество.

Я. В. Пейве (1906—1976) разработал теорию дифференцированного применения микроудобрений в растениеводстве с учетом содержания усвояемых форм микроэлементов в почвах и физиологических особенностей растений. Он внес ценный вклад в разработку теории действия металлов-микроэлементов на ферменты и ферментные системы. Им проведены исследования по агрохимии калия, алюминия, кальция и фосфора, разработаны новые методы определения подвижных форм микроэлементов в почвах и выполнены работы по изучению содержания и закономерностей распределения в почвах микроэлементов. Я. В. Пейве много внимания уделял выяснению роли микроэлементов в процессе симбиотической фиксации молекулярного азота атмосферы.

Н. С. Авдонин (1903—1980) изучал особенности питания растений в разные периоды их роста и разработал теоретические основы подкормки растений. Он занимался также вопросами повышения плодородия дерново-подзолистых почв, разработкой приемов, улучшающих свойства этих почв и повышающих эффективность на них минеральных удобрений. Под его руководством выполнены исследования по зимостойкости зерновых и многолетних трав для Нечерноземной зоны и влиянию почв и удобрений на качество сельскохозяйственной продукции.

А. В. Соколов (1898—1980) организовал комплексные исследования по агрохимической характеристике почв бывш. СССР и потребности их в удобрениях. Он разработал метод определения обменной кислотности почв, методику определения форм почвенных фосфатов, а также содержания фосфорных соединений в растениях. А. В. Соколов изучал значение фосфоритования, природу закрепления фосфора в почвах. Им был предложен метод производства гранулированного суперфосфата. Много внимания он

уделял изучению фосфорного обмена растений, выяснению оптимальных условий питания растений и динамики почвенных процессов. Им разработан радиобиологический метод определения истинного коэффициента использования фосфора растениями, выполнены оригинальные работы в области физиологии растений, агрохимии и почвоведения.

С. И. Вольфович (1896—1980) — один из авторов технологии переработки апатитового сырья на суперфосфат. Им выполнены исследования по экстракции фосфорной кислоты из отечественного фосфатного сырья. Под его руководством проведены работы по химии и технологии минеральных удобрений. С. И. Вольфович совместно с Д. Н. Прянишниковым внес большой вклад в разработку и проведение химизации сельскохозяйственного производства в нашей стране.

З. И. Журбицкий (1896—1986) изучал вопросы теории питания растений и методики постановки вегетационных опытов. Им были выполнены работы в области дифференцированного питания растений и специфики питания отдельных сельскохозяйственных культур.

Т. Н. Кулаковская (1919—1986) изучала действие минеральных и органических удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и плодородие почвы. Под ее руководством разработаны научные основы и осуществлены практические мероприятия по повышению продуктивности земледелия и плодородия почв Белоруссии.

## 1.2. УДОБРЕНИЕ — ОСНОВНОЙ ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЕВ

Разность между приходом и расходом элементов питания в почве составляет *баланс элементов питания*.

Вынос элементов питания из почвы устанавливается количеством элементов питания, отчуждаемых из почвы урожаем основной и побочной продукции с единицы площади. Возврат элементов питания в почву определяется количеством элементов питания, возмещаемых с удобрениями, а также за счет поступления с семенами, пожнивно-корневыми остатками, в процессе фиксации молекулярного азота атмосферы, с осадками и др.

Сельскохозяйственные культуры характеризуются различной потребностью в элементах питания, разным выносом питательных веществ из почвы с урожаем. Для получения урожая зерна пшеницы примерно в 3 т/га необходимо 110 кг N, 40  $P_2O_5$ , 70 кг  $K_2O$ . С урожаем картофеля в 30 т/га выносятся с 1 га 150 кг N, 60  $P_2O_5$ , 270 кг  $K_2O$ . При выращивании без удобрений растения истощают почву, урожай из года в год снижается.

Основная задача агропромышленного комплекса — надежное обеспечение страны продовольственным и сельскохозяйственным



сырьем. Решение этой задачи возможно лишь на основе дальнейшего роста урожайности, повышения продуктивности каждого гектара земли.

Опыт мирового земледелия убедительно показывает, что уровень урожайности тесно связан с количеством применяемых удобрений (табл. 1).

### 1. Применение минеральных удобрений и урожай зерновых (в среднем за 1986—1988 гг., Попов, 1999)

| Страна    | Внесение минеральных удобрений, кг д.в./га | Средняя урожайность, т/га |
|-----------|--|---------------------------|
| Россия    | 99   | 1,59                      |
| США       | 103  | 4,35                      |
| Англия    | 359  | 5,67                      |
| ФРГ       | 427  | 5,39                      |
| Голландия | 771  | 6,93                      |

Особенно четко зависимость между производством зерна и применением минеральных удобрений можно проследить на примере России, где происходят резкое снижение применения минеральных удобрений (табл. 2) и плодородия почв (табл. 3).

### 2. Применение минеральных удобрений и производство зерна в России (в среднем за год, Попов, 1999)

| Показатель                        | 1986—1990 гг. | 1995—1997 гг. | 1998 г. |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------|
| Поставлено минеральных удобрений: |               |               |         |
| млн т д.в.                        | 12,8          | 1,6           | 1,0     |
| кг/га пашни                       | 99            | 12            | 8       |
| Валовой сбор зерна, млн т         | 104           | 72            | 48      |
| Урожайность зерновых, т/га        | 1,59          | 1,35          | 0,95    |

### 3. Баланс питательных веществ в земледелии России, кг/га (в среднем за год, Попов, 1999)

| Годы                    | Поступление                   |                                |       | Вынос<br>урожая-<br>ми | Баланс |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|------------------------|--------|
|                         | с минеральными<br>удобрениями | с органическими<br>удобрениями | всего |                        |        |
| Азот                    |                               |                                |       |                        |        |
| 1966—1970               | 10                            | 9                              | 19    | 31                     | —12    |
| 1971—1975               | 18                            | 12                             | 30    | 33                     | —3     |
| 1976—1980               | 23                            | 16                             | 39    | 36                     | +3     |
| 1981—1985               | 29                            | 20                             | 49    | 29                     | +20    |
| 1986—1990               | 36                            | 20                             | 56    | 34                     | +22    |
| 1991—1995               | 16                            | 10                             | 26    | 34                     | —8     |
| В том числе 1994 — 1995 | 9                             | 7                              | 16    | 33                     | —17    |
| 1996                    | 8                             | 4                              | 12    | 30                     | —18    |

## Продолжение

| Годы                    | Поступление                   |                                |       | Вынос<br>урожая-<br>ми | Баланс |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|------------------------|--------|
|                         | с минеральными<br>удобрениями | с органическими<br>удобрениями | всего |                        |        |
| Фосфор                  |                               |                                |       |                        |        |
| 1966—1970               | 6                             | 4                              | 10    | 11                     | —1     |
| 1971—1975               | 10                            | 5                              | 15    | 12                     | +3     |
| 1976—1980               | 17                            | 7                              | 24    | 13                     | +11    |
| 1981—1985               | 21                            | 9                              | 30    | 12                     | +18    |
| 1986—1990               | 30                            | 9                              | 39    | 15                     | +24    |
| 1991—1995               | 11                            | 5                              | 16    | 12                     | +4     |
| В том числе 1994 — 1995 | 4                             | 3                              | 7     | 10                     | —3     |
| 1996                    | 4                             | 2                              | 6     | 10                     | —4     |
| Калий                   |                               |                                |       |                        |        |
| 1966—1970               | 6                             | 9                              | 15    | 32                     | —17    |
| 1971—1975               | 10                            | 12                             | 22    | 34                     | —12    |
| 1976—1980               | 16                            | 16                             | 32    | 36                     | —4     |
| 1981—1985               | 17                            | 20                             | 37    | 37                     | 0      |
| 1986—1990               | 20                            | 21                             | 41    | 44                     | —3     |
| 1991—1995               | 7                             | 11                             | 18    | 34                     | —16    |
| В том числе 1994 — 1995 | 2                             | 7                              | 9     | 30                     | —21    |
| 1996                    | 1                             | 5                              | 6     | 28                     | —22    |

В середине XX в. свершилась так называемая «зеленая революция», отцом которой является Норман Борлауг. Известно, что страны с высоким уровнем химизации сельского хозяйства характеризуются наиболее высокими урожаями. Повышение урожая базируется на новых сортах интенсивного типа и улучшении агротехники, т. е. резком увеличении применения элементов питания и средств защиты растений с созданием прогрессивных технологий возделывания культур.

По обобщению академика РАСХН В. Ф. Ладонина (1999), производство зерна в мире утроилось: с 630 млн т в 1950 г. до 1970 млн т в 1990 г. За этот же период использование минеральных удобрений в мире увеличилось в 10 раз (с 14 до 140 млн т). При этом производство зерна возрастало за счет интенсификации земледелия, а не за счет расширения посевных площадей. Урожай зерновых культур во второй половине XX в. вырос в 2,5 раза, увеличиваясь в среднем по зерновым культурам в мире в целом на 2,1 % в год.

Применение удобрений с 1970 по 1990 г. увеличилось в развивающихся странах с 26 до 83 кг/га, в странах Восточной Азии и Тихого океана с 36 до 190, в Европе с 88 до 142, в СНГ и КНДР с 46 до 110 кг/га. В 1990 г. урожайность зерновых в КНДР достигла 4,2 т/га. Мировые рекорды составили по пшенице более 16 т/га, а по кукурузе — более 22 т/га. Еще выше величина физиологической продуктивности растений, достижение которой по каждому

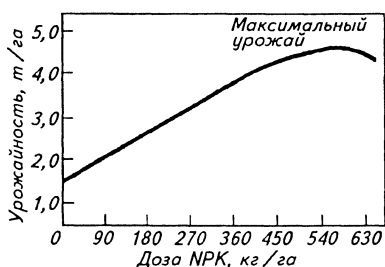


Рис. 3. Зависимость урожайности от дозы удобрений

сорту является задачей науки и практики. Для этого необходимо правильно оценить все слагающие урожай факторы — хозяйственные, биологические, природные и случайные и устранить потери урожая по каждому из них.

По подсчетам специалистов, на 50 % рост урожайности определяется применением удобрений и около 50 % прироста приходится на другие факторы: агротехнику, сорта, мелиорацию

и т. п. По данным научно-исследовательских учреждений США, рост урожайности в этой стране в послевоенные годы был на 41 % за счет минеральных удобрений, на 15—20 % — гербицидов и других химических средств защиты растений, 15 % прироста приходилось на более совершенную агротехнику, 8 — на гибридные семена, 5 — на ирригацию и 11—18 % — на прочие факторы.

С ростом урожая возрастает потребление питательных веществ растениями, поэтому чем выше планируемая урожайность любой культуры, тем больше требуется удобрений. Однако необходимо учитывать, что урожай возрастает в прямой зависимости от увеличения доз удобрений лишь до определенного уровня, при котором достигается наибольшая оплата единицы удобрения получаемой сельскохозяйственной продукцией.

Производство минеральных удобрений требует значительных затрат энергии. Поэтому увеличение доз удобрений экономически оправданно, пока издержки, связанные с применением дополнительного количества удобрений, полностью окупаются стоимостью прибавки урожая (рис. 3).

Основная задача химизации земледелия в нашей стране — обеспечение максимальной отдачи от удобрений. Применение удобрений должно сочетаться с высокой агротехникой (табл. 4).

#### 4. Действие комплекса агроприемов на урожай картофеля на песчаных почвах

| Вариант опыта   | Урожайность, т/га | Прибавка, т/га |
|---|-------------------|----------------|
| Без удобрений, поздняя посадка, мелкие клубни, недостаточный уход | 9,1               | —              |
| Удобрение   | 16,0              | 6,9            |
| Улучшенная агротехника, без удобрений                             | 15,4              | 6,3            |
| Улучшенная агротехника, с удобрениями                             | 27,4              | 18,3           |

Важное значение в рациональном использовании удобрений имеют время внесения их и способы заделки (табл. 5).

### 5. Прибавка урожайности сахарной свеклы (т/га) в зависимости от времени внесения и способов заделки удобрений

| Опытная станция | При внесении НРК       |                 |
|-----------------|------------------------|-----------------|
|                 | весной под культиватор | осенью под плуг |
| Харьковская     | 2,7                    | 6,5             |
| Мироновская     | 2,6                    | 5,0             |
| Курская         | 3,7                    | 6,0             |

Эффективность минеральных удобрений значительно возрастает при орошении или при достаточном количестве атмосферных осадков (рис. 4).

Применение удобрений повышает и качество урожая. Многочисленными исследованиями в различных почвенно-климатических условиях нашей страны установлено влияние доз и форм азотных удобрений на изменение качества зерна, особенно белковости зерна озимой пшеницы.

Отмечая высокие темпы химизации земледелия, следует подчеркнуть важность органических удобрений, о чем свидетельствует многовековая практика их применения. Возрастающее применение минеральных удобрений способствует повышению урожая, что, в свою очередь, позволяет увеличивать поголовье скота, в результате чего увеличивается и количество навоза.

Д. Н. Прянишников считал, что неправильное отношение к навозу — это неправильное отношение к элементам питания минеральных удобрений. Органические удобрения, и в первую очередь навоз, являются одним из основных элементов системы удобрения.

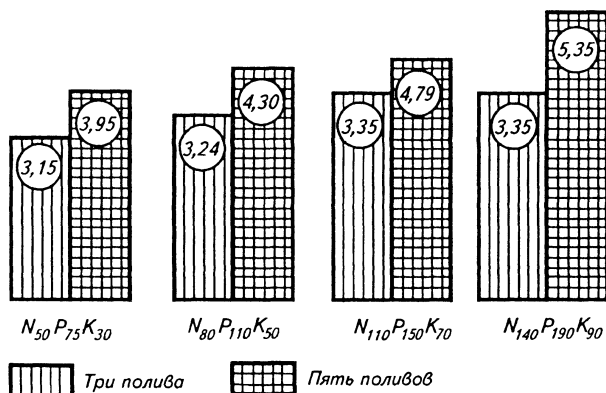


Рис. 4. Влияние доз удобрений на урожайность яровой пшеницы (т/га) в зависимости от числа поливов

По данным научно-исследовательских учреждений, в Нечерноземной зоне 20—30 т навоза, внесенного на 1 га, дают прибавку урожая зерновых 0,6—0,7 т/га, картофеля 6—7, корнеплодов до 15, силосных культур 15—20 т/га. Последствие навоза продолжается в течение 4—5 лет. За это время каждая тонна его дает прибавку продукции (в пересчете на зерно), равную 0,1 т.

Так, в опытах Долгопрудной станции 36 т/га навоза на четырех культурах севооборота дали в пересчете на зерно 3,4 т/га дополнительной продукции (табл. 6).

**6. Прибавки урожая в севообороте от внесения 36 т/га навоза (среднее за 15 лет)**

| Культура                | Прибавка, т/га | В пересчете на зерно, т/га |
|-------------------------|----------------|----------------------------|
| Рожь (зерно)            | 1,07           | 1,07                       |
| Овес (зерно)            | 0,53           | 0,53                       |
| Клевер (сено)           | 0,65           | 0,26                       |
| Кормовая свекла (корни) | 15,56          | 1,55                       |
| Всего                   | —              | 3,41                       |

### 1.3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ И ИХ ПРОИЗВОДСТВО

Химизация земледелия — основа повышения урожаев сельскохозяйственных культур при одновременном улучшении качества получаемой продукции и повышении плодородия почвы.

Внесение удобрений выгодно с экономической точки зрения.

Расчеты показывают, что 1 руб., затраченный на минеральные удобрения, обеспечивает получение продукции растениеводства в среднем на 2,2 руб. Удельный вес затрат на приобретение и внесение минеральных удобрений в целом по стране до 1990 г. составлял 15—17 % всех затрат в растениеводстве.

Оплата удобрений зависит от естественного плодородия почвы. Так, в Нечерноземной зоне с высокой влагообеспеченностью и низким естественным плодородием почвы при урожайности зерновых 3 т/га и выше за счет удобрений получается 70—80 % прироста урожая. В сухой степи на долю удобрений приходится лишь половина прироста урожая. Здесь важную роль играют система обработки почвы и накопление влаги, засухоустойчивость сорта и другие показатели.

До 1990 г. в нашей стране осуществлялась последовательная интенсификация сельскохозяйственного производства на базе широкого использования химизации, механизации, мелиорации. Была разработана комплексная программа развития сельского хозяйства, осуществление которой позволило значительно увеличить количество сельскохозяйственной продукции.

Особое внимание обращалось на дальнейшее развитие сельского хозяйства Нечерноземной зоны России. Почвы этой зоны ха-

рактируются низким естественным плодородием, поэтому здесь с особой остротой стоит вопрос о наиболее эффективных приемах применения средств химизации, особенно удобрений и известкования кислых почв. В Нечерноземье осуществлялась обширная программа мелиоративных мероприятий; особое внимание уделялось известкованию кислых почв.

Разработка и осуществление планов химизации базируются на интенсивном развитии агрохимии, которое стало возможным только благодаря успехам многих биологических дисциплин, а также решению ряда методических вопросов.

В практике сельскохозяйственного производства используют прогрессивные способы применения удобрений — локальное внесение минеральных удобрений (допосевное, припосевное, корневая подкормка), обеспечивающее более высокую окупаемость, особенно в районах Поволжья и Сибири. Первоочередной задачей после химизации и мелиорации становится улучшение физических свойств почвы, во многом определяемых качеством и количеством гумуса. Нерегулируемость водно-физических свойств почвы лимитирует рост урожайности.

Известно, что сельскохозяйственные культуры наиболее отзывчивы на внесение азотных удобрений. Расчетами, проведенными в ЦИНАО, установлено, что в среднем по стране оплата прибавкой урожая 1 кг азота составляет в зависимости от дозы от 4,5 до 8 кг/га зерна пшеницы, 1 кг  $P_2O_5$  — от 4 до 7,3 кг/га, а 1 кг  $K_2O$  — от 2,2 до 3,7 кг/га зерна. Одновременное применение азотных, фосфорных и калийных удобрений существенно повышает их эффективность.

На эффективность действия удобрений сильно влияет реакция среды. Анализ многочисленных полевых опытов и проведенные расчеты показали, что прибавка урожая зерна пшеницы от внесения 60 кг/га фосфора составляет 0,18 т/га при pH 5,5 и 0,6 т/га при pH 6,5. На дерново-подзолистых почвах увеличение pH на единицу повышало урожайность озимой пшеницы на 51,2 %, озимой ржи на 24,5 %, яровой пшеницы и ячменя на 11,5 %. В то же время при pH почвы выше 6,5 для растений становятся труднодоступными некоторые элементы минерального питания, в частности железо и марганец, растворимость которых резко падает.

При низких уровнях применения минеральных удобрений и низком содержании соответствующих питательных веществ в почве оплата урожаем выше, а с повышением дозы удобрений окупаемость 1 кг питательных веществ снижается. По данным агрохимической службы, в среднем по стране оплата 1 кг  $P_2O_5$  составляет 7,3 кг зерна озимой пшеницы при дозе 30 кг/га и только 4,2 кг — при 120 кг/га. Аналогичные данные получены и по калийным удобрениям. В то же время в ряде опытов, проведенных в Англии и Франции, показано, что при внесении азота от 1 до 200 кг/га наблюдалась линейная зависимость роста урожая пшеницы и ве-

личина его достигала 8 т/га. Естественно, что такая прямая зависимость между урожаем и дозами азота может быть получена только, если внесение этого элемента осуществляется на оптимальном уровне обеспеченности растений фосфором, калием и другими элементами минерального питания, при соблюдении высокой агротехники.

Причин низкой эффективности удобрений в современной сельскохозяйственной практике много. Это и недооценка человеческого фактора, и недостаточное внимание к подготовке и переподготовке кадров, недостаточная заинтересованность работников всех звеньев в конечном результате. Это и отсутствие сбалансированной поставки всех элементов питания в нужном ассортименте, наличие около 40 млн га кислых почв, требующих известкования, применение некомпостированного навоза, содержащего до 10 млн семян сорняков в каждой тонне, неравномерность внесения удобрений, требующая дальнейшего совершенствования машин и большего внимания к использованию жидких удобрений. По данным агрохимической службы, низким содержанием подвижного бора характеризуется 50 % обследованных пахотных земель в стране, молибдена — 59,5, меди — 43, цинка — 55, марганца — 15,6, кобальта — 67 %. Половина земель страны имеет низкое содержание подвижного фосфора.

Недостаток теоретических разработок, их отрыв от практики, ряд хозяйственных недоработок, а также наличие трудноуправляемых факторов (засуха, переувлажнение, солнечная радиация и др.) привели к сравнительно низким урожаям зерновых, картофеля, сахарной свеклы и других культур.

Известно, что недостаток даже одного элемента питания существенно сдерживает рост урожайности, поэтому необходим строгий контроль за содержанием элементов питания в почве и потреблением их растениями. К сожалению, отсутствуют глубокие научные разработки по вопросам накопления и миграции элементов питания в почве в результате комплексного агрохимического окультуривания полей, разработки по применению высоких доз жидких удобрений, промышленных отходов и т. д.

В 90-е годы произошло резкое уменьшение применения удобрений в России — в 9—10 раз. В результате снизилось содержание гумуса, повысилась кислотность почв, стал отрицательным баланс элементов питания. Без применения средств химизации быстро падает почвенное плодородие и как следствие резко снижаются урожаи. Агрохимики начали определять темпы падения плодородия почвы. В опытах, проводимых на базе Смоленского филиала ВИИА, за 7 лет отмечено снижение содержания  $P_2O_5$  на 50 %.

В то же время из страны вывозят удобрения, которые при внесении их в почвы России дали бы гораздо больший экономический эффект, так как 1 кг действующего вещества удобрений дает 4—8 кг зерна. В 1986—1990 гг. в России потреблялось 13 млн т

минеральных удобрений. Минимальная потребность России в удобрениях составляет 10 млн т, а в известковых материалах — 35,5 млн т. Для расширенного воспроизводства необходимо минимум 16,5 млн т удобрений. Но в 1994—1998 гг. поставка удобрений сельскому хозяйству составила 1,4—1,6 млн т, а продажа за рубеж — от 6,9 до 8 млн т, причем на внутреннем рынке цены на удобрения превосходят мировой уровень, а на внешнем составляют 70—80 % от мировых цен.

Фактически по стране на 1 га пашни вносят 10—12 кг действующего вещества удобрений. В результате производится меньше продукции. Так, валовые сборы зерна в России в 1986—1990 гг. составили в среднем 104,2 млн т, в 1995 г. — 63,4 млн т, в 1996 г. — 69,3 млн т.

Академик РАСХН В. Ф. Ладонин (1999) приводит данные по вкладу различных факторов в формирование урожая при экстенсивном и интенсивном земледелии (табл. 7).

**7. Вклад различных факторов в формирование урожая, %**

| Фактор формирования урожая | При экстенсивном земледелии | При интенсивном земледелии |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Естественное плодородие    | 40                          | 10                         |
| Погода                     | 20                          | 15                         |
| Обработка почвы            | 20                          | 10                         |
| Удобрения                  | 10                          | 30                         |
| Сортовые семена            | 5                           | 30                         |
| Защита растений            | 5                           | 15                         |
| Среднее производство, т/га | 1,5—2,5                     | 4,0—5,0                    |

Автор справедливо отмечает, что экстенсивное земледелие неспособно экологизировать ситуацию, ведет к расхищению естественного плодородия почв и дает чрезвычайно низкую продуктивность пашни. Средние урожаи России конца XX в. сопоставимы со средними урожаями Европы конца XIX в. Стратегия российского земледелия на начало XXI в. должна состоять в его интенсификации, уровень производства зерна необходимо довести к 2025 г. до 170—190 млн т, что позволит России обеспечить свою продовольственную безопасность. Продуктивность пашни должна составить не менее 4—5 т зерна на 1 га.

Исследователи считают, что максимальная потенциальная урожайность зерновых культур может составить 20 т/га (в окрестностях устья реки Нил), для Европы — 23 т/га, для Поволжья — 13 т/га. По величине ФАР в зоне черноземов Сибири и Зауралья возможно получать 10 т/га зерна. Действительный возможный урожай составляет 60—80 % потенциально возможного.

Урожай, получаемый в практике сельскохозяйственного производства, как правило, значительно ниже потенциального. Колебания в урожайности отдельных культур, даже в пределах сравнимых



почвенно-климатических условий, иногда бывают очень велики. В связи с этим весьма важно проанализировать в каждом случае вклад различных факторов в формирование урожая, выявить и устранить причины, сдерживающие рост, и оптимизировать факторы, стимулирующие увеличение продуктивности растений.

Как отмечалось, на практике средние урожаи еще далеки от результатов, получаемых в опытах и передовыми хозяйствами, что связано с общим низким уровнем культуры земледелия. Реализация современных достижений агрохимии возможна только при строгом соблюдении всех приемов для создания оптимальных параметров жизни растений, в первую очередь соблюдения правил агротехники и использования высокопродуктивных сортов.

Следует создать гибкие системы применения современных технологий с учетом особенностей каждого сорта и каждого конкретного поля. Творческое отношение к делу позволит освободиться от строго регламентированного рецептурного подхода. Разработанные технологии должны обеспечить оптимальное регулирование продуктивного процесса, представлять собой полную систему управления урожаем по всем факторам жизнеобеспечения растений. Внедрение современных технологий требует надежной научной базы для получения четких ответов по вопросам питания растений: когда, где, как, в какой форме и сочетаниях применять удобрения.

Много неясных вопросов при применении комплексной химизации. Иногда рекомендуют дозы внесения минеральных удобрений без учета местных условий. Стоит задача создания унифицированных методов анализа почв применительно к зонам. Нужны более конкретные знания микроэлементной обстановки, не все ясно и с применением азотных удобрений.

Правильность принятых агрохимических решений в конкретных условиях должна постоянно контролироваться методами растительной и почвенной диагностики питания. Следует отметить, что имеющиеся методы визуальной и химической диагностики не в полной мере отвечают требованиям производства, необходимы разработки принципиально новых методов диагностики питания сельскохозяйственных культур.

Серьезный фактор, тормозящий получение высоких урожаев, — отсутствие детально разработанных динамических моделей питания растений с учетом сортовой специфики и зон возделывания. Необходимо иметь данные по динамике поступления элементов питания при оценке физиологически возможных и получении максимальных и экономически целесообразных урожаев. Создание динамичной модели питания растений при высоких уровнях продуктивности улучшит организацию практики применения удобрений.

Если смотреть в более далекое будущее, то необходима не только динамичная модель питания растений, отражающая изменение

потребности растений в элементах питания в разные периоды вегетации, но и поиск методов увеличения активности поглощения элементов питания корневой системой.

Так, для условий гидропоники (защищенного грунта) необходима разработка теории импульсного питания. В случае регулярной смены (по 12 ч) питательного раствора на воду ускоряется срок сбора первого урожая огурцов и томатов, экономнее расходуются минеральные элементы на создание единицы продукции. При этом увеличивается урожай и улучшается его качество.

При выращивании растений по современным технологиям с ростом урожайности сельскохозяйственных культур увеличивается вынос элементов минерального питания, включая микроэлементы, усиливается подвижность питательных веществ, что приводит к необходимости изменения состава применяемых удобрений.

Получение высоких урожаев невозможно без создания оптимального уровня питания, и здесь еще много нерешенных проблем, в частности, необходимо уточнение потребности растений в элементах питания. Важное направление в решении этого вопроса — изучение генетических особенностей минерального питания растений. При наличии оптимума факторов жизнеобеспечения растений поглощение элементов минерального питания и их использование в метаболизме определяются только генетическими особенностями того или иного сорта.

Уточнить потребности растений в элементах питания можно путем проведения обследования почв на содержание макро- и микроэлементов в зонах происхождения того или иного вида и сорта культурного растения. Этот подход может быть эффективным, так как при его осуществлении будет известен весь спектр химических элементов на протяжении формирования культурного растения. Реальность и возможность взаимодействия сорта и удобрения во многом зависят от опережающих практику научных исследований по теории питания растений, изучению химического состава почв тех зон, в которых формировался сорт.

Получение максимального, экономически выгодного урожая возможно при использовании лучших сортов, обеспечении необходимых физических и химических свойств почв, оптимального уровня и сочетания элементов питания в течение вегетационного периода.

В последние десятилетия достигнуты значительные успехи в изучении механизма поступления элементов минерального питания. Определена роль клеточных мембран и переносчиков. Но полученные результаты не в полной мере использовали при изучении взаимодействия элементов в процессе их поглощения растениями.

При оптимизации минерального питания следует учитывать не только непосредственно внесенные с минеральными удобрениями

элементы, но и влияние одних элементов питания на содержание других. Одно из основных направлений решения данной проблемы — изучение взаимодействия и взаимного влияния факторов внешней среды, количественного соотношения и качественного состава элементов питания на их поступление в растения. Только на основе глубокого изучения механизма поступления элементов минерального питания и тщательного учета постоянно изменяющихся потребностей растений в питательных веществах можно разработать алгоритм оптимизации минерального питания растений за счет внесения минеральных удобрений, осуществлять оперативное управление формированием урожая.

В практике бытует мнение, что повышение урожая может быть связано отрицательной зависимостью с качеством продукции. К сожалению, таких примеров много. Это снижение качества и сроков хранения овощей и плодов, сахаристости свеклы, качества волокна льна, содержания белка в пшенице, крахмала в картофеле и т. д. Однако, если соблюдать все агротехнические правила, заботиться о сбалансированном обеспечении растений макро- и микроэлементами, повышение урожая всегда сопровождается улучшением его качества.

Таким образом, качество сельскохозяйственной продукции может служить надежным тестом, оценивающим весь комплекс агротехнических приемов.

Многочисленные опыты убедительно показывают, что использование микроудобрений на основе оптимизации минерального питания способствует получению продукции высокого качества.

В настоящее время назрела необходимость создания общероссийского перспективного плана специализации сельскохозяйственного производства по зонам страны и различным биохимическим провинциям с учетом последних достижений науки.

На земном шаре не существует таких естественных ландшафтов, где все необходимые для жизнедеятельности человека элементы содержались бы в идеальных концентрациях и соотношениях. Поэтому вполне закономерна постановка вопроса об оптимальном содержании химических элементов в разных компонентах ландшафта — в почве, воде, воздухе, растениях и животных, т. е. таком содержании, которое наилучшим способом обеспечивало бы потребности человека.

#### **1.4. ПРОБЛЕМЫ ХИМИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Д. Н. Прянишников в докладе «Ближайшие задачи в области производства минеральных удобрений» отмечал, что «применение минеральных удобрений, как и всякая хозяйственная мера, зависит больше всего от экономических соотношений, и с переменой этих соотношений решение вопроса для той же самой страны, на

том же уровне техники, может стать совершенно иным». Эти слова оказались пророческими.

Еще в 1921 г. Дмитрий Николаевич сделал следующие выводы: «в настоящее время применение минеральных удобрений в России (особенно в Нечерноземной полосе) является насущной потребностью нашего земледелия, при этом потребность в фосфатах охватывает как чернозем, так и нечернозем; последний нуждается еще и в азоте (не менее, чем в фосфоре), а часть Нечерноземной полосы требует и калийных удобрений (особенно под некоторые культуры: лен, клевер) на сильно оподзоленных почвах, осушенных торфяниках, песчаных почвах». Он подчеркивал, что «для фосфора нет иных путей поступления в почву, чем внесение со стороны, а для азота существует круговорот между почвой и атмосферой... и возможно усилить фиксацию азота атмосферы почвой».

Важной задачей Д. Н. Прянишников считал организацию добычи фосфоритов как можно в большем числе пунктов в районах, где возможно и прямое применение фосфоритов. Он отмечал, что применение фосфорита усилит азотоусвояемую деятельность люпина, и, кроме того, фосфорит может компостироваться с торфом. В начале столетия Д. Н. Прянишников для решения проблемы азота пропагандировал выращивание бобовых растений, введение торфа в подстилку для скота. В целом Прянишников считал, что азот «технический» и азот «биологический» представляют два могучих рычага поднятия урожая, только согласованное использование которых может разрешить проблему азота в земледелии.

При отсутствии химической промышленности Д. Н. Прянишников настаивал на расширении площади посева клевера, а на «неклеверных» почвах — культуры такого мощного азотсобирающего, как люпин. Дмитрий Николаевич много внимания уделял азоту торфа. Он рекомендовал дополнительное введение в подстилку кроме соломы торфа для увеличения количества и улучшения качества навоза.

Д. Н. Прянишников предполагал, что главным источником азота будет азот бобовых. Он писал: «После перестройки севооборотов мы будем иметь под посевами клевера и люцерны 27 млн га» (сегодня в 2 раза меньше) «и можно рассчитывать, что из 8200 тыс. т азота, выносимого... урожаями, половина должна доставляться азотсобирающими, т. е. 4100 тыс. т». Далее Д. Н. Прянишников указывал, что для технических культур «потребуется 24 млн т удобрений; чтобы встретить этот мощный поток удобрений должным образом, необходимо позаботиться о должной постановке дела исследования и дела подготовки кадров». «Прежде всего должен существовать мощный институт специально по вопросам химизации... с сильно развитыми лабораториями, специальным опытным полем и географической сетью опытов... с твердым финансированием».

Отметим еще один резерв. В России имеется примерно 450 млн т

шлаков в отвалах. В конверторных шлаках имеется от 10 до 14 %  $P_2O_5$ . Это прекрасные фосфорные удобрения, содержащие от 33 до 46 %  $CaO$  и  $MgO$ , а также около 20 % кремния в усвояемой форме и набор микроэлементов. Мартеновские шлаки содержат до 3 %  $P_2O_5$ , в основном это известковый материал. Шлаки необходимо размалывать или просеивать, но их применение решит много проблем.

В стране около 40 млн га кислых почв. Без их известкования применение удобрений неперспективно, а применение извести значительно снизилось.

Д. Н. Прянишников писал: «Авторам, ...которые считают ненужным учет источников НРК и думают, что они знают какой-то секрет получения высоких урожаев без внесения соответствующих количеств удобрений (и без знания агрохимии), можно только сказать, что они напрасно считают себя материалистами». Опыт показывает, что, для того чтобы урожаи росли, необходимо возвращать азот и калий на 75—80 %, а фосфор — на 100 % (или даже на 110 %). Недостаточность вывоза навоза у нас является главной причиной крайне неблагоприятного баланса прихода и расхода питательных веществ.

Долевое участие НРК удобрений в формировании урожая зависит от почвенно-климатических условий и составляет: в Нечерноземной зоне 40 %, лесостепной 30, степной 20, сухостепной и полупустынной 10, при орошении 40 %. Оплата 1 кг д. в. снижается с 5,3 кг зерн. ед. в южно-таежной зоне до 3,9 кг зерн. ед. на неорошаемых землях сухостепной зоны.

Если не вносить минеральные удобрения, то при уровне  $P_2O_5$  20 мг/100 г ежегодно будет наблюдаться по 0,5—0,6 мг. 1 % гумуса дает естественное плодородие для получения 0,6 т/га зерна, 6 % — 3,0 т/га. Окупаемость НРК в Нечерноземной зоне 4,7—4,9, а в учхозе «Дружба» (МСХА) до 12 кг при урожайности озимой пшеницы 5,0 и картофеля 33,7 т/га. При отказе от минеральных удобрений потери урожая в год составят: зерновых 20 %, сахарной свеклы 42, картофеля 48, овощей 45 %. В Смоленском филиале ВИУА снижение  $P_2O_5$  за 7 лет составило с 25 до 12 мг/100 г.

Проблема фосфора в земледелии обострена тем, что в основных районах производства зерна его дефицит достиг 30—45 кг  $P_2O_5$  на 1 га; через 2—3 года это вызовет резкое падение урожая.

Многие открытия Д. Н. Прянишникова, его логика научной мысли, подход к оценке экспериментального материала, большое богатство теоретических положений и важных для практики применения удобрений высказываний не утратили своего значения и в наши дни. Прянишников писал: «По обилию всякого рода сырья и редкому разнообразию природных условий в пределах государства мы могли бы почти все производить у себя, сведя импорт... к минимуму. Но пока мы вынуждены получать многое из-за границы, а давать в обмен приходится преимущественно зерно (частью лен, пеньку, лес)».

Следует остановиться на вопросе применения удобрений. Известно, что 1 кг удобрений при хорошей агротехнике и увлажнении дает прибавку 8—10 кг зерна и даже более. Стоимость 1 кг зерна и 1 кг удобрений примерно одинакова.

Уровни применения удобрений в России значительно ниже, чем в странах Европы, но, несмотря на низкое применение удобрений, роль агрохимии нельзя занижать. Лучше нет эколога, чем агрохимик-почвовед. Знание почвы, растений, круговорота химических элементов в природе, их влияние на организм человека и животных позволяют ему наиболее квалифицированно решать насущные проблемы.

Попытки применения биологического земледелия в ряде стран привели к снижению урожаев на 40 % и увеличению затрат на 25—30 %. Оно возможно лишь там, где почвы имеют высокое содержание элементов питания, достигнутое длительным применением удобрений.

Потеря сельскохозяйственной ресурсной базы вызывает обнищание людей, наступление человека на дикую природу, истощение пастбищ и полей и т. д. Необходимы почвосберегающие и экологически обоснованные технологии.

Сейчас наблюдается экологический кризис. Это реально существующий процесс, вызванный в природе антропогенной деятельностью. Появляется множество местных проблем; региональные проблемы превращаются в глобальные. Постоянно усиливается загрязнение воздуха, воды, земель, продуктов питания.

При использовании местных удобрений, таких как отходы промышленного производства, компостов из городского мусора, осадков сточных вод, высоких доз жидкого навоза, возрастает опасность аккумуляции в почве и включения в биологический круговорот тяжелых металлов в концентрациях, токсичных для растений, животных, человека. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами весьма опасно из-за длительности последствий, наличия непосредственной угрозы для здоровья человека при отсутствии или запаздывании внешних проявлений отрицательных последствий.

Можно прогнозировать предстоящее существенное повышение содержания в почвах и живом веществе таких элементов, как мышьяк, ртуть, свинец, кадмий, молибден, ванадий, медь, цинк. Особенно устойчиво концентрируются металлы в гумусовом горизонте черноземных почв.

Основные положения агрохимии были сформулированы ее основоположником Д. Н. Прянишниковым на рубеже XIX—XX вв. Определяя предмет агрохимии тремя взаимосвязанными субстанциями растение—почва—удобрение, Дмитрий Николаевич еще в 1906 г. показал связь агрохимии с другими науками, ее теоретическую базу и практическое применение. Агрохимия — это наука, имеющая ценный опыт и богатую историю. Как и всякая наука,

она не стоит на месте, постоянно развивается. Процесс познания бесконечен. В наше время проведено более глубокое изучение основ питания растений и методов его регулирования. Значительно возросли масштабы производства и применения минеральных и органических удобрений в мире. Выполнены многочисленные научные разработки по эффективному использованию удобрений и получению сбалансированной по элементному составу сельскохозяйственной продукции.

Актуальными стали вопросы защиты окружающей среды от химического загрязнения и получения сельскохозяйственной продукции с определенным элементным составом.

Агрохимия занимает особое место в системе рационального природопользования. Огромная по масштабам работа предполагает выявление оптимумов элементного состава сельскохозяйственных культур в условиях биогеохимических провинций.

На современном этапе развития биосферы предмет классической агрохимии дополняется новым содержанием. Это объясняется появлением отличающихся от прежних требований к ведению сельского хозяйства, применением нетрадиционных видов удобрений и более интенсивным использованием традиционных удобрений, усилением антропогенного загрязнения пахотных земель и сельскохозяйственных угодий, вод и атмосферы. Необходимо учитывать связь поля с окружающим ландшафтом.

Круг задач агрохимии расширяется с пониманием необходимости внесения удобрений с учетом конкретной экологической и биогеохимической обстановки и специфики региона. В последние годы мы предлагаем ввести новый термин «агрогеохимия», обозначающий науку, предметом которой является взаимодействие уже не только растения, почвы и удобрения, но и учет геохимических свойств как результат взаимодействия с естественной средой, учет возможностей болезненных изменений у растительных и животных организмов, заболеваний человека.

Необходимы широкие исследования по явлению причинно-следственных взаимосвязей элементного состава сельскохозяйственных растений и окружающей среды в условиях различных биогеохимических провинций. Полученные знания используют при изучении состава животных и человека. Можно более рационально использовать и биогеофонд различных регионов в интересах развития растениеводства, а в конечном итоге — улучшения здоровья людей. Биогеохимическое районирование сельскохозяйственных культур по элементному составу станет частью агроэкологической классификации культурных растений. Эти исследования являются прочным фундаментом нового направления — агрогеохимии, в задачи которой входят:

выявление оптимумов элементного состава различных сельскохозяйственных растений (в том числе культивируемых лекарственных);

сопоставление ресурсов и территориального фактического размещения культурных растений с картой биогеохимического районирования;

выявление искусственных потоков элементов за счет перемещения посевного материала и пищевых продуктов по территории страны, оценка их размеров и сопоставление с мощностью естественных биогеохимических миграций элементов;

оценка вкладов промышленности и другой хозяйственной и бытовой деятельности человека в изменение элементного состава сельскохозяйственных объектов в регионах, субрегионах и провинциях;

регулирование с использованием естественной экологической обстановки и целенаправленной корректировки применением удобрений элементного состава сельскохозяйственной продукции до оптимальных значений.

Практически неисследованными остались вопросы, связанные с биосферой в целом (ландшафты, биогеоценозы и т. д.). Разрыв между учением о биосфере в целом и почвоведением и агрохимией пока не сокращается. Нарушена сбалансированность биохимических циклов многих элементов: так, увеличение азота и фосфора наблюдается в Балтийском, Северном и Средиземном морях. Получение достаточного количества продовольствия и уменьшение агрохимической нагрузки на ландшафты — не простая задача.

Необходимы не только быстрое получение достаточного количества химических данных, но и создание новых обобщенных представлений об окружающей среде. Процесс *полихимизации* наряду с ростом урожаев вызывает и изменения окружающей среды. Отдельные химические элементы активно перевозятся в масштабах планеты. Поэтому в рамках новой ветви биогеохимии и агрохимии — *агрогеохимии* начат поиск подходов к разработке параметров экологически оптимальной биопродуктивности: получения необходимого количества продукции и уменьшения загрязнения окружающей среды.

Из 15 млрд га земной суши 1,5 млрд га распаханно, что существенно сказывается на экологии планеты. Эти площади дополнительно загрязняются при неразумном применении средств химизации и бесподстилочного навоза. Внесению удобрений иногда сопутствуют значительные примеси мышьяка, кадмия, хрома, никеля, хлора и других элементов, которые накапливаются в почве и впоследствии загрязняют биопroduкцию.

Наряду с естественными природными миграционными потоками — водной миграцией, биологическим круговоротом элементов — появился новый поток в результате хозяйственной деятельности человека, превышающий природную миграцию металлов. Если проблема количества урожая в мировой практике сельского хозяйства решена, то проблема качества все время осложняется.

Недостаточно разработан вопрос экологической устойчивости



агроэкосистем, и чтобы такие системы не загрязнялись, химическая промышленность должна выпускать новые формы удобрений, не действующие негативно на биоту. Однако для этого нужны дорогостоящие фундаментальные исследования. Воздействие человека даже на один компонент влечет изменение функциональной системы в целом. Сознательное регулирование обмена веществ между человеком и природой со времен Ю. Либиха, сделавшего первую попытку в этом направлении, является главной задачей человечества. Ю. Либих видел в удобрениях средство восстановления естественного плодородия, а Д. Н. Прянишников — способ повышения плодородия почв. Нельзя сознательно регулировать обмен веществ между человеком и природой, не зная количественных закономерностей этого обмена, масштаба круговорота отдельных элементов.

Агрохимики детально не изучали вопросы, связанные с биосферой в целом. Живое вещество пропускает через себя и аккумулирует атомы химических элементов земной коры, гидросферы и атмосферы, а завершив жизненный цикл, все возвращает. Из малых миграционных потоков складываются крупные циклы-круговороты, обеспечивающие продолжительность и постоянство жизни.

К сожалению, в последние годы в стране наблюдается резкое сокращение в подготовке агрохимических кадров.

Следует обратить особое внимание на те направления исследований в области агрохимии, решение которых имеет первоочередное значение для практического использования в земледелии удобрений, обеспечения наиболее высокой их агрономической и экономической эффективности. К ним относятся:

разработка теоретических основ питания растений, изучение взаимодействия элементов питания при их поступлении в растения, дальнейшее углубленное изучение роли элементов питания в физиолого-биохимических процессах с целью установления оптимального сочетания тех или иных элементов при решении различных задач по получению урожая определенного качества, с подготовкой соответствующих математических программ;

исследование механизма действия отдельных элементов питания при сбалансированном их применении на ход физиологических процессов и на устойчивость растений к неблагоприятным условиям внешней среды;

глубокий анализ экспериментальных данных для выработки принципов определения потребностей в удобрениях по почвенно-климатическим зонам геохимических провинций;

выяснение потенциальных возможностей различных сортов сельскохозяйственных культур по способности использовать элементы питания для создания урожая и разработка научно обоснованных коэффициентов использования из удобрений и почвы всеми сельскохозяйственными культурами по зонам страны при разных уровнях их продуктивности;

изучение действия перспективных форм комплекса макро- и микроудобрений на урожай сельскохозяйственных культур и его качество в объединенной всероссийской сети географических полевых опытов, проводимых по единым методике и программе на фоне возрастающих доз основных минеральных удобрений;

исследование баланса макро- и микроэлементов в длительных полевых опытах в севооборотах;

включение в исследования всех элементов, ранее не изучавшихся с агрономической точки зрения, а также определение возможного негативного действия элементов в связи с техногенным загрязнением и охраной окружающей среды;

постоянный контроль за правильностью принимаемых агрохимических решений в конкретных условиях методами растительной и почвенной диагностики питания; следует отметить, что имеющиеся методы визуальной и химической диагностики не в полной мере отвечают требованиям производства и срочно необходима разработка принципиально новых методов диагностики питания сельскохозяйственных культур;

усиление обеспечения средствами химизации основных традиционных земледельческих районов нашей страны, где без крупных капитальных вложений можно получить высокую отдачу от удобрений;

обработка всего используемого в стране посевного материала теми микроэлементами, потребность в которых установлена в результате предварительного анализа семян перед посевом; обработку семян недостающими микроэлементами целесообразно сочетать с протравливанием семян и широким использованием прилипателей;

охрана и улучшение окружающей среды в связи с применением удобрений на основе оптимизации питания растений и получения продукции высокого качества;

исследование механизма действия отдельных элементов питания при их сбалансированном применении на ход физиологических процессов и на устойчивость растений к неблагоприятным условиям внешней среды.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое агрохимия? Сформулируйте основные задачи агрохимии. 2. Каково состояние и перспективы химизации? 3. Расскажите о значении удобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. 4. В чем состоит экономическая эффективность применения удобрений? 5. Что такое биогеохимическая агрохимия? 6. Какова взаимосвязь агрохимии с биологическими, физико-химическими и другими науками? 7. Расскажите о роли отечественных и зарубежных ученых в развитии агрохимической науки и изучении вопросов питания растений. 8. Что такое баланс элементов питания? 9. Как влияет применение удобрений на качество урожая? 10. Назовите прогрессивные способы применения удобрений.

---

## Глава 2

# ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ И МЕТОДЫ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

---



*Питание* — это обмен веществ между растением и окружающей средой. Это переход веществ из среды (почва, воздух) в состав растительной ткани, в состав сложных органических соединений, синтезируемых растением, и выведение ряда веществ из него.

Обеспечение растений диоксидом углерода, осуществляемое листьями в результате воздушного питания, происходит, как правило, более равномерно, чем корневое питание. Для фотосинтеза необходимы свет, тепло, влажность, обеспеченность минеральными элементами. Интенсивность процесса определяется перечисленными факторами, а также биологическими особенностями растений и густотой их стояния.

Корневое питание растений зависит не только от их биологических особенностей, обеспеченности продуктами фотосинтеза, но и от интенсивности роста корневой системы, структуры и аэрации почвы, влажности, реакции среды, содержания питательных веществ, форм и соотношений минеральных элементов в почве, деятельности почвенной микрофлоры, корневых выделений и т. д.

### 2.1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ

Растение строит свой организм из определенных химических элементов, находящихся в окружающей среде. Оно состоит из сухого вещества и содержит значительное количество воды. В большинстве вегетативных органов сельскохозяйственных культур содержание воды составляет 70—95 %, а в семенах — от 5 до 15 %.

Обеспеченность растительных клеток водой во многом определяет скорость и направленность процессов жизнедеятельности в растительном организме. В свою очередь, условия минерального питания, а также условия водоснабжения и биологические особенности растений определяют уровень содержания в них воды.

В состав сухого вещества растений входит 90—95 % органических соединений и 5—10 % минеральных солей.

Основные органические вещества представлены в растениях белками и другими азотистыми соединениями, жирами, крахмалом, сахарами, клетчаткой, пектиновыми веществами (табл. 8—10).

### 8. Средний химический состав урожая сельскохозяйственных растений, % (по Плешкову)

| Культура                     | Вода | Белки | Сырой<br>протеин | Жиры | Крахмал,<br>сахара и<br>другие<br>углеводы,<br>кроме<br>клетчатки | Клет-<br>чатка | Зола |
|------------------------------|------|-------|------------------|------|---|----------------|------|
| Пшеница (зерно)              | 14   | 14    | 15               | 2,0  | 65  | 2,5            | 1,7  |
| Рожь (зерно)                 | 14   | 12    | 13               | 2,0  | 68  | 2,3            | 1,6  |
| Овес (зерно)                 | 13   | 11    | 12               | 4,2  | 55  | 10             | 3,5  |
| Ячмень (зерно)               | 13   | 9     | 10               | 2,2  | 65  | 5,5            | 3,0  |
| Рис (очищенное зерно)        | 11   | 7,0   | 8,0              | 0,8  | 78  | 0,6            | 0,5  |
| Кукуруза (зерно)             | 15   | 9     | 10               | 4,7  | 66  | 2,0            | 1,5  |
| Гречиха (зерно)              | 13   | 9     | 11               | 2,8  | 62  | 8,8            | 2,0  |
| Горох (семена)               | 13   | 20    | 23               | 1,5  | 53  | 5,4            | 2,5  |
| Фасоль (семена)              | 13   | 18    | 20               | 1,2  | 58  | 4,0            | 3,0  |
| Соя (семена)                 | 11   | 29    | 34               | 16   | 27  | 7,0            | 3,5  |
| Подсолнечник (ядра)          | 8    | 22    | 25               | 50   | 7,0   | 5,0            | 3,5  |
| Лен (семена)                 | 8    | 23    | 26               | 35   | 16  | 8,0            | 4,0  |
| Картофель (клубни)           | 78   | 1,3   | 2,0              | 0,1  | 17  | 0,8            | 1,0  |
| Сахарная свекла (корнеплоды) | 75   | 1,0   | 1,6              | 0,2  | 19  | 1,4            | 0,8  |
| Кормовая свекла (корнеплоды) | 87   | 0,8   | 1,5              | 0,1  | 9,0   | 0,9            | 0,9  |
| Морковь (корнеплоды)         | 86   | 0,7   | 1,3              | 0,2  | 9,0   | 1,1            | 0,9  |
| Лук репчатый                 | 85   | 2,5   | 3,0              | 0,1  | 8,0   | 0,8            | 0,7  |
| Клевер (зеленая масса)       | 75   | 3,0   | 3,6              | 0,8  | 10  | 6,0            | 3,0  |
| Ежа сборная (зеленая масса)  | 70   | 2,1   | 3,0              | 1,2  | 10  | 10,5           | 2,9  |

### 9. Средний химический состав семян масличных культур, % сухой массы

| Культура      | Жиры | Белки | Клетчатка | Другие<br>углеводы | Зола |
|---------------|------|-------|-----------|--------------------|------|
| Подсолнечник: |      |       |           |                    |      |
| целые семена  | 34   | 16    | 25        | 20                 | 3,8  |
| ядра          | 56   | 26    | 6         | 6                  | 3,8  |
| Лен           | 37   | 26    | 8         | 22                 | 4,0  |
| Конопля       | 34   | 22    | 19        | 20                 | 4,0  |

### 10. Среднее содержание основных веществ в овощных, плодовых и ягодных культурах, % сырой массы

| Культура             | Сахара | Органиче-<br>ские<br>кислоты | Азотистые<br>вещества | Клет-<br>чатка | Зола | Аскорбино-<br>вая кисло-<br>та, мг/100 г |
|----------------------|--------|------------------------------|-----------------------|----------------|------|--|
| Капуста белокочанная | 4,0    | 0,3                          | 1,3                   | 0,8            | 0,7  | 30                                       |
| Капуста цветная      | 3,0    | 0,1                          | 2,5                   | 1,2            | 0,8  | 100                                      |
| Томат                | 3,0    | 0,5                          | 0,6                   | 0,2            | 0,5  | 30                                       |
| Перец сладкий        | 4,0    | 0,2                          | 1,5                   | 1,0            | 0,7  | 200                                      |
| Баклажан             | 3,0    | 0,2                          | 0,9                   | 1,0            | 0,5  | 5  |
| Огурец               | 1,5    | 0,005                        | 0,8                   | 0,5            | 0,4  | 5  |
| Лук                  | 10,0   | 0,2                          | 1,6                   | 0,6            | 0,5  | 7  |
| Чеснок               | 0,5    | 0,2                          | 7,0                   | 1,0            | 1,0  | 15                                       |

Продолжение

| Культура  | Сахара | Органиче-<br>ские<br>кислоты | Азотистые<br>вещества | Клет-<br>чатка | Зола | Аскорбино-<br>вая кисло-<br>та, мг/100 г |
|-----------|--------|------------------------------|-----------------------|----------------|------|--|
| Яблоня    | 9,0    | 0,7                          | 0,4                   | 1,0            | 0,4  | 25                                       |
| Груша     | 10,0   | 0,2                          | 0,4                   | 0,8            | 0,4  | 15                                       |
| Виноград  | 18,0   | 0,7                          | 0,7                   | 0,2            | 0,6  | 6  |
| Земляника | 18,0   | 1,4                          | 1,4                   | 1,2            | 0,5  | 50                                       |
| Крыжовник | 7,0    | 2,0                          | 0,8                   | 2,3            | 0,5  | 35                                       |
| Смородина | 8,0    | 2,5                          | 1,4                   | 2,0            | 0,5  | 200                                      |
| Вишня     | 9,0    | 1,8                          | 0,9                   | 0,2            | 0,5  | 17                                       |
| Апельсин  | 7,0    | 1,4                          | 0,9                   | 2,5            | 0,7  | 65                                       |
| Лимон     | 2,5    | 5,8                          | 0,9                   | 2,5            | 0,6  | 55                                       |

Качество сельскохозяйственной продукции определяется содержанием в ней необходимых органических и минеральных соединений.

Различные сельскохозяйственные культуры выращивают для получения продукции с определенным содержанием белков, сахаров, клетчатки, витаминов и других веществ. Например, высокое содержание клетчатки в сене ухудшает его кормовые свойства, в то же время такие культуры, как хлопчатник, лен, коноплю, выращивают ради получения волокна, которое состоит в основном из клетчатки.

Качество сахарной свеклы оценивают по содержанию сахарозы. Бобовые культуры оценивают по величине накопления белка.

Растения и сухая растительная масса значительно различаются по элементному составу. Рассмотрим среднее содержание химических элементов в растениях (по Виноградову). Основную часть массы живых растений составляет кислород.

| Химический<br>элемент | Содержание<br>в растениях, % | Химический<br>элемент | Содержание<br>в растениях, % |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Кислород              | 70                           | Кобальт               | $2 \cdot 10^{-5}$            |
| Углерод               | 18                           | Алюминий              | 0,02                         |
| Водород               | 10                           | Натрий                | 0,02                         |
| Кальций               | 0,3                          | Железо                | 0,02                         |
| Калий                 | 0,3                          | Хлор                  | 0,01                         |
| Азот                  | 0,3                          | Марганец              | $1 \cdot 10^{-3}$            |
| Кремний               | 0,15                         | Хром                  | $5 \cdot 10^{-4}$            |
| Магний                | 0,07                         | Рубидий               | $5 \cdot 10^{-4}$            |
| Фосфор                | 0,07                         | Цинк                  | $3 \cdot 10^{-4}$            |
| Сера                  | 0,05                         | Молибден              | $3 \cdot 10^{-4}$            |
| Медь                  | $2 \cdot 10^{-4}$            | Фтор                  | $1 \cdot 10^{-5}$            |
| Титан                 | $1 \cdot 10^{-4}$            | Литий                 | $1 \cdot 10^{-5}$            |
| Ванадий               | $1 \cdot 10^{-4}$            | Йод                   | $1 \cdot 10^{-5}$            |
| Бор                   | $1 \cdot 10^{-4}$            | Свинец                | $n \cdot 10^{-5}$            |
| Барий                 | $n \cdot 10^{-4}$            | Кадмий                | $10^{-6}$                    |
| Стронций              | $n \cdot 10^{-4}$            | Цезий                 | $n \cdot 10^{-6}$            |
| Цирконий              | $n \cdot 10^{-4}$            | Селен                 | $10^{-6}$                    |
| Никель                | $5 \cdot 10^{-5}$            | Ртуть                 | $n \cdot 10^{-7}$            |
| Мышьяк                | $3 \cdot 10^{-5}$            | Радий                 | $n \cdot 10^{-14}$           |

Из диоксида углерода, поглощаемого в основном листьями, и воды, поступающей через корни, в растении в процессе фотосинтеза образуются простые безазотистые органические вещества, состоящие из углерода, кислорода и водорода; в состав белков входит еще азот. На долю углерода, кислорода, водорода и азота приходится 95 % сухой массы растений (углерод 45 %, кислород 42, водород 6,5, азот 1,5 %). Эти четыре элемента названы *органогенными*.

При сжигании растения остаются зольные элементы, на долю которых приходится около 5 % массы сухого вещества.

Содержание азота и зольных элементов в растениях зависит от биологических особенностей и условий выращивания и неодинаково в различных органах. Например, в корнях, стеблях и листьях больше зольных элементов, чем в семенах (табл. 11).

**11. Содержание основных элементов питания в различных сельскохозяйственных растениях, % на воздушно-сухое вещество (по Петухову и др.)**

| Культура                     | N    | Зольные элементы              |                  |      |      | Всего золы |
|------------------------------|------|-------------------------------|------------------|------|------|------------|
|                              |      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | MgO  | CaO  |            |
| Пшеница:                     |      |                               |                  |      |      |            |
| зерно                        | 2,50 | 0,85                          | 0,50             | 0,15 | 0,07 | 1,7        |
| солома                       | 0,50 | 0,20                          | 0,90             | 0,10 | 0,28 | 4,8        |
| Рожь озимая:                 |      |                               |                  |      |      |            |
| зерно                        | 2,00 | 0,85                          | 0,60             | 0,12 | 0,10 | 1,8        |
| солома                       | 0,45 | 0,26                          | 1,00             | 0,09 | 0,29 | 3,9        |
| Кукуруза (зерно)             | 1,80 | 0,57                          | 0,37             | 0,20 | 0,03 | 1,50       |
| Ячмень яровой:               |      |                               |                  |      |      |            |
| зерно                        | 2,10 | 0,85                          | 0,55             | 0,16 | 0,10 | 3,00       |
| солома                       | 0,50 | 0,20                          | 1,00             | 0,09 | 0,33 | 4,50       |
| Овес:                        |      |                               |                  |      |      |            |
| зерно                        | 2,10 | 0,85                          | 0,50             | 0,17 | 0,16 | 2,90       |
| солома                       | 0,65 | 0,35                          | 1,60             | 0,12 | 0,38 | 6,40       |
| Рис (зерно)                  | 1,20 | 0,81                          | 0,31             | 0,18 | 0,07 | 5,20       |
| Горох:                       |      |                               |                  |      |      |            |
| семена                       | 4,50 | 1,00                          | 1,25             | 0,13 | 0,09 | 2,60       |
| зеленая масса                | 0,65 | 1,15                          | —                | 0,14 | 0,35 | 1,40       |
| Фасоль (семена)              | 3,68 | 1,38                          | 1,72             | 0,29 | 0,24 | 3,90       |
| Люпин:                       |      |                               |                  |      |      |            |
| семена                       | 4,80 | 1,42                          | 1,14             | 0,45 | 0,28 | 3,70       |
| зеленая масса                | 0,55 | 0,11                          | 0,30             | 0,06 | 0,16 | 0,90       |
| Соя (семена)                 | 5,80 | 1,04                          | 1,26             | 0,25 | 0,17 | 2,80       |
| Лен:                         |      |                               |                  |      |      |            |
| семена                       | 4,00 | 1,35                          | 1,00             | 0,47 | 0,27 | 3,30       |
| солома                       | 0,62 | 0,42                          | 0,97             | 0,20 | 0,69 | 3,00       |
| Подсолнечник:                |      |                               |                  |      |      |            |
| семена                       | 2,61 | 1,39                          | 0,96             | 0,51 | 0,20 | 3,30       |
| целое растение               | 1,56 | 0,76                          | 5,25             | 0,68 | 1,53 | 10,0       |
| Свекла сахарная (корнеплоды) | 0,24 | 0,08                          | 0,25             | 0,05 | 0,06 | 0,60       |

Продолжение

| Культура                         | N    | Зольные элементы              |                  |      |      | Всего золы |
|----------------------------------|------|-------------------------------|------------------|------|------|------------|
|                                  |      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | MgO  | CaO  |            |
| Свекла кормовая (корнеплоды)     | 0,19 | 0,07                          | 0,42             | 0,04 | 0,04 | 0,80       |
| Картофель (клубни)               | 0,32 | 0,14                          | 0,60             | 0,06 | 0,03 | 1,00       |
| Брюква (корнеплоды)              | 0,21 | 0,11                          | 0,35             | 0,03 | 0,04 | 0,70       |
| Морковь кормовая (корнеплоды)    | 0,18 | 0,11                          | 0,40             | 0,05 | 0,07 | 0,09       |
| Капуста (кочаны)                 | 0,33 | 0,10                          | 0,35             | 0,03 | 0,07 | 0,70       |
| Томат (плоды)                    | 0,26 | 0,07                          | 0,32             | 0,06 | 0,04 | 0,70       |
| Травы (сено луговое)             | 0,70 | 0,70                          | 1,80             | 0,41 | 0,95 | 7,48       |
| Люцерна в начале цветения        | 2,60 | 0,65                          | 1,50             | 0,31 | 2,52 | 6,29       |
| Клевер луговой в период цветения | 1,97 | 0,56                          | 1,50             | 0,76 | 2,35 | 5,38       |
| Вика в период цветения           | 2,27 | 0,62                          | 1,00             | 0,46 | 1,63 | 4,54       |
| Тимофеевка                       | 1,55 | 0,70                          | 2,04             | 0,20 | 0,49 | 5,91       |

*Примечание.* Для корнеплодов, овощных культур и зеленой массы содержание основных элементов питания дано на сырое вещество.

Состав золы различных растений различен и отражает неодинаковую потребность культур в элементах минерального питания (табл. 12). Содержание фосфора и калия в золе растений принято выражать в форме соответствующих оксидов.

#### 12. Примерное содержание отдельных элементов в золе растений, % ее массы (Смирнов, Муравин)

| 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: |                               |                  |     |     |                 |                   |                  |
| корни            | 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                |

На долю калия в золе листьев большинства растений приходится 30—50 %, а в люцерне, клевере, вике содержание кальция значительно выше, чем калия. Содержание калия, фосфора и серы снижается в старых листьях, а кальция повышается от 20—40 до 50—60 % от массы золы.

В растениях обнаружено более 70 химических элементов. Можно предположить, что современные методы анализа позволят в дальнейшем расширить эти данные. Элементы, необходимые растениям, относятся к различным группам Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева.

## 2.2. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, НЕОБХОДИМЫЕ РАСТЕНИЯМ

На данном этапе развития научных знаний 20 элементов относят к необходимым элементам питания и 12 элементов считают условно необходимыми (условно необходимые элементы даны в скобках):

- I. H, (Li), Na, K, Cu, (Ag).
- II. Mg, Ca, Zn, (Sr, Cd).
- III. B, (Al).
- IV. C, (Si), (Ti, Pb).
- V. N, P, V.
- VI. O, S, Mo, (Cr, Se).
- VII. Cl, I, Mn, (F).
- VIII. Fe, Co, (Ni).

К необходимым относят элементы, без которых растения не могут полностью закончить цикл развития и которые нельзя заменить другими элементами. По 12 условно необходимым элементам в ряде опытов имеются сведения об их положительном действии.

Элементы, содержащиеся в растительном организме в значительных количествах (от сотых долей до целых процентов), называют *макроэлементами*. Элементы, содержание которых в растениях выражается тысячными и сотыми долями процентов, относят к *микроэлементам*, а элементы, находящиеся в еще меньших количествах, — к *ультрамикроэлементам*. Такое деление весьма условно. Например, железо по количественному содержанию следует относить к макроэлементам, а по выполняемым функциям — к микроэлементам.

Содержание микроэлементов в различных органах растений имеет определенные закономерности. Например, марганец и молибден, как правило, в больших количествах содержатся в листьях, а цинк, бор, кобальт, медь при достаточной обеспеченности этими элементами накапливаются как в вегетативных, так и в генеративных органах. Для зерновых культур характерно относительно более высокое содержание бора в зерне, а для большинства бобовых растений — в вегетативных органах.

Разные биологические группы растений существенно различаются по своим требованиям к оптимальным концентрациям отдельных микроэлементов. Например, кукуруза и табак нуждаются в больших количествах цинка, зерновые культуры отзывчивы на дополнительное обеспечение марганцем и молибденом.



Особенности содержания и распределения в растениях элементов минерального питания определяют различия в требованиях отдельных сельскохозяйственных культур к элементам питания.

Содержание основных элементов минерального питания в сухом веществе типичного растения (Смирнов, Муравин) приведено ниже:

| Макроэлемент | Содержание,<br>тыс. на 1 млрд атомов | Микроэлемент | Содержание,<br>тыс. на 1 млрд атомов |
|--------------|--------------------------------------|--------------|--------------------------------------|
| N            | 10000                                | B            | 3                                    |
| P            | 1060                                 | Mn           | 1                                    |
| K            | 3760                                 | Zn           | 0,3                                  |
| Ca           | 1840                                 | Cu           | 0,1                                  |
| Mg           | 1740                                 | Mo           | 0,005                                |
| S            | 580                                  | Co           | 0,001                                |
| Fe           | 130                                  |              |                                      |

### 2.3. СООТНОШЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В РАСТЕНИЯХ И ИХ ВЫНОС С УРОЖАЕМ

Биологические особенности растений, а также условия их выращивания определяют вынос элементов минерального питания с урожаями различных культур.

Различают биологический и хозяйственный вынос элементов питания. *Биологический вынос* — это вынос питательных веществ из почвы всеми частями растения: основной и побочной продукцией, убираемой с поля, пожнивными остатками, корнями, опавшими листьями, оставшимися на поле.

Под *хозяйственным выносом* подразумевают вынос питательных веществ с урожаем убираемой с поля основной и побочной продукции (например, зерно и солома) (табл. 13).

**13. Хозяйственный вынос основных элементов питания урожаем  
сельскохозяйственных культур, % от биологического**

| Культура                                  | N  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|---|----|-------------------------------|------------------|
| Многолетние травы (клевер с тимopheевкой) | 48 | 48                            | 52               |
| Клевер первого года пользования           | 40 | 40                            | 50               |
| Клевер второго года пользования           | 40 | 40                            | 47               |
| Однолетние травы (вика, горох с овсом)    | 61 | 68                            | 66               |
| Зерновые                                  | 75 | 79                            | 64               |
| Картофель                                 | 71 | 72                            | 79               |
| Кукуруза на силос                         | 80 | 82                            | 71               |
| Кормовые бобы на силос                    | 76 | 85                            | 70               |
| Томат                                     | 66 | 72                            | 86               |
| Огурец                                    | 53 | 60                            | 58               |
| Капуста белокочанная                      | 55 | 49                            | 38               |
| Лук-репка                                 | 67 | 73                            | 80               |
| Капуста цветная                           | 25 | 21                            | 27               |

Соотношение элементов питания, расходуемых на создание сельскохозяйственной продукции, может значительно меняться в зависимости от культуры и структуры урожая. Например, при увеличении в биологическом урожае зерновых доли соломы на создание 1 т продукции (зерна) затрачивается значительно больше элементов питания. У картофеля, подсолнечника, капусты, сахарной свеклы гораздо выше потребление калия по сравнению с зерновыми культурами. Клеверу и конопле присуще высокое потребление кальция (табл. 14).

**14. Среднее соотношение питательных веществ в урожае различных культур**

| Культура        | N       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO     |
|-----------------|---------|-------------------------------|------------------|---------|
| Зерновые        | 2,5—3   | 1,0                           | 1,5—2,2          | 0,5     |
| Лен             | 2,0     | 1,0                           | 1,5              | 1,0     |
| Конопля         | 2,0     | 1,0                           | 1,3              | 3,0—3,5 |
| Клевер          | 3,5     | 1,0                           | 3,0              | 4,0     |
| Картофель       | 2,5—3,5 | 1,0                           | 4,0—4,5          | —       |
| Сахарная свекла | 2,5—3,5 | 1,0                           | 3,5—5,0          | —       |
| Кормовая свекла | 3,5—4,5 | 1,0                           | 4,5—6,0          | —       |

Обычно в зерне содержится примерно в 4 раза больше азота и фосфора, чем в соломе, а калия и кальция в соломе в 2—3 раза больше, чем в зерне.

Вынос элементов питания товарной продукцией зависит от условий выращивания. Так, для образования 10 т корней и соответствующего количества ботвы в лесостепных районах сахарная свекла потребляет 50 кг азота, 15 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 60 кг K<sub>2</sub>O. При выращивании в Нечерноземной зоне у сахарной свеклы сильнее развиты листья, и на каждые 10 т корней потребляется 80—100 кг азота, 35 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 145 кг K<sub>2</sub>O.

Интенсивное применение минеральных удобрений значительно повышает вынос всех элементов минерального питания возрастающими урожаями сельскохозяйственных культур.

## **2.4. ПОСТУПЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В РАСТЕНИЯ**

Элементы питания растений относятся к факторам внешней среды и в то же время принципиально отличны от ряда других факторов (температуры, pH и т. д.), так как в процессе поглощения превращаются из внешнего фактора среды во внутренний фактор растительного организма.

Существуют два типа питания живых организмов: *автотрофный* — усвоение минеральных солей, воды и диоксида углерода и синтез из них органического вещества, и *гетеротрофный* — использование организмами готовых органических веществ. Живот-

ные и большинство микроорганизмов относятся к гетеротрофам. Растения — автотрофные организмы.

Благодаря процессу питания (воздушному и корневому) растение создает свои структурные элементы и при хорошо сбалансированном питании быстро наращивает массу.

В основе жизни растительного организма лежит многообразие реакций обмена как с внешней средой, так и внутри клетки и между клетками или различными органами. При этом сбалансированное поступление отдельных химических элементов обеспечивает последовательность и сопряженность всех биологических реакций и физиологических функций организма.

Основным процессом, в результате которого создаются органические вещества в растениях, является фотосинтез, хотя растения в небольших количествах могут усваивать из окружающей среды аминокислоты, ростовые вещества, витамины, антибиотики, а также  $\text{CO}_2$  в процессе темновой фиксации. Интенсивность усвоения элементов минерального питания зависит не только от биологических особенностей данного растения и условий внешней среды (наличие элементов в доступной форме и в достаточном количестве в почвенном растворе, необходимая температура, аэрация почвы и т. д.), но и от количества энергии и органических веществ, образованных им в процессе фотосинтеза.

Поступление минеральных веществ в растение лимитируют многие факторы. Растение через листья получает 95 % и более диоксида углерода и может усваивать путем некорневого питания из водных растворов также зольные элементы, серу и азот. Однако основное количество азота, воды и зольных элементов поступает в растение из почвы через корневую систему.

В зависимости от биологических особенностей и условий выращивания растения развивают корневую систему различной мощности. На бедных почвах и в засушливых районах в поисках пищи и воды они создают относительно большую массу корней.

Применение удобрений, как правило, несколько уменьшает соотношение массы корней и надземной массы растения, но повышает абсолютную величину этого показателя и глубину распространения корневой системы. Таким образом, удобрение сельскохозяйственных культур не только увеличивает надземную массу, но и положительно действует на развитие корневой системы.

Теория минерального питания получила подтверждение в 1858 г., когда в искусственной питательной среде (водная культура) впервые удалось довести растение до полного созревания. Позднее была предложена полная питательная смесь для выращивания растений в песчаных культурах.

О природе поглощения веществ живой клеткой определенные высказывания сделал еще Дютроше (1837), который считал, что проникновение в клетку воды и растворенных в ней веществ про-

исходит путем диффузии через пористые цитоплазматические мембраны.

Сакс отмечал «накопляющую диффузию», так как химические процессы, происходящие в клетке, постоянно нарушают равенство концентраций веществ внутри клеток и в окружающем их растворе.

Сторонниками диффузионно-осмотической теории были Пфеффер, Де Фриз, Майер и другие ученые. Согласно этой теории через корневую систему в растения вместе с водой засасываются питательные вещества, а вода постоянно испаряется. Таким образом, поступление питательных веществ находится в прямой зависимости от интенсивности транспирации растений. Однако имевшиеся данные о закономерностях поступления веществ в растения не укладывались в рамки представлений диффузионно-осмотической теории.

Отсутствие определенной зависимости между поступлением воды и питательных веществ в растения отмечал еще К. А. Тимирязев, который писал, что для питания растения не нуждаются в тех громадных количествах воды, которые они испаряют. Это же положение было развито в работах Д. А. Сабинаина. Им было показано, что при небольших количествах веществ в питательном растворе они значительно концентрируются в пасоке растений.

В конце XIX в. Овертоном была выдвинута липоидная теория, согласно которой проникновение веществ в клетку происходит в результате их растворения в липидных компонентах цитоплазматических мембран. Им наблюдалась корреляция между скоростью проникновения основных анилиновых красок в клетки растения с их растворимостью в липидах.

Траубе и Руланд, авторы ультрафильтрационной теории, считали, что проникновение питательных веществ через цитоплазматическую оболочку зависит от величины ее пор и размера молекул. Дравет наблюдал зависимость проникновения изучаемых кислых красок от размеров их молекул. Однако такие факты, как поглощение растениями аминокислот, фитина и других органических веществ с большим размером молекул, не укладываются в рамки данной теории.

В начале XX в. Дево установил возможность быстрого связывания катионов из сильно разбавленных растворов растительными клетками. Это положение способствовало возникновению и развитию адсорбционной теории. Было показано, что связанные катионы на основе взаимного эквивалентного обмена могут вытесняться обратно из тканей другими катионами. Таким образом, поглощение одних ионов сопровождается вытеснением других, причем интенсивность процесса зависит от концентрации и времени.

Во многих исследованиях Д. А. Сабинаина и других ученых прослеживается связь поглощения веществ с уровнем жизнедеятельности клеток, показана активная роль корневой системы в процессе поглощения веществ. Содержание веществ в пасоке зависит

от обеспеченности растений элементами питания, а также от видовых особенностей и возраста растений. Разная физиологическая активность клеток и тканей определяет их различный химический состав, неодинаковые электрические свойства.

Уровень метаболизма тканей определяет и уровень поглощения веществ. Стюардом, Лундегордом, Бюрстремом и другими учеными была установлена тесная связь дыхания тканей с процессом поглощения ионов минеральных солей. В работах Хогланда и Бройера показано, что увеличение поглощения веществ клетками и тканями растений наблюдается при лучшей аэрации питательного раствора, внесении глюкозы, повышении температуры и других условиях, вызывающих активизацию дыхания.

Д. А. Сабининым была доказана связь питания растений с образованием и развитием отдельных органов.

В приведенном кратком изложении исследований по минеральному питанию растений обсуждаются следующие теории: диффузионно-осмотическая, липоидная, ультрафильтрационная, адсорбционная.

Перечисленные теории имеют определенное значение в развитии взглядов на процесс поступления веществ в растения. Они, по существу, правильно, хотя и упрощенно, отражают различные стороны поступления элементов минерального питания.

В последние десятилетия теория поступления элементов минерального питания растений значительно эволюционировала, но и в современном виде включает ряд основных понятий из ранее выдвинутых теорий.

Корень — специализированная часть растения, закрепляющая его в почве и выполняющая функции поглощения, первичного усвоения, включения в метаболизм, распределения и транспорта воды и минеральных веществ. Он является органом, в котором осуществляются многочисленные биосинтетические процессы и выполняется ряд специальных функций.

Мощность и характер развития корневой системы в значительной мере определяют способность растений к усвоению питательных веществ. Общим является то, что основную массу питательных веществ поглощают молодые, растущие участки корня.

Зоны роста растущей части корня представлены зоной деления (меристемой), в которой клетки еще не дифференцированы на ткани, зоной растяжения и зоной корневых волосков, имеющей развитые элементы ксилемы и флоэмы и эпидермис с корневыми волосками (рис. 5). Клетки зоны корневых волосков наиболее интенсивно поглощают элементы минерального питания по сравнению с зоной деления и зоной растяжения.

Корневая система полевых культур представляет собой огромную поглощающую поверхность. Наибольшего развития поверхность корней, в том числе и деятельная, достигает, как правило, в период цветения (табл. 15).

### 15. Изменение площади поверхности корней яровой пшеницы

| Фаза развития     | Поверхность корней одного растения, м <sup>2</sup> |            | Отношение деятельной поверхности к недейтельной |
|-------------------|--|------------|---|
|                   | общая  | дейтельная |   |
| Кушение           | 9,60   | 4,91       | 1,05  |
| Выход в трубку    | 29,39  | 10,81      | 0,59  |
| Начало цветения   | 36,73  | 17,07      | 0,86  |
| Конец цветения    | 40,09  | 24,76      | 1,30  |
| Восковая спелость | 30,86  | 14,80      | 0,92  |

Поглощающую поверхность корня очень сильно увеличивает наличие корневых волосков. Считается, что зона корневых волосков и является зоной поглощения. Однако поглощение элементов питания может происходить вдоль корня на 0,5 и даже на 1 м от кончика корня, т. е. там, где корневых волосков уже нет.

В опытах Рассела и Кларксона передвижение фосфатов у ячменя из зоны 40 см и более от кончика корня было таким же, как в зоне корневых волосков.

Корневые волоски не обладают специальными поглотительными свойствами. Об этом говорит опыт Кларксона. Если вырастить ячмень в водной культуре с сильной аэрацией раствора (при постоянном его перемешивании), то на корнях корневые волоски не образуются, а поглощение ионов тем не менее идет весьма интенсивно. Вероятно, основная роль корневых волосков заключается в максимальном увеличении поверхности корня для обеспечения снабжения растений в первую очередь фосфором. Как известно, движение фосфора в почве очень медленное, а скорость его поглощения растением высокая. За короткий срок корни поглощают весь окружающий их фосфор и увеличивают свою поверхность для поглощения следующих количеств фосфора. Другие ионы имеют большую подвижность по сравнению с фосфором, и для их поглощения корневые волоски менее необходимы. Следует отметить, что в почве согласно хемотропизму, корень растет и продвигается в сторону большей концентрации питательных элементов.

Растения, развивая мощную корневую систему в процессе вегетации, осваивают все новые и новые участки почвы, и корни вступают в контакт с новыми количествами питательных веществ почвы. Вследствие активного по-

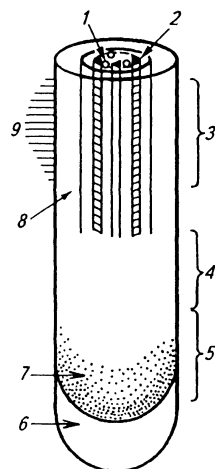


Рис. 5. Строение корня:

1 — флоэма; 2 — ксилема; 3 — зона корневых волосков; 4 — зона растяжения; 5 — зона деления; 6 — корневой чехлик; 7 — апикальная меристема; 8 — первичная кора; 9 — эпиблема с корневыми волосками

глощения корнями воды постоянно происходит движение почвенного раствора в направлении корней растений.

Когда из-за интенсивного поглощения растениями питательных веществ в зоне корня наблюдается снижение концентрации раствора, питательные вещества поступают к корню по законам диффузии.

Деятельность корневой системы тесно связана с надземными органами растения.

Функция корня заключается не только в поглощении и передвижении воды и элементов минерального питания, в корневой системе осуществляется синтез ряда физиологически активных веществ, аминокислот и белков. Не все количество питательных элементов транспортируется в надземные органы растений, часть их включается в синтетические процессы, происходящие непосредственно в корневой системе.

Из нижних, закончивших рост листьев в корни оттекают ассимиляты в форме сахарозы. Используя сахарозу, корень способен успешно синтезировать все многообразие соединений, из которых формируются клетки, осуществляющие основные функции корня.

Сахароза, поступившая в корень, используется в следующих процессах: на метаболизм самого корня, на рост корня и поддержание зрелых, функционирующих клеток в физиологически активном состоянии; на построение веществ, выделяемых корнем в наружную среду; на построение веществ, поступающих с пасок в надземные органы, т. е. на обеспечение синтетической деятельности корня.

Набор органических кислот в корнях разнообразен и обязан своим происхождением превращениям притекающей в корень сахарозы. На корневые выделения растения расходуют небольшие количества ассимилятов. Например, из корней бобов выделяется в виде органических соединений всего лишь 0,5—0,7 % углерода, поступившего в листья в форме  $\text{CO}_2$ . В составе корневых выделений обнаружены сахар, аминокислоты, органические кислоты и в меньшем количестве — витамины, ферменты, летучие органические вещества, в частности этилен.

Выделительная функция корня связана с поглощением питательных веществ. Например, люпин может за счет подкисляющего действия корневых выделений лучше усваивать фосфор из труднорастворимых соединений.

Корневые выделения по количеству и составу специфичны и определяются видовыми и сортовыми особенностями растений. Так, у бобовых они богаче аминокислотами, чем у злаков.

Накопление корневых выделений при выращивании изолированных корней в стерильных условиях ведет к подавлению роста. Оно обусловлено накоплением аминокислот — основного компонента корневых выделений — до концентраций, токсичных для растений.

В 1940 г. Д. А. Сабинин выдвинул концепцию о превращениях

веществ при их прохождении через корень и в дальнейшем развил положение о синтетической деятельности корня. Основные положения этой концепции сводятся к следующему.

1. Корень способен не только поглощать минеральные элементы, но и полностью или частично перерабатывать их и подавать в надземные органы в измененном виде.

2. Синтетическая деятельность корня осуществляется на основе притекающих в корни ассимилятов, т. е. зависит от фотосинтеза.

3. Корень оказывает воздействие на надземные органы путем не только обеспечения водой и минеральными элементами, но и продуктами специфических реакций обмена веществ, протекающих в корнях, — фитогормонами неауксиновой природы.

Среди ростовых веществ, обнаруживаемых в пасоке, в первую очередь следует назвать *цитокинины*, которые рассматривают как фактор, способствующий интенсивному метаболизму листьев и задерживающий их старение. Вырабатываются цитокинины главным образом в корне и частично в листьях.

*Гиббереллины* необходимы для роста стебля. Прекращение роста надземных органов при удалении корней связано не только с ухудшением поступления элементов питания, но и с прекращением притока из корней цитокининов и гиббереллинов. Образование в период активного роста воздушных корней на стеблях и стволах растений можно объяснить необходимостью выработки цитокининов и гиббереллинов.

Интересно, что при старении растений в клетках повышается концентрация кальция и снижается концентрация калия. Присутствие в больших количествах ионов  $K^+$  характерно для молодого, активно функционирующего растительного организма. Следует отметить, что обработка растений ростовым веществом кинетин способствует выводу из клеток ионов  $Ca^{2+}$  и увеличению концентрации ионов  $K^+$ . Желтеющие листья вновь становятся зелеными, прекращается разрушение субклеточных структур и значительно усиливается биосинтез белка.

Мембрана определяет способность клетки к избирательному поглощению ионов. Она способна осуществлять реакции обмена веществ и энергии. Контакт клетки с окружающей средой осуществляет цитоплазматическая мембрана, или плазмалемма. Одновременно плазмалемма принимает участие во многих других функциях клетки. По современным представлениям, мембрана клеток состоит из двух слоев фосфолипидов, которые смыкаются гидрофобными концами. В определенных участках в молекулы фосфолипидов встроены белки, т. е. плазмалемма представляет собой бимолекулярный фосфолипидный слой со встроенными молекулами белков-переносчиков (рис. 6). Благодаря мозаичной структуре отдельные участки цитоплазматической мембраны имеют положительные и отрицательные заряды, за счет которых может происходить адсорбция катионов и анионов из наружной среды





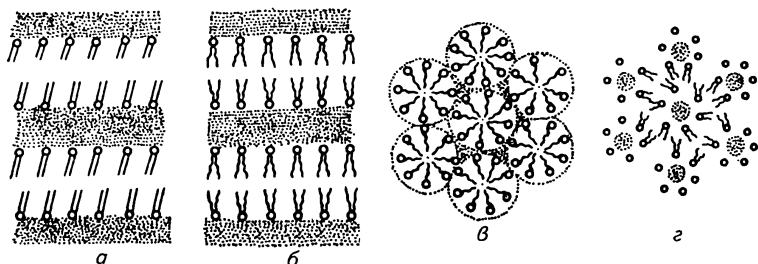


Рис. 7. Структура липидных агрегатов:

*а* — гелеобразная; *б* — ламеллярная (слоистая); *в* — цилиндры липидов в воде; *г* — цилиндры воды в липидной фазе

на веществ. Часть белков мембраны обладает каталитической активностью и является ферментами. Мембранные белки в виде белковых глобул имеют гидрофобный якорь, т. е. часть молекул способна взаимодействовать с липидами. Белки могут быть связаны с полярными головками липидов мембраны через мостики, образуемые катионами двухвалентных металлов (рис. 9).

Белковая глобула плавает в жидком бислое мембраны и может перемещаться в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Молекулы растворенного вещества непрерывно хаотически движутся в растворе, сталкиваясь с другими молекулами и молекулами растворителя.

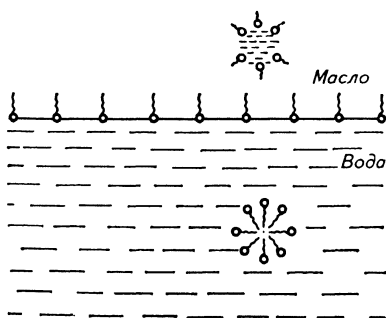


Рис. 8. Мономолекулярный слой липидов на поверхности раздела вода — масло и мицеллы липидов в масле и воде

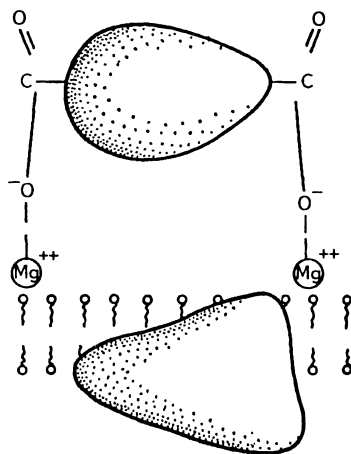


Рис. 9. Способ крепления отрицательно заряженных белков и полярных головок мембранных липидов через мостики, образуемые ионами двухвалентных металлов

Если мембрана разделяет два раствора различной концентрации, то в зависимости от ее проницаемости через нее будет проходить растворитель или растворенное вещество, и в результате процесса диффузии произойдет выравнивание концентрации. Вначале наблюдается чистое перемещение веществ через мембрану (I), затем устанавливается динамическое равновесие и чистый поток отсутствует (II) (Кларксон, 1978) (рис. 10). На рисунке 11 показано, как вначале наблюдается чистое перемещение молекул воды (светлые кружки) в камеру А, поскольку мембрана непроницаема для растворенного вещества. После достижения стационарного состояния (II) устанавливается разность уровней раствора между камерами А и В, величина которой пропорциональна начальной разности концентрации растворенного вещества (осмотическому потенциалу) (Кларксон, 1978).

Через мембрану любой клетки зоны поглощения корня одновременно проникают сотни различных веществ, растворимых не только в жирах, но и в воде.

Прохождение этих веществ по механизму пассивного транспорта может осуществляться, если предположить в мембранах наличие гидрофильных отверстий (пор). Неспецифический пассивный транспорт ионов и молекул может идти путем диффузии через поры мембраны (для гидрофильных веществ), а нейтральных молекул — также путем растворения проникающего вещества в мембране (для веществ, хорошо растворимых в жирах).

Расчеты показывают, что площадь пор в мембране должна составлять не более 0,1 % ее поверхности.

Если частицы несут электрические заряды, процесс прохожде-

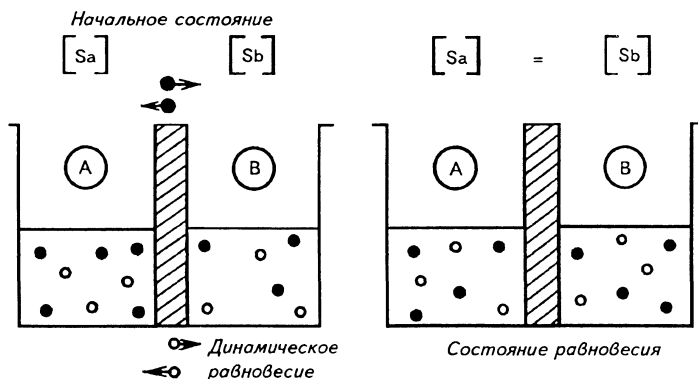


Рис. 10. Распределение молекул растворенного вещества в результате диффузии через проницаемую мембрану.  $[Sa]$  и  $[Sb]$  — концентрации растворенного вещества в камерах А и В. Черные кружки — молекулы растворенного вещества, светлые кружки — молекулы воды

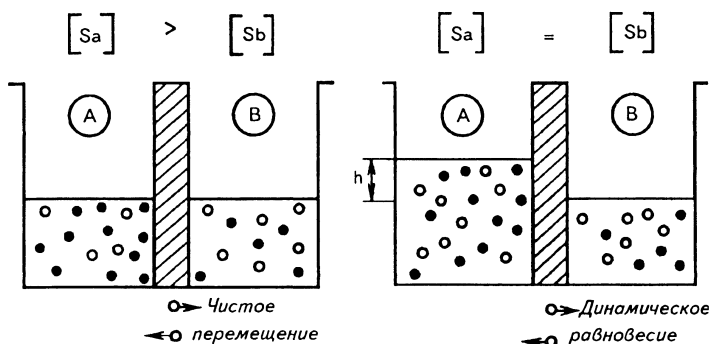


Рис. 11. Движение молекул воды через полупроницаемую мембрану, разделяющую две камеры, первоначально заполненные раствором вещества (черные кружки) в разной концентрации

ния зависит от разности концентрации и электрического потенциала.

Например, при наличии растворов поваренной соли разной концентрации ионы  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$  устремляются из концентрированного раствора в более слабый. Но ионы  $\text{Cl}^-$  в водной среде более подвижны, и поэтому более слабый раствор быстро становится заряженным отрицательно по отношению к более концентрированному. Между растворами возникает разность потенциалов (диффузионный потенциал). Если между растворами поместить мембрану, пропускающую одни ионы и задерживающую другие, то возникнет *мембранный потенциал*. Когда в одном из растворов (А) некоторые катионы настолько велики, что не могут проходить через мембрану, то из второго раствора (Б) вслед за ионами натрия в первый раствор начнут поступать ионы хлора, несмотря на то что их движение совершается против градиента концентрации. Между двумя сторонами мембраны образуется разность потенциалов. Большие кружки — непроницаемый катион (белок). Цифрами указаны относительные концентрации ионов, при которых разность потенциалов составит около 10 mV (рис. 12).

Знание направления градиента электрохимических потенциалов необходимо для выяснения меха-

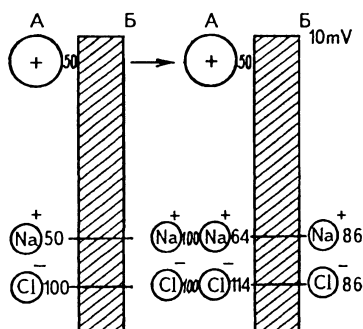


Рис. 12. Схема прохождения ионов через полупроницаемые мембраны

низма передвижения ионов. Для катионов градиент электрохимических потенциалов направлен внутрь клетки или корня, а для анионов — наружу. При определениях внутриклеточной концентрации катионов, как правило, обнаруживается большая величина, чем можно предположить теоретически на основе диффузии. Согласно закону пассивного поглощения анионы не могут попадать в клетки, однако они накапливаются в клетках корня и пасоке.

#### 2.4.1. ТЕОРИЯ ПОСТУПЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ

Обмен веществ между растением и окружающей средой осуществляется через поверхностно расположенные клетки корневой системы и надземных органов. Как известно, клеточные стенки растений легкопроницаемы (радиус ионов минеральных солей 0,4—0,6 нм, а средний радиус каналов в клеточной стенке 5—20 нм), и если бы они являлись единственным барьером между корнем растения и наружным питательным раствором, то происходило бы простое выравнивание концентрации ионов вследствие диффузии. Однако в растительных организмах питательные элементы, как правило, находятся в значительно более высоких концентрациях, чем в окружающем их питательном растворе. Более того, поступление отдельных элементов и их концентрирование осуществляются различно и не соответствуют соотношению концентраций элементов в питательном растворе. Это происходит благодаря плазмалемме, которая предотвращает потерю веществ, накопленных клеткой путем диффузии, одновременно обеспечивая проникновение воды и элементов минерального питания.

Поступление веществ против градиента концентрации требует затраты энергии.

Как было отмечено, существует ряд теорий поступления элементов в клетку. Сложный и многогранный процесс поступления элементов питания в корневую систему растений нельзя объяснить какой-то одной гипотезой или теорией. Вероятно, у растений имеется несколько поглотительных механизмов, постоянно меняющееся сочетание которых обуславливает течение всего процесса, причем один механизм дополняет другой.

Транспорт элементов питания в клетку обеспечивается двумя автономными механизмами — пассивным током веществ по электрохимическому градиенту и их активным переносом против электрохимического градиента. Так как ионы несут электрический заряд, то их распределение между клеткой и средой определяется как разностью электрических потенциалов, так и разностью концентраций. Суммарно эти две величины принято обозначать как *электрохимический градиент*.

Соотношение различных механизмов транспорта элементов питания может изменяться в онтогенезе растений и зависит от

многих условий. Так, например, роль пассивного поступления ионов увеличивается при повышении внешней концентрации солей (что возможно в условиях засоления или при локальном внесении удобрений).

Считается, что передвижение ионов по градиенту электрохимических потенциалов, определяемых зарядом ионов и разностью концентраций, пассивно, а против него — активно.

**Свободное пространство.** Ионы движутся (проходят) через клеточную оболочку к плазмалемме в результате процесса диффузии или вместе с растворителем в виде тока раствора. Транспирация воды листьями обеспечивает прямое прохождение воды и растворенных в ней веществ по принципу тока через клеточную оболочку. Однако этот процесс имеет значение для транспорта ионов только при очень интенсивной транспирации, например в жаркий летний день.

**Диффузия** — передвижение молекул газов, жидкостей или растворенного вещества по градиенту концентрации — зависит от градиента концентрации поглощенных веществ и площади, через которую проходят вещества или ионы. Постоянное прохождение ионов через плазмалемму влечет непрерывный подток к ней новых ионов для выравнивания концентрации.

Часть общего объема тканей корневой системы, в которую ионы поступают и из которой выделяются вследствие диффузии, называют *свободным пространством*. Оно составляет около 4—6 % общего объема корня и локализовано в рыхлой первичной оболочке клеточных стенок вне протопласта снаружи от плазмалеммы.

Свободное пространство делится на водное пространство, из которого ионы могут переходить путем диффузии в воду, и доннановское пространство, из которого ионы путем обмена выделяются только в солевой раствор. Оболочка корня клеток состоит из поверхностного рыхлого слоя с системой пор или каналов диаметром около 20 нм. По отношению к наружному раствору клетки корня заряжены отрицательно. Стенки пор или каналов свободного пространства, имея отрицательный заряд, притягивают к себе и удерживают катионы и отталкивают анионы. Уже на этом уровне в определенной мере проявляется избирательное поглощение ионов. В центральной части такого канала концентрация катионов равна концентрации наружного раствора. Эта часть может быть отнесена к водному пространству.

Обменное, или доннановское, пространство локализовано ближе к клеточным стенкам, где катионы концентрируются вследствие отрицательного заряда стенок.

Поступление элементов в свободное пространство происходит быстро и при повышении концентрации следует кривой насыщения (рис. 13). Оно слабоизбирательно и при действии ингибиторов и снижении температуры его конечная величина остается по-

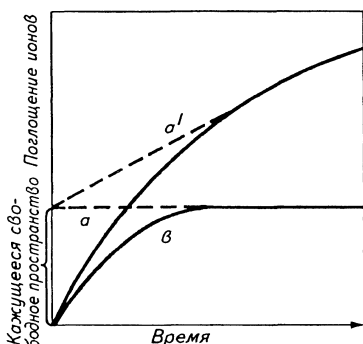


Рис. 13. Ход поглощения иона (с радиоактивной меткой) после переноса корней из чистой воды в раствор соли:

*a* — нормальный ход (неметаболическое + метаболическое поглощение), *в* — при 0°C или в присутствии ингибиторов дыхания (только неметаболическое поглощение), *a'* — метаболическое поглощение

стоянной. Это обратимый процесс, в котором диффузионные барьеры не участвуют. Отрицательно заряженной мембраной могут быть клеточная стенка с карбоксильными анионами протопектина и плазмалемма, воз-

можно, служащая пограничной мембраной свободного пространства с отрицательно заряженными частями молекул белков и фосфолипидов. На этом этапе поглощения большое значение имеет обменная адсорбция. Так, корень, выдержанный в растворе, содержащем  $\text{Ca}^{2+}$ , и перенесенный в раствор, содержащий  $\text{K}^+$ , теряет адсорбированный кальций в результате обменной адсорбции. Обширная сеть межклетников, имеющаяся в растительной ткани, обеспечивает дополнительную возможность транспорта. Рыхлые целлюлозные оболочки растительных клеток не только выполняют защитную и механическую функции, но и создают массу микроучастков для адсорбции и пассивного тока веществ по ткани, из которой клетки черпают необходимые им элементы питания.

Как уже отмечалось, вещества, поступившие в свободное пространство вследствие диффузии, могут подвергаться там первичной обменной адсорбции. При этом они могут вытесняться из свободного пространства в наружный раствор или во внутреннюю часть клетки. Физико-химическая сущность процесса адсорбции состоит в связывании клеточными оболочками элементов питания и удерживании их в виде ионов силами электростатического притяжения.

Следовательно, свободное пространство является тем непосредственным участком питательной среды и одновременно зоной поглощения, из которой жизнедеятельная часть клетки черпает необходимые для нормального обмена элементы питания. Дальше в зависимости от напряженности и типа обмена веществ осуществляется уже избирательное поглощение. Поступление элементов питания в свободное пространство правильнее рассматривать не как их поглощение, а как первый подготовительный этап поглощения.

Целлюлозные оболочки всех клеток растения соединяются между собой, образуя систему сосудов, называемую апопластом. В результате транспирации листьев в корнях путем массового тока

осуществляется засасывание воды и минеральных солей в межклеточные пространства. Чтобы достигнуть сосудов ксилемы для транспорта в наземные органы, питательные вещества должны преодолеть значительное расстояние в радиальном направлении поперек корня. Но этот путь движения ионов по апопласту прерывается поясками Каспари — водонепроницаемыми участками, в которых стенки между клетками пропитаны суберином — веществом, не пропускающим водные растворы. Однако часть ионов поступает к проводящим сосудам по внеклеточному пути через «пропускные клетки», в оболочке которых нет поясков Каспари. Кроме того, в растущем кончике корня эндодерма с поясками Каспари еще не образовалась, и поэтому ионы могут проникать по внеклеточному пути, минуя клеточные мембраны. Следует, однако, отметить, что лишь небольшое количество ионов поступает в растение по апопластическому пути, и его роль в балансе питательных элементов в нормальных условиях жизнедеятельности, по всей вероятности, незначительна.

Если ион преодолел клеточную мембрану (плазмалемму), дальнейшее его передвижение осуществляется по единой системе клеток — симпласту — от клетки к клетке, так как протопласты всех клеток связаны мостиками через плазмодесмы, которые осуществляют контакт плазмалеммы одной клетки с плазмалеммой другой клетки. Механизм плазмодесмы позволяет регулировать скорость транспорта элементов питания по симпластическому пути. Обычная скорость передвижения ионов, аминокислот, сахаров 2—4 см/ч.

**Этапы поступления.** Известно несколько этапов поступления.

1. Обогащение ионами свободного пространства апопласта за счет обменной адсорбции, диффузии, пассивной физико-химической адсорбции.

2. Преодоление ионами мембранного барьера и их переход в симпласт.

3. Радиальное передвижение ионов по тканям корня и сосудисто-волокнистым пучкам.

4. Включение ионов в метаболизм.

5. Вертикальное передвижение ионов по стеблям, черешкам и жилкам листьев.

6. Поступление в фотосинтезирующие клетки, утилизация и реутилизация, отток.

7. Транспорт ассимилятов и ионов вниз по флоэме в корни.

Из почвы в корневую систему ионы переходят по механизмам корневого перехвата, массового потока и диффузии. Существенное значение имеют не только наружные стенки клеток ризодермы, но и слизевой слой, покрывающий поверхность корня. *Муцигель* — слой слизи вокруг корневых волосков и молодых частей корня, интенсивно участвующий в процессе контактного обмена благодаря наличию отрицательно заряженных групп, что повышает катионообменную способность корней.



Клеточные оболочки составляют основную часть апопластического компартмента тканей, по которым осуществляется передвижение веществ. Прежде чем ионы будут активно поглощены плазмалеммой и вовлечены в симпласт, они должны пройти через свободное пространство апопласта клеток корня.

**Теория переносчиков и ионные насосы.** В последние годы сложилось представление о том, что питательные вещества поступают в корень в основном в виде ионов с обязательным их переходом через плазмалемму клетки. Этот переход может быть пассивным, т. е. по электрохимическому градиенту, и активным, или против электрохимического градиента.

Наибольшее значение имеет механизм активного транспорта ионов через фосфолипидную мембрану.

Избирательность поглощения ионов, повышение их концентрации внутри клеток, конкуренцию при поглощении клетками корня между химически близкими ионами объясняет теория переносчиков. Согласно этой теории ион преодолевает мембрану не в свободном виде, а в виде комплекса с молекулой переносчика. На внутренней стороне мембраны комплекс диссоциирует, освобождая ион внутри клетки. Перенос ионов внутрь клеток может осуществляться с помощью переносчиков различного типа.

Движущей силой транспорта с участием переносчика может быть либо химический градиент вещества, как и в случае пассивного переноса, либо электрохимический потенциал. В этом случае движение веществ происходит «под гору» и процесс называется *облегченной диффузией*. Функционирование системы с облегченной диффузией в итоге должно привести к выравниванию градиентов, к установлению равновесия в системе. Отсутствие в биологических мембранах систем облегченной диффузии для промежуточных продуктов метаболических процессов объясняется тем, что эти промежуточные продукты должны оставаться внутри клеток и соответствующих органелл.

По механизму облегченной диффузии вещества передвигаются по градиенту концентрации, но с высокой скоростью. Обычно через фосфолипидную мембрану ион проходит с такой же скоростью, как через слой воды.

У грибов, водорослей и бактерий роль переносчиков могут выполнять некоторые антибиотики, например валиномицин, в состав молекулы которого входят 6 карбонильных групп  $>C=O$ , кислородные атомы которых несут отрицательный заряд. Комплекс валиномицина с калием сильногидрофобный, так как наружу направлены углеводородные остатки, и легкорастворимый в углеводородной части мембраны. Поэтому валиномицин очень сильно повышает проницаемость мембран для калия, как бы образуя в них «калиевую дырку».

Ионная проницаемость фосфолипидных мембран сильно увеличивается под влиянием некоторых антибиотиков, вырабатывае-

мых бактериями и грибами. Из антибиотиков, вызывающих образование пор, можно отметить грамицидин и нистатин.

Транспорт веществ внутрь клеток корня стимулируется тем, что в цитоплазме многие ионы быстро вовлекаются в биосинтетические процессы и вследствие образования органических веществ концентрация ионов внутри клеток снижается.

Установлено наличие двух систем переноса ионов. Первая система имеет более высокую избирательную способность; она, как правило, функционирует в естественных условиях при низкой внешней концентрации ионов (менее 1 ммоль). Повышение концентрации ионов во внешнем растворе вызывает быстрое насыщение первой системы; дополнительно к ней вступает в действие вторая, менее селективная система, обладающая меньшим сродством к ионам (рис. 14).

Предполагается, что первая система локализована в плазмалемме. По поводу второй, менее селективной, системы считается, что она локализована, возможно, в плазмалемме, но, вероятнее, в тонопласте.

Переносчиками могут быть белковые глобулы диаметром, превышающим толщину клеточной мембраны. В этом случае движения глобулы вокруг своей оси обеспечивают перенос ионов с наружной стороны мембраны во внутреннюю. Примером такого переноса ионов может служить ионный насос, представленный транспортной калиево-натриевой АТФ-азой. Свое название АТФ-азы получили в связи с присущей им способностью расщеплять аденозинтрифосфорную кислоту (АТФ). Освобождаемая энергия используется для транспорта веществ, а транспортная АТФ-аза обратимо фосфорилируется. Молекулярная масса транспортных АТФ-аз около 200 000—700 000. Параллельно с фосфорилированием и дефосфорилированием транспортной АТФ-азы осуществляются связывание и освобождение иона и одновременно происходят конформационные изменения молекулы АТФ-азы, позволяющие осуществлять перенос иона внутрь клетки. Активный участок потребляет метаболическую энергию, и к обменному участку присоединяется катион  $M^+$ . В активированном насосе обменный участок изменяет свою ориентацию и оказывается обращенным к внешней среде. В этих новых условиях изменяется сила его электрического поля, так как теперь с ним предпочтительнее связывается катион  $S^+$ . Релаксация — пере-

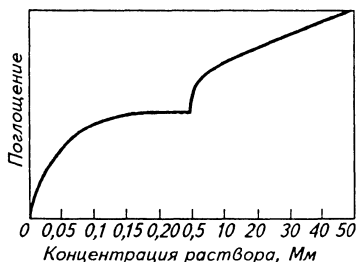


Рис. 14. Зависимость поглощения  $K^+$  корнями ячменя от концентрации раствора. Ход кривой указывает на два различных механизма переноса (по Эпштейну)

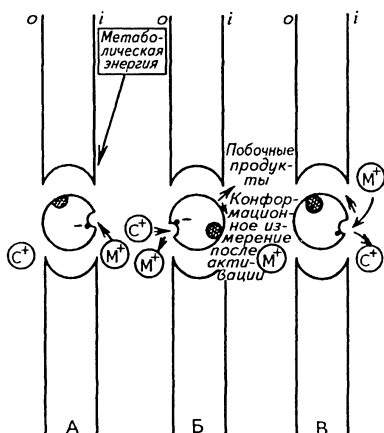


Рис. 15. Гипотетический механизм электронейтрального ионообменного насоса, позволяющий осуществить перенос ионов против электрохимического градиента:

А — активация; Б — переориентация, В — релаксация; о — наружная среда; i — внутренняя среда

ход из активированного состояния в неактивированное. Восстанавливается первоначальная ориентация насоса: обменный участок вместе с катионом  $C^+$  оказывается обращенным к внутреннему отсеку. Здесь с обменным участком предпочтительно связывается  $M^+$ , а  $C^+$  высвобождается (рис. 15).

**Конформационные изменения** — изменения пространственной конфигурации белковой молекулы за счет дисульфидных, водородных и ионных связей и гидрофобных взаимодействий полипептидной цепочки.

Активный транспорт ионов в клетки осуществляется за счет специальных ферментов АТФ-аз по механизму, называемому **ионным насосом**.

Задачей ионного насоса является поддержание внутри клетки постоянного ионного состава, несмотря на расход в результате реакций обмена и утечку в результате диффузии.

Ответственные за функционирование калий-натриевого насоса — транспортные АТФ-азы, требующие присутствия  $Mg^{2+}$  и дополнительно активируемые ионами  $K^+$  и  $Na^+$ , — в животных клетках были открыты в 1957 г. Для растительных клеток первое сообщение о наличии калий-натриевой АТФ-азы было опубликовано в 1964 г. В настоящее время существование растительной транспортной калиево-натриевой АТФ-азы доказано. Этот специфический фермент осуществляет выкачивание из клеток ионов  $Na^+$  и входение ионов  $K^+$ . Имеется еще и протонный насос, выкачивающий из клеток ионы  $H^+$ , что создает отрицательный заряд клеток.

Теория ионных насосов существует давно, и вначале считали, что насосов должно быть столько, сколько ионов ионов поступает или выводится из клеток. Однако специфика поступления различных ионов, известная в настоящее время, доказывает наличие только калий-натриевого и протонного ионных насосов.

За счет энергии переноса ионов водорода или натрия могут вводиться какие-то ионы или вместе с ним выводиться те или иные анионы.

Транспорт веществ против электрохимического градиента тре-

бует постоянного притока энергии, причем потребность в ней может возникать на различных этапах переноса элементов питания. Именно потребность в энергии объясняет тесную зависимость поглощения растениями питательных веществ от метаболических процессов дыхания и фотосинтеза, в результате которых образуются макроэргические соединения.

Скорость транспорта ионов с помощью переносчиков определяется скоростью оборота переносчика, которая зависит от температуры, концентрации кислорода, присутствия ингибитора и т. д.; числом связывающих мест переносчика, обладающих сродством к иону; занятостью активных участков, которая зависит от концентрации в среде переносимого и других ионов.

Широкому распространению теории переносчиков способствовало то, что она объяснила избирательность поглощения, взаимодействие ионов и ингибирование процесса рядом соединений. По-видимому, существует контрольный механизм, регулирующий поступление веществ в клетку по принципу обратной связи. Так, по данным Питмана, максимальное содержание ионов в клетках корня составляет 80—90 мг-экв/г сырой массы. Для различных растений это количество не зависит от концентрации ионов в растворе и достигается при поглощении из 10 мМ раствора за 10—15 ч, из 1 мМ раствора — за 20 ч и из 0,1 мМ раствора — за 36 ч.

Транспорт ряда веществ через мембрану может осуществляться при помощи низкомолекулярных жирорастворимых переносчиков. Такой переносчик, захватив транспортируемый ион, легко проникает через фосфолипидную мембрану, растворяясь в ней и освобождая ион внутри клетки. Транспорт веществ внутрь клетки через мембраны может идти через поры в плазмалемме. Такие поры, существование которых еще не установлено электронно-микроскопически, могут, вероятно, существовать как временно, так и постоянно. По-видимому, диаметр пор должен быть 0,5—0,8 нм (для сравнения: диаметр иона калия с гидратной оболочкой равен 0,34 нм). В соответствии с представлениями о наличии пор вещества, растворимые в воде и нерастворимые в мембранах, могут транспортироваться через них. Мембранные белки ответственны за субстратную специфичность транспорта.

Установлено наличие в растительных клетках одиночных каналов, пропускающих кальций.

Перенос веществ через гидрофильные каналы или поры в клеточной мембране может идти по избирательности каналов. Перенос по эстафетному механизму — прохождение веществ через мембрану, когда ион или молекула вещества последовательно передается от одной молекулы переносчика к другой. При этом молекулы переносчика встраиваются в мембрану одна за другой и передают по эстафете ионы или молекулы, захваченные крайней молекулой переносчика. Если переносчик движется вместе с переносимыми внутрь клетки ионами, то механизм переноса называют челночным.

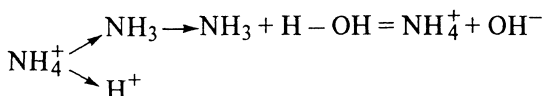
**Симпорт и антипорт.** Ионы водорода выкачиваются из клетки так называемой протонной помпой. Эта помпа, выкачивая протоны из клетки, создает определенный концентрационный и электрический градиенты.

При этом клетка несколько подщелачивается. В результате подщелачивания переносчик может транспортировать протоны обратно в клетку по электрохимическому градиенту. Но, транспортируя протон, переносчик может иметь сродство к какому-то другому соединению. Это может быть, например, анион, который переносится внутрь клетки. По терминологии, предложенной Митчелом, активную закачку в клетку по электрохимическому градиенту протона и какого-то дополнительного «седока» (аминокислота, сахар, фосфор и т. д.) называют *симпортом*. Прямо противоположен этому процессу *антипорт* — выкачивание из клетки протона  $H^+$  и доставка внутрь клетки для сохранения электронейтральности иона с тем же зарядом, например  $K^+$ .

Поступление азота в растения происходит значительно легче, чем поступление фосфора. При этом следует иметь в виду, что абсолютно непроницаемых мембран не существует. Катион  $NH_4^+$  в

среде находится в равновесии  $NH_4^+ \rightleftharpoons H^+ + NH_3$  и дает аммиак и водо-

род. Молекула  $NH_3$  проникает в клетку в тысячу раз быстрее любых других электронейтральных молекул, кроме воды. При прохождении через мембрану аммиак берет от воды протон, образуя аммоний  $NH_4^+$  и гидроксил  $OH^-$ .



Происходит подщелачивание цитоплазмы, что мешает выкачке протона и работе протонного насоса, но одновременно подщелачивание улучшает поступление фосфора.

Хуже, чем катион  $NH_4^+$  проходят мембрану такие анионы, как  $NO_3^-$ ,  $CN^-$ ,  $J^-$ . Считается, что эти ионы проходят через мембраны в 100—1000 раз труднее, чем  $K^+$  и  $NH_4^+$ . Эти анионы в высоких концентрациях могут разрушать структуры связей мембраны и называются *хаотропными*.

Доказательством хорошего прохождения нитрата через мембрану может служить следующий опыт. Если в среду, где помещена липосома (крошечный шарик, ограниченный бислоем искусственной мембраной), внести  $KNO_3$  и валиномицин, то последний образует калиевую «дырку» и внутрь липосомы начинают посту-

пять ионы  $K^+$  и анионы  $NO_3^-$ , она быстро разбухает. Если же  $KNO_3$  заменить на  $KCl$ , то для  $Cl^-$  мембрана окажется непроницаемой. Внутри липосомы с помощью валиномицина будет поступать совсем немного калия; процесс остановится в результате диффузионного потенциала, и липосома не будет разбухать.

С наиболее высокой скоростью через мембраны поступает вода. Так, если два объема воды разделить мембранной перегородкой и в один из них налить меченую воду, то очень быстро одинаковое количество меченой воды будет обнаружено в обоих объемах.

**Пиноцитоз.** И. И. Мечников обнаружил способность лейкоцитов «заглатывать» бактерии. Позднее оказалось, что многие клетки могут поглощать твердые частицы и капли, плавающие в окружающей среде. В случае «заглатывания» клетками твердых частиц это явление называется *фагоцитозом* и при «заглатывании» капель жидкостей — *пиноцитозом*. Путем пиноцитоза может происходить поступление веществ и в растения. Вначале поглощаемые частицы адсорбируются на клеточной мембране, затем мембрана затягивается внутрь; края ее в месте втягивания смыкаются. Образуется пиноцитарный пузырек, который отрывается от наружной мембраны и мигрирует внутрь клетки. Рассмотрим два возможных механизма пиноцитоза.

Согласно первому механизму (А) мембрана втягивается внутрь клетки, образуя узкий канал. От конца канала отшнуровываются маленькие пузырьки с захваченным веществом. По второму механизму (Б—Ж) участок мембраны, на котором адсорбировались молекулы (В), втягивается внутрь (Г). В месте втягивания края мембраны смыкаются (Д) и образовавшийся пиноцитарный пузырек отрывается от клеточной мембраны (Е). В глубине клетки мембраны пузырька разрушаются ферментами (Ж) (рис. 16).

В клетке мембранная оболочка пузырька разрушается ферментом и захваченные частицы попадают в цитоплазму. Процесс об-

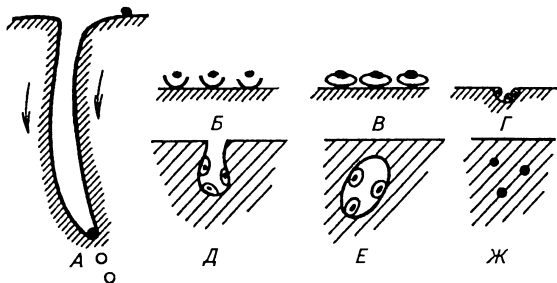


Рис. 16. Два возможных механизма пиноцитоза (пояснения в тексте):

А — первый механизм, Б—Ж — второй механизм

разования пузырька и отрыв его от наружной мембраны требуют затраты энергии, которая подается в виде АТФ.

Пиноцитарный пузырек разрушается в результате слияния его с лизосомой, содержащей набор гидролитических ферментов, которые расщепляют макромолекулы.

Имеются сведения, что явление пиноцитоза вызывается в определенных участках мембраны соответствующими веществами, адсорбированными на ее поверхности. Есть данные о наличии *обратного пиноцитоза* — процесса, позволяющего клеткам вывести некоторые вредные вещества наружу, не выпуская в то же время другие молекулы, свободно плавающие в цитоплазме.

В заключение следует отметить, что молекулы или ионы, поступающие в клетку из наружного раствора независимо от способа переноса их через плазмалемму, практически не включаются в реакции обмена веществ на уровне плазмалеммы, и после поступления во внутреннее пространство клетки могут иметь следующий путь: 1) пройдя цикл метаболических превращений, поступившие в клетку вещества оказываются в составе органических соединений структурных элементов клетки; 2) избыточные ионы концентрируются в вакуолях клеток корня, создавая запас ионов, или передаются по сосудам ксилемы в надземные части растений; 3) ионы могут быть вновь выведены из организма в окружающую среду.

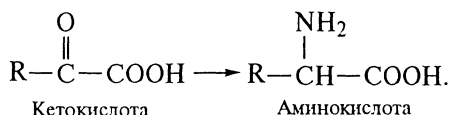
#### 2.4.2. ФОРМЫ СОЕДИНЕНИЙ, В КОТОРЫХ РАСТЕНИЯ ПОГЛОЩАЮТ ЭЛЕМЕНТЫ ПИТАНИЯ

В результате непрерывных биологических, физических, химических и физико-химических процессов в почве сложные минеральные или органические вещества распадаются на простые. Образующиеся продукты распада постоянно используются для питания растений, хотя некоторая часть их может теряться в газообразной форме или вымываться в расположенные ниже горизонты или в близлежащие водоемы, а также необменно закрепляться почвой. Основное количество элементов питания растения усваивают в ионной форме (в виде анионов и катионов) через корневую систему. Кроме того, для питания растений в незначительных количествах могут использоваться аминокислоты, сахара, сахарофосфаты и другие органические соединения.

Аминокислоты, поступив в растения, подвергаются дезаминированию, и освободившийся аммиак используется в синтетических процессах. Однако в основном азот поглощается в виде аниона нитрата  $\text{NO}_3^-$  и катиона аммония  $\text{NH}_4^+$ . Эти ионы постоянно образуются в почве из органических веществ в результате процессов аммонификации и нитрификации, осуществляемых микроорганизмами.

Азот, поступивший в растения в нитратной форме, в результате деятельности группы ферментов подвергается восстановлению до аммиака.

В аммиачной форме азот используется растениями в результате реакции замещения кислородного атома карбонила кетокислоты с образованием соответствующей аминокислоты:



В общем бюджете форм связанного азота, активно используемого в процессе круговорота данного элемента в природе, исключительно важное значение имеет фиксация молекулярного азота.

Связывание молекулярного азота атмосферы осуществляется рядом почвенных микроорганизмов и многими растениями в симбиозе с микроорганизмами.

Процесс связывания азота носит многоступенчатый характер. Важные функции в осуществлении отдельных звеньев процесса выполняют фермент нитрогеназа, леггемоглобин, соединения группы витамина B<sub>12</sub>, металлы (железо, молибден, кобальт, медь и др.)

Азот и сера входят в состав белков и многих других соединений. Сера усваивается растениями в виде аниона серной кислоты SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. В растениях сульфат последовательно восстанавливается до

сульфита (SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) и сульфида (S<sup>2-</sup>), который, присоединяя водород, образует сульфгидрильные группы (S—H). Теряя атомы водорода, две сульфгидрильные группы образуют дисульфидную (—S—S—) группу. Сера входит в ацетилкоэнзим А (участвующий в синтезе липидов), в аминокислоты (цистеин, цистин и метионин) и другие соединения, имеющие важное биологическое значение.

Фосфор усваивается растениями в виде аниона фосфорной кислоты: (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>), (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) или (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). В растениях фосфор является составной частью нуклеиновых кислот, из которых состоит генетический аппарат ядра, входит в состав фосфолипидов — соединений, определяющих свойства клеточных мембран, в состав ряда коферментов, в том числе пиридиннуклеотидов и нуклеозидфосфатов. Фосфор в живых организмах, поступив в виде кислотного остатка ортофосфорной кислоты, присутствует в этом виде или соединяется с органическими молекулами (первичное фосфорилирование) или кислотный остаток переходит из одной молекулы в другую (перифосфорилирование). В качестве поставщиков энергии очень важное значение во всех процессах жизнедеятельности имеют аденозинфосфаты.



Первичная метаболизация фосфата связана с его исключительно быстрым вовлечением в синтез нуклеотидов в течение миллисекунд. При нескольких больших экспозициях (10 мин) фосфор обнаруживается в составе нуклеиновых кислот. При экспозициях более 3 ч, когда уже метаболический фонд акцепторов фосфора насыщен, фосфор может поступать в вакуоль в неорганической форме. В анаэробных условиях происходит накопление не использованных в дыхательном метаболизме акцепторов фосфора; этим объясняется факт более интенсивного накопления фосфора в корнях при недостатке кислорода.

Хлор поступает в растения в виде иона  $\text{Cl}^-$ . Во многих растениях хлор может присутствовать в больших концентрациях, не оказывая отрицательного действия. В первую очередь это относится к солеустойчивым растениям — галофитам.

Бор и молибден поступают в растения в виде анионов — боратов и молибдатов.

Кальций, калий, магний, медь, железо, цинк поступают в растения в форме соответствующих катионов, а марганец — в форме катионов и анионов.

Во многих процессах жизнедеятельности большую роль играют переходы цитоплазмы из состояния геля в состояние золя. Ионы щелочных металлов ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) повышают, а ионы щелочно-земельных ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) — снижают оводненность цитоплазмы.

Цитоплазма состоит из отрицательно заряженных коллоидных белковых гидратированных частиц. Диполи воды притягиваются положительно заряженными полюсами к коллоидным частицам. Поступающие в цитоплазму катионы также окружены гидратной оболочкой. Двухвалентные катионы, имея больший заряд, ближе подходят к отрицательно заряженным коллоидным белковым частицам, и протоплазма становится более вязкой.

Одновалентные катионы из-за слабого притяжения останавливаются на некотором расстоянии от белковой коллоидной частицы; нейтрализации зарядов при этом не происходит. В результате цитоплазма лучше оводнена при большем содержании ионов калия.

Высокая концентрация ионов калия (50—100 мМ) — характерная особенность всех растительных и животных клеток. Только при определенном содержании ионов калия в клетке могут нормально осуществляться биосинтез белка, фотосинтез, дыхание, синтез полимерных соединений (крахмала, жиров, углеводов).

Следует отметить, что поступление ионов в корень и движение их в клетках служат не только для «доставки» определенных строительных материалов к определенным участкам, где происходит биосинтез тех или иных молекул. Любое передвижение ионов имеет важное самостоятельное значение, так как в результате этого процесса изменяются распределение электрических зарядов в

клетке, электрический и концентрационный градиенты. Все эти изменения оказывают определяющее влияние на процессы, происходящие в клетке.

#### 2.4.3. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИЯ

Поглощение питательных веществ из почвы представляет собой активный физиологический процесс, связанный с жизнедеятельностью не только корневой системы, но и всего растения. Неотъемлемой частью метаболизма клеток корня, в том числе и растущих, являются дыхание и синтез веществ (переносчиков), осуществляющих транспорт ионов, процесс поступления элементов минерального питания.

Продуктивность растений и поглощение ими макро- и микроэлементов находятся в прямой зависимости от содержания элементов минерального питания в почве.

Элементы питания в почве могут быть в почвенном растворе (различные минеральные и органические растворимые соединения), в органическом веществе почвы (растительные остатки, гумусовые вещества, микроорганизмы) и в твердой минеральной фазе почвы.

Для растений хорошо доступны все растворимые, а также обменно-поглощенные формы элементов питания. Остальные соединения непосредственно недоступны для растений и могут усваиваться ими только после перехода в более доступную форму (в результате разрушения первичных минералов в процессе выветривания, минерализации органического вещества и др.). Следует отметить, что при изменении внешних условий часть макро- и микроэлементов, находящихся в почве, может переходить в неусвояемую форму (при изменении реакции среды, усилении микробиологического закрепления питательных элементов и ряде других процессов), что обуславливает уменьшение их поступления в растения.

Существенное влияние на доступность различных питательных элементов почвы оказывают сами растения. Изменение реакции среды под действием различных веществ, выделяемых растениями, способствует переходу ряда недоступных соединений почвы в усвояемую форму.

Поглощение питательных веществ растениями зависит от биологических особенностей культуры, свойств почвы, в том числе от уровня потенциального плодородия, прежде всего связанного с содержанием органического вещества и минералогическим составом, от ее гранулометрического состава, температуры, влажности, аэрации, реакции и концентрации почвенного раствора, освещенности и т. д. Например, ночью скорость поглощения калия, кальция и фосфора сокращается в 1,5—3 раза. В данном случае следует

отметить влияние не только отсутствия света на поглощение элементов питания, но и иной температурный режим почвы и воздуха, снижение интенсивности транспирации, прекращение фотосинтеза и т. д.

Генетические особенности почв и их гранулометрический состав определяют возможные на этих почвах урожаи сельскохозяйственных культур (табл. 16).

**16. Максимально возможная урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от гранулометрического состава почвы\*, т/га**

| Культура        | Почва       |   |  |           |
|-----------------|-------------|---|--|-----------|
|                 | суглинистая | супесчаная и<br>песчаная, подсти-<br>лаемые мореной | супесчаная,<br>подстилаемая<br>песками | песчаная  |
| Озимая рожь     | 5,0—5,5     | 4,5—5,0   | 4,0—4,5                                | 3,0—3,5   |
| Озимая пшеница  | 5,5—6,0     | 5,0—5,5   | 4,5—5,0                                | 3,5—4,0   |
| Ячмень          | 6,0—7,5     | 5,5—6,5   | 5,0—6,0                                | 4,0—5,0   |
| Овес            | 5,0—6,0     | 4,5—5,5   | 4,0—4,5                                | 3,0—4,0   |
| Картофель       | 40,0—50,0   | 35,0—45,0   | 30,0—40,0                              | 25,0—30,0 |
| Сахарная свекла | 50,0—60,0   | 45,0—50,0   | 40,0—45,0                              | 30,0—35,0 |
| Лен (волокно)   | 1,8—2,2     | 1,7—1,9   | —                                      | —         |

\*Максимально возможные — термин применительно к определенным сортам и принятой агротехнике. На самом деле потенциальные возможности растений, которые и являются максимальными, в несколько раз выше.

Постоянное совершенствование способов применения удобрений возможно на основе глубокого изучения не только свойств почв и удобрений, но и постоянно изменяющихся потребностей растений в питательных веществах, механизма поступления их и других вопросов, относящихся к физиологии, биохимии растений, почвоведению и т. д.

**Концентрация питательного раствора.** Концентрация почвенного раствора, так же как и соотношение элементов минерального питания растительных организмов, является фактором внешней среды. При недостаточной концентрации питательного раствора растения страдают от нехватки элементов минерального питания и хуже растут. Повышенная концентрация питательного раствора также неблагоприятно действует на рост и может вызвать угнетение растений.

Оптимальная концентрация питательного раствора, т. е. та, при которой в данных условиях обеспечивается наибольшая продуктивность растений, сильно варьирует и постоянно изменяется в различные периоды онтогенеза для каждого вида и даже сорта растения.

Корневая система растений обладает способностью к усвоению питательных веществ из сильно разбавленных растворов (0,01—0,05 %), особенно если их концентрация поддерживается на этом

уровне. В естественных условиях концентрация почвенного раствора незасоленных почв обычно колеблется от 0,02 до 0,2 %.

Минеральные элементы наиболее активно поступают в растения только при определенной концентрации питательных веществ в почвенном растворе. Лучше усваиваются ионы элементов питания из растворов умеренно повышенных концентраций, а вода лучше поглощается корневой системой, расположенной в неудобренной зоне. Это следует учитывать при оценке локального или очагового внесения удобрений.

Повышение концентрации солей в растворе увеличивает его осмотическое давление и затрудняет поступление в растение воды и питательных веществ.

Кинетика поглощения иона растением находится в тесной связи с его концентрацией в наружной среде. Так, при концентрации микроэлементов в питательном растворе до 5 мкМ ионы почти полностью поглощаются корнями. При повышении концентрации до 25 мкМ кривая, характеризующая поглощение, из линейной переходит в гиперболическую: обнаруживается селективный характер в поглощении двухвалентных катионов: поглощение  $Mn^{2+}$  в 2 раза превышает количество поглощенных ионов  $Co^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  (содержание в растениях марганца выше). До содержания 0,1 мг/л поглощение марганца прямо пропорционально росту его концентрации в растворе. При дальнейшем увеличении концентрации марганца в 10 и даже 100 раз содержание его в растении увеличивается только в 4 раза.

Более детальное рассмотрение этапов временной кинетики поглощения микроэлементов позволяет выделить 4 фазы и сделать предположение об участии различных механизмов в этом процессе: I фаза — физико-химическая адсорбция; II фаза — насыщение свободного пространства, в этой фазе возможно начало метаболического поглощения, так как подъем изотермы поглощения после двухчасового периода свидетельствует об активном характере данного процесса; III фаза — активное поглощение; IV фаза — резкий подъем поглощения ионов при высокой их концентрации в растворе (500 мкМ) в период от 6 до 12 ч; по-видимому, она связана с нарушением барьерной функции корня.

Очевидно, существует некая мембранная структура, которая при определенных концентрациях ионов изменяет свои характеристики. Так, до концентрации Fe 0,5 мМ поглощение увеличивается с возрастанием концентрации; затем в диапазоне концентраций 0,5—1 мМ стабилизируется, после чего снова повышается с выходом на плато при концентрации 10 мМ иона в растворе.

Концепция многофазового поглощения ионов в настоящее время находит все больше сторонников. Авторы отмечают взаимосвязь точек перехода фаз поглощения и интенсивности ростовых процессов: вначале положительная зависимость, а затем — угнетение роста.

Особенно чувствительны растения к избыточному повышению концентрации питательного раствора в молодом возрасте. Отдельные сельскохозяйственные культуры не переносят увеличения концентрации питательных веществ выше определенного предела (табл. 17).

**17. Влияние концентрации питательного раствора на рост и урожай огурца (Журбицкий)**

| Концентрация питательного раствора |      | Масса 10 растений в возрасте 26 дней |       | Зеленая масса при уборке |       | Урожай плодов огурца |       | Число плодов в урожае на 100 частей зеленой массы |
|------------------------------------|------|--------------------------------------|-------|--------------------------|-------|----------------------|-------|---|
| г/л                                | мМ/л | г                                    | %     | г                        | %     | г                    | %     |   |
| Вода                               | —    | 10                                   | —     | —                        | —     | 0                    | —     | —   |
| 0,41                               | 2,9  | 138                                  | 53,7  | 145                      | 60,5  | 27                   | 8,6   | 19  |
| 0,74                               | 5,4  | 175                                  | 68,0  | 152                      | 63,5  | 99                   | 31,6  | 65  |
| 2,13                               | 15,7 | 265                                  | 103,0 | 230                      | 96,0  | 174                  | 55,5  | 76  |
| 3,56                               | 25,9 | 257                                  | 100,0 | 240                      | 100,0 | 314                  | 100,0 | 130   |
| 4,96                               | 36,2 | 188                                  | 72,8  | 205                      | 85,5  | 130                  | 41,5  | 65  |
| 6,93                               | 46,5 | 177                                  | 69    | 110                      | 46,0  | 53                   | 16,9  | 48  |

Как видно из приведенных данных, с увеличением концентрации питательного раствора до 15,7—25,9 мМ/л развитие растений улучшилось, самый высокий урожай плодов получен при концентрации питательного раствора 25,9 мМ/л.

Более высокие концентрации питательного раствора вызвали резко отрицательное действие. В этих вариантах у растений в месячном возрасте в период цветения наблюдались подсыхание краев у средних и нижних листьев, подсыхание и побурение между жилками листа.

Неодинаковую чувствительность к концентрациям питательных веществ у отдельных растений, их отношение к уровню минерального питания на различных этапах онтогенеза необходимо учитывать при разработке системы удобрения сельскохозяйственных культур.

**Соотношение макро- и микроэлементов в питательной среде и их поглощение растениями.** Питание растений следует оценивать как по количественному показателю — динамике усвоения элементов питания за вегетацию, так и по качественному — соотношению элементов питания, усваиваемых растениями в разные фазы развития.

Исследования показали, что в усвоении элементов минерального питания растениями большую роль играет соотношение ионов в среде. Каждому виду растений необходимо определенное соотношение питательных элементов, изменяющееся в течение вегетации. Соблюдение этого соотношения оказывает определяющее действие на продуктивность растений и качество урожая. При поступлении элементов в корень имеет значение диаметр ионов в

гидратированном состоянии. Исходя из этого, одновалентные катионы должны поступать в клетки корня быстрее, чем двух- и многовалентные.

Однако решающее значение принадлежит специфическим особенностям поглощающей системы. Например, калий поступает в корневую систему быстрее, чем рубидий и цезий, хотя диаметр гидратированных ионов последних двух элементов меньше. Аналогично этому хлор поступает в корни быстрее, чем ионы йода и брома. Следует отметить, что взаимоотношения ионов в питательной среде этим не ограничиваются.

Имеется много экспериментальных данных о влиянии соотношения элементов во внешней среде на их поступление и накопление в растениях.

Еще не решен вопрос: как зависит поступление питательных веществ от их концентрации во внешнем растворе? В наших опытах была установлена тесная зависимость между поступлением кобальта в растения и его концентрацией в растворе. При питании растений из раствора, содержащего смесь элементов, особенно из почвенного раствора, более существенную роль играет не концентрация, а соотношение элементов и их взаимное влияние.

Изменение уровня обеспеченности элементами питания вызывает многочисленные ответные реакции организма. В частности, при резком избытке любого необходимого элемента минерального питания защитная реакция растений может проявиться в увеличении поглощения других элементов. Небольшой избыток одного из микроэлементов, когда растению еще не грозит гибель, вызывает обычно резкое снижение поступления других минеральных элементов. Избыток элементов питания можно частично устранить внесением иных элементов. Так, в опыте с салатом и ячменем для обеих культур при небольшом избытке Mg положительное влияние оказал N, при избытке Cu — Ca и Fe, при избытке Zn — Mg.

Концентрация элементов в растительных тканях имеет три максимума — при оптимальной дозе, резком недостатке и резком избытке испытуемого элемента в субстрате.

Нормальное функционирование растительного организма осуществляется при строго определенном соотношении катионов и анионов во внешней среде. Это положение служит теоретической основой для разработки и обоснования состава питательных смесей. Наряду с этим сформулировано представление об антагонизме ионов при их поступлении в живую клетку.

С точки зрения обменной адсорбции это явление объясняется как конкуренция между ионами за обменное их поступление в доннановское пространство.

Однако далее на пути усвоения веществ клеткой взаимодействие элементов питания становится сложнее, так как простая конкуренция между одноименно заряженными ионами не может существенно влиять на этот процесс. На втором этапе поглощения

веществ антагонизм ионов, по-видимому, возможен только при наличии у обоих ионов одинаковых химических свойств, а также способности образовывать ковалентные связи с одними и теми же метаболитами (переносчиками).

Следует также отметить, что при поступлении в растения отдельных макро- и микроэлементов, недостаток которых испытывается перед этим, происходит активизация ряда реакций обмена веществ, в результате чего улучшается общее физиологическое состояние растений. В свою очередь, это приводит к увеличению потребности в других элементах питания. По-видимому, один из механизмов часто наблюдаемого синергизма при добавлении в среду какого-либо элемента можно представить как увеличение поступления в растение других ионов вследствие улучшения реакций обмена веществ.

Рост надземных органов растений и развитие корневой системы зависят от физиологической уравновешенности питательного раствора. *Физиологически уравновешенным* называют раствор, в котором отдельные элементы питания находятся в таких соотношениях, при которых происходит наиболее эффективное их использование растением. В физиологически уравновешенном растворе все питательные соли, необходимые для нормального роста и развития данного растения, должны находиться в оптимальных концентрациях и соотношении.

Односолевой раствор не может удовлетворить потребности растения в питании даже в течение короткого периода, так как является физиологически неуравновешенным.

Следует отметить, что и различные соли в форме односолевого раствора оказывают неодинаковое действие на растения:

| <i>Соль</i>   | <i>Прирост корешков в длину за 40 дней, мм</i> |
|---|--|
| NaCl  | 59   |
| KCl   | 68   |
| MgCl <sub>2</sub>                                     | 7  |
| CaCl <sub>2</sub>                                     | 70   |
| Трехсолевой раствор<br>NaCl · KCl · CaCl <sub>2</sub> | 324  |

Большое значение при изучении закономерностей поглощения элементов питания имеет продолжительность опыта, так как при длительных экспозициях, как правило, происходят заметные изменения в физиологическом состоянии подопытных растений, в частности в поглощающей способности корневой системы.

Выяснение причин и закономерностей изменения в поглощении элементов минерального питания растениями в зависимости от состава и концентрации питательных веществ в среде имеет важное теоретическое и практическое значение.

Наличие азота, фосфора и калия в питательной среде в значительной степени определяет интенсивность роста растений и по-

глошение ими других элементов минерального питания. Повышение уровня азотного питания увеличивает поступление в растения P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn и Zn. Интенсивность влияния азота на поступление в растения указанных элементов изменяется на противоположную при избыточной его дозе и зависит от его формы.

Избыточные дозы фосфора снижают поступление в растения меди, железа, марганца.

О влиянии калия имеются данные, указывающие на сокращение под его воздействием поступления в растения кальция, магния и некоторых других элементов.

С увеличением обеспеченности растений основными элементами питания (NPK) повышается потребность растений в микроэлементах. В свою очередь, микроэлементы играют важную роль в повышении эффективности макроэлементов и их поступлении в растения. Так, в опытах поступление азота в растения снижалось при дефиците железа, марганца и цинка и не зависело от внесения меди, бора и хлора. В других условиях накопление азота в растениях заметно увеличилось при внесении меди и бора. Имеются данные, что молибден значительно улучшает использование азота удобрений из почвы. По нашим наблюдениям, использование азота улучшалось применением не только молибдена, но и кобальта. В литературе есть сведения о том, что поглощение растениями фосфора увеличивалось при наличии меди, цинка, кальция, молибдена, но уменьшалось под влиянием магния и железа. Поступление в растение калия снижалось под влиянием меди, марганца, никеля, цинка, молибдена, железа и бора и возрастало при внесении хлора.

Рост растения в первую очередь зависит от элемента, находящегося в недостатке или избытке при условии, что другие питательные элементы и другие факторы жизнеобеспечения не лимитируют рост. Почвенная кислотность может через воздействие на адсорбцию ионов влиять на поглощение элементов питания.  $\text{CaCO}_3$  увеличивает рост бобовых, так как при  $\text{pH} > 4$  адсорбция  $\text{MoO}_4^{2-}$  почвой и оксидами Al и Fe снижается и молибден становится более доступен растениям.

В почве может наблюдаться конкуренция силикат-фосфат и фосфат-молибдат ионов. Оксиды марганца адсорбируют из раствора кобальт, который становится недоступен растениям. Поэтому заболачивание увеличивает поглощение кобальта растениями за счет растворения оксидов марганца ( $\text{Mn}^{4+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$ ).

Адсорбция  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  оксидами и гидроксидами Al и Fe увеличивает адсорбцию  $\text{Zn}^{2+}$ , в результате снижается поглощение цинка корнями. По-видимому, при этом формируются комплексы между  $\text{Zn}^{2+}$  и на  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  поверхности оксидов.

В щелочных почвах наблюдается дефицит марганца, а в кислых — избыток. На растворимость оксидов марганца влияют кор-



новые выделения. Чувствительные к недостатку марганца сорта имеют в ризосфере больше Mn-окисляющих бактерий. Важно и то, что если поглощение  $\text{NH}_4^+$  приводит к подкислению и лучше-му обеспечению марганцем, то поглощение  $\text{NO}_3^-$  — к подщелачиванию и дефициту марганца.

В настоящее время накоплено много примеров антагонизма и синергизма ионов. Так, явление антагонизма было установлено между Fe и Ca, Al и Na, Fe и Zn, Mn и Zn, Cu и Zn, Zn и Fe, Mn, Cu, Mo. В свою очередь, явление синергизма было установлено между S и Mn, Zn, Cu и Co, B, Zn, Co, Mo и Mn, Mo и Cu, Cu и Mn, Ca и Co.

Таким образом, одни и те же ионы могут действовать как положительно, так и отрицательно на поглощение других. При этом направленность действия в зависимости от условий может изменяться. Явление антагонизма и синергизма в поглощении макро- и микроэлементов может определяться реакцией среды, уровнем содержания в среде и в растении других элементов минерального питания, их соотношениями, видом растений, температурой внешней среды и другими факторами.

В зависимости от перечисленных условий антагонизм и синергизм могут переходить один в другой.

Между элементами наблюдаются сложные взаимоотношения. Так, стронций и марганец вытесняют кальций. Усвоение кальция и фосфора улучшает поступление в растения кобальта и марганца. Никель вытесняет кальций и фосфор. Кобальт и марганец антагонисты стронцию и барию. Кобальт увеличивает усвоение кальция. Алюминий вызывает сильный дисбаланс макро- и микроэлементов. Избыток алюминия снижает содержание в тканях растений кальция и марганца.

В поглощении необходимых элементов минерального питания существует тесная взаимосвязь. Отклонение концентрации одного элемента на 30—100 % от оптимального его содержания в субстрате ведет к изменению поглощения растением других элементов питания. Причем увеличение количества элемента, находящегося в недостаточной концентрации, способствует поглощению других элементов (синергизм), а избыток какого-либо элемента препятствует поступлению других элементов (антагонизм).

При значительных отклонениях (в 100 раз и более) концентраций от оптимума (недостаток или избыток) относительное содержание других элементов увеличивается. В то же время абсолютная величина их поступления уменьшается вследствие резкого замедления прироста массы растения. Однако небольшое уменьшение концентрации одного элемента в субстрате по сравнению с оптимальным ограничивает поглощение растениями других элементов питания.

Данных о взаимодействии при поглощении анионов значительно меньше, чем в отношении катионов. Как и для катио-

нов, показано наличие антагонизма и синергизма при взаимодействии отдельных анионов. При взаимодействии анионов  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  с поглощающей поверхностью корня между ними не возникает конкурентных отношений, они не мешают друг другу при их первичном связывании. Только при наличии у анионов общих химических свойств (например, у  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{SeO}_4^{2-}$ ) они могут конкурировать один с другим. Между анионами  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  и галогенами конкуренция отсутствует при поступлении их в живую клетку благодаря различию химических свойств. Между галогенами при их поглощении корневой системой обнаружен выраженный антагонизм.

Валовое содержание элементов в почвах весьма различно. Так, содержание кальция в почвах колеблется в 1310 раз, фосфора, магния, железа, меди, марганца, кобальта, бора — в 100—300 раз. Не менее значительны колебания этих элементов, растворимых в 1 н. соляной кислоте: содержание марганца колеблется в 70, а железа — в 1420 раз. Наименьшее колебание содержания в почве отмечено для азота и калия — около 10 раз.

Корневая система растений по-разному относится к поступающим питательным веществам. Элементы питания, находящиеся в недостатке, поступают в корень в первую очередь, тогда как ненужные растению ионы могут выводиться снова в почву. Вакуоли клеток корня как бы сглаживают колебание содержания элементов питания во внешней среде. Они необратимо задерживают ненужные элементы и могут накапливать элементы питания, находящиеся в настоящий момент в больших количествах в пространстве, окружающем корень.

Большое значение для создания урожая имеет способность растений многократно использовать элементы минерального питания.

При оценке обеспеченности растений элементами питания следует иметь в виду, что часть их может быть реутилизирована (использована повторно), например, при их оттоке из листьев в репродуктивные органы. Однако такие элементы, как кальций, железо, марганец, бор, медь и цинк, не реутилизуются; сера частично используется в составе органических соединений, азот, фосфор, калий, магний — многократно.

Дефицит многократно используемых элементов проявляется в первую очередь на старых листьях. На более старых органах растений резче проявляются и симптомы избытка элементов, непригодных к реутилизации и находящихся в избытке во внешней среде.

Многочисленные данные о поглощении элементов минерального питания растениями позволяют заключить, что процесс питания зависит от уровня обеспеченности всеми элементами. Как правило, повышение концентрации в среде какого-либо элемента

вызывает не только увеличение содержания его в растениях, но и влияет на содержание других элементов.

При различных уровнях обеспеченности элементами минерального питания взаимодействие между ними протекает неодинаково и могут наблюдаться быстрые переходы антагонизма в синергизм и наоборот. Снижение температуры и освещенности усиливает действие избыточных доз элементов минерального питания, а повышение влажности несколько снижает отрицательное действие избыточных количеств минеральных элементов. В качестве примера можно привести повышение содержания нитратов в овощах при выращивании их в теплицах зимой в условиях недостаточного освещения.

Увеличение содержания нитратов может быть вызвано разными причинами, в частности повышением доз азотных удобрений. Например, в опытах с кочанным салатом при увеличении доз азотных удобрений не только возрастает масса кочана, но одновременно повышается и содержание в нем нитратов (табл. 18).

**18. Влияние доз азотных удобрений на массу кочанного салата и содержание в нем нитратов**

| Доза азота, кг/га | Масса кочана, г | Содержание N—NO <sub>3</sub> |       |
|-------------------|-----------------|------------------------------|-------|
|                   |                 | мг/кочан                     | мг/кг |
| 0                 | 79              | 45                           | 569   |
| 50                | 93              | 63                           | 677   |
| 100               | 149             | 129                          | 866   |
| 200               | 160             | 200                          | 1250  |
| 400               | 169             | 211                          | 1248  |

Значительного снижения содержания нитратов в продукции можно достигнуть, выращивая растения в условиях сбалансированного по всем элементам минерального питания. При этом не только увеличивается урожай, но и значительно улучшается его качество.

**Влажность почвы.** Содержание достаточного количества влаги в почве — необходимое условие нормального развития растений, она оказывает большое влияние на поступление в них элементов питания.

При нормальном уровне содержания элементов минерального питания в почве нет прямой зависимости размера их поступления в растение от интенсивности транспирации. Однако при избыточном содержании во внешней среде макро- и микроэлементов их поступление в растение возрастает с повышением скорости транспирации.

Влияние влажности почвы на поступление в растение элементов питания определяется в основном следующими физиологическими и физическими факторами.

1. Улучшением общего физиологического состояния растений, так как нормальная оводненность тканей способствует улучшению фотосинтеза, биосинтеза белков и некоторых других процессов обмена веществ, которые во многом определяют поглощение растениями питательных элементов.

2. Улучшением развития и расположения корней при нормальном содержании влаги в почве и увеличением в связи с этим их общей поглотительной способности.

3. Универсальностью воды как среды диффузии ионов из почвенного раствора и почвенного поглощающего комплекса к корневым волоскам растений.

С этими факторами связано положительное влияние влаги почвы на поступление в растения макро- и микроэлементов.

Установлено увеличение общего поступления в растение N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Co, Fe, Mo и B при оптимальном увлажнении почвы.

При дефиците влаги усвоение растением элементов питания затрудняется.

Отрицательное влияние избыточной влажности почвы на поглощение элементов питания может проявиться в одностороннем повышении доступности некоторых ионов, в частности оксидов железа и марганца, накопление которых в растении в этом случае достигает токсичного уровня.

При дефиците влаги нарушается согласованность в работе ферментных систем, усиливаются процессы гидролиза и распада органических веществ, резко снижается интенсивность фотосинтеза, прекращается рост растений.

В летний жаркий день растение за 1 ч испаряет воды примерно столько же, сколько ее содержится во всем растении. Испарение воды происходит в основном через устьица. Но через устьица поступает диоксид углерода, необходимый для фотосинтеза.

В полуденные часы жаркого летнего дня даже огромная всасывающая поверхность корневой системы при недостаточном содержании влаги в почве не может обеспечить необходимого количества воды для транспирации. Наступает «полуденная депрессия процесса фотосинтеза» — устьица закрываются, растения перестают испарять воду, при этом прекращается и поступление в растение диоксида углерода.

Следует отметить, что только около 0,2 % поглощаемой корнями воды расходуется на построение тела растения, свыше 99 % ее испаряется.

Расход воды, необходимый для создания единицы сухого вещества, значительно уменьшается в условиях достаточного обеспечения растений элементами минерального питания (табл. 19).

### 19. Потребление воды на создание единицы сухого вещества, л

| Вариант опыта | Пшеница | Лен  |
|---------------|---------|------|
| Без удобрений | 800     | 1092 |
| N             | 917     | 1198 |
| NP            | 545     | 1000 |
| NPk           | 480     | 787  |

В опытах Д. Н. Прянишникова расход воды на единицу сухого вещества на удобренном фоне уменьшался на 36,5 % при низкой влажности почвы и на 20 % — при высокой.

Испарение воды растениями значительно снижается при высокой относительной влажности воздуха. Одновременно при высокой влажности воздуха увеличиваются интенсивность роста растений и поглощение ими элементов питания (табл. 20).

### 20. Влияние влажности воздуха на испарение воды растениями подсолнечника, урожай и поглощение элементов питания (водные культуры)

| Влажность воздуха | Испарение воды растением, л | Урожай сухого вещества, г | Поглощено, мг на 1 л испаренной воды |     |      |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----|------|
|                   |                             |                           | Ca                                   | K   | P    |
| Низкая            | 42,3                        | 65,4                      | 32,0                                 | 133 | 13,2 |
| Высокая           | 32,8                        | 70,4                      | 37,3                                 | 160 | 15,9 |

На запас воды в почве значительное действие оказывает применяемая агротехника. Так, в опытах запас воды в поле «химического пара», т. е. при многократных обработках гербицидами, увеличился в 4 раза по сравнению с запасом воды при механической обработке почвы пахотного поля.

Лимитирующее действие влажности почвы на урожай сельскохозяйственных культур находится в определенной зависимости от обеспеченности элементами питания. Известно, что даже в водной культуре в случае высокой концентрации питательного раствора проявляется физиологическая сухость.

При высоких дозах удобрений необходимо обязательно учитывать обеспеченность посевов достаточным количеством влаги, а в засушливых условиях — обращать внимание на дозы азотных и калийных удобрений, «ответственных» в основном за создание общей ионной силы раствора.

Лучшие условия питания способствуют более продуктивному использованию влаги. В свою очередь, при достаточной обеспеченности влагой повышается отдача от внесения удобрений, что показано практикой применения удобрений в условиях орошаемого земледелия.

**Аэрация и питание растений.** Аэрация почвы и питательных растворов резко меняет интенсивность поглощения питательных веществ растениями. Впервые это было показано Хогландом. Его

наблюдения по аэрации питательных сред дали новые представления о физиологии минерального питания растений.

Содержание кислорода и диоксида углерода в среде, окружающей корни, сильно варьирует. В частично анаэробных условиях ухудшается снабжение поглощающих клеток кислородом и повышается содержание диоксида углерода. Связь поглотительной деятельности корневой системы с аэробным дыханием предопределяет характер зависимости поглощения веществ от снабжения кислородом. Одно из основных требований при выращивании растений в водной культуре — продувание питательного раствора воздухом. Роль структуры почвы в минеральном питании в определенной степени также объясняется улучшением газообмена корней.

Установлены влияние аэрации на поглощение растениями различных элементов питания и неодинаковая чувствительность к условиям аэрации при поглощении элементов питания, а именно  $K < Ca < Mg < N < P$ .

Для корней целых растений и для выращивания культуры изолированных корней отмечено максимальное поглощение элементов минерального питания при содержании кислорода 2—3 %. Причем при дальнейшем увеличении концентрации кислорода до 100 % скорость поглощения солей не увеличивается. В других исследованиях показано, что поглощение фосфатов корнями ячменя не зависит от парциального давления кислорода в пределах от 3 до 100 %, если общее давление газа поддерживается равным  $1,01 \cdot 10^5$  Па.

Оптимальные условия аэрации, температуры воздуха, почвы (или другой питательной среды) оказывают значительное действие на улучшение поступления элементов минерального питания в растения (табл. 21).

**21. Влияние температуры и аэрации на урожай и питание томата**

| Температура раствора, °C | Аэрация раствора | Урожай плодов, кг | Усвоено, мг-экв на 1 растение |             |     |           |           |
|--------------------------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------------|-----|-----------|-----------|
|                          |                  |                   | $NO_3^-$                      | $H_2PO_4^-$ | K+  | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ |
| 14—20                    | Обычная          | 7                 | 776                           | 115         | 506 | 329       | 141       |
| 20—23                    | »                | 8                 | 854                           | 143         | 600 | 393       | 143       |
| 14—20                    | Усиленная        | 10                | 1074                          | 160         | 738 | 445       | 197       |

Поглотительная деятельность корней у большинства сельскохозяйственных культур может осуществляться только в условиях достаточной аэрации. Указанная оптимальная концентрация кислорода (около 3 %) не является одинаковой для всех растений. Известна широкая амплитуда колебаний газового состава внешней среды, в которой растения развиваются нормально (промышленные, высокогорные районы, разные условия аэрации различных почв и т. д.). Однако при недостатке аэрации корневой системы

резко нарушается нормальный процесс поглотительной деятельности корней.

Содержание кислорода в почве определяет окислительно-восстановительный потенциал веществ или систем веществ, находящихся в почве. Например, для катионов, как правило, более растворима и подвижна форма соединений металлов с возможной низкой валентностью ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  и др.). Для анионов подвижность и, следовательно, поглощение растениями усиливаются с увеличением валентности входящего в состав элемента ( $\text{Mo}^{6+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{V}^{5+}$ ).

Имеются данные о депрессивном действии диоксида углерода на поглощение корневой системой растений нитратов, фосфатов и иона аммония. Также отмечено депрессирующее действие продувания питательного раствора диоксидом углерода на поглотительную деятельность корней кукурузы, риса и пшеницы.

Аэрация почвы оказывает сильное воздействие на почвенные микроорганизмы и связанные с их жизнедеятельностью процессы превращения питательных веществ в почве.

**Тепло и питание растений.** Все проявления жизнедеятельности растений возможны только в известных пределах температуры. Оптимальная температура среды для прорастания семян ячменя 20 °С, овса, пшеницы, ржи 25 °С, табака 28 °С, кукурузы и сорго 32—35 °С, огурца и тыквы 33—35 °С. Для большинства растений при достаточном освещении и удовлетворительном обеспечении водой благоприятна температура воздуха от 15 до 30 °С. В большинстве случаев оптимальная температура для поступления азота и фосфора в зерновые хлеба составляет 23—25 °С. Однако содержание белка в зерне пшеницы может заметно возрастать при повышении температуры до 35 °С. По-видимому, в условиях благоприятной влажности (60 % НВ) повышение температуры почвы усиливает мобилизацию азота, что отражается на его потреблении растениями и содержании белковых веществ.

Давно отмечено более высокое содержание белка в пшенице на юго-востоке нашей страны в сравнении с северо-западом. Это коррелирует с засушливым климатом и повышенными температурами во время вегетации растений в юго-восточных районах. Клешевина, соя, фасоль и другие южные культуры лучше поглощают питательные вещества при 30—35 °С.

Известно, что для хорошего роста корней температура почвы должна быть несколько ниже, чем температура воздуха для роста надземной части растения. Однако разрыв не должен быть большим. Для конопли при появлении всходов минимальная температура почвы составляет 2—3 °С, для яровых зерновых и гороха 4—5 °С. Для формирования вегетативных органов достаточны такие же минимальные температуры.

Формирование репродуктивных органов происходит при следующих минимальных температурах: у конопли, яровых зерновых, гороха 10—12 °С, у гречихи, подсолнечника, кукурузы, проса

12—15 °С, у риса, хлопчатника 13—20 °С. Во время плодоношения для большинства культур достаточна температура 10—12 °С, а для риса и хлопчатника 15—20 °С.

Температура существенно влияет не только на прорастание семян и развитие всходов, но и на поступление в растительный организм элементов питания. Установлено, что для усвоения аммонийного азота приемлема более низкая температура, чем для нитратного азота.

У проростков пшеницы почти не снижалось поступление калия, но сильно сокращалось поглощение корнями азота, фосфора, кальция и серы при понижении температуры до 5—7 °С.

Для каждого вида и даже сорта растений можно отметить температуры, соответствующие наиболее интенсивному поглощению тех или иных элементов минерального питания (рис. 17).

При пониженных температурах (10—11 °С) использование растениями фосфора затрудняется. Поступление азота нитратов ухудшается при температуре ниже 5—6 °С. Понижение температуры также оказывает отрицательное действие на поступление калия в растения.

В условиях оптимального минерального питания температура около 5—6 °С является критической для поступления основных элементов минерального питания в растения.

Низкие температуры тормозят вовлечение минеральных соединений азота в синтетические процессы. Считается, что температура ниже 10 °С отрицательно влияет на поступление всех минеральных элементов в корни.

Скорость поглощения элементов минерального питания возрастает с повышением температуры до определенного предела, неодинакового для разных растений.

Уменьшение поглощения солей при температуре 40—50 °С вызывается, по-видимому, инаktivацией ферментных систем, принимающих участие в усвоении ионов. При низких температурах поступление элементов минерального питания снижается до минимума вследствие изменения скорости химических реакций и действия таких температур на поглощающий аппарат.

**Свет.** Освещенность растений и поглощение ими минеральных элементов, как и другие факторы жизни, находятся в непосредственной связи. Растение обитает в двух средах — по-

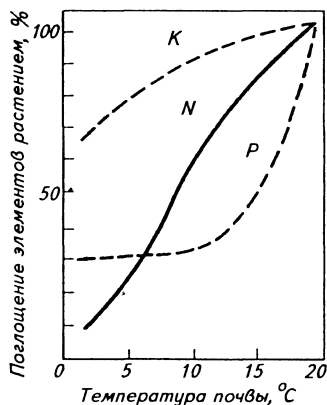


Рис. 17. Влияние температуры среды на поступление в растения питательных элементов (% от поглощения при 20 °С)



чве и воздухе, характеризующихся постоянным колебанием условий: сменой дня и ночи, изменением влажности, температуры, содержания усвояемых форм элементов, интенсивности освещения.

Целесообразность реакций, выработанная растениями в процессе эволюции, позволяет им реагировать на изменяющиеся условия внешней среды и, как известно, нормально расти и развиваться. В процессе фотосинтеза растения усваивают энергию света, и таким образом начинается цикл энергетического обмена между растениями и внешней средой.

Растения усиленно поглощают элементы минерального питания при первых лучах солнца. В случае затенения снижается не только интенсивность фотосинтеза, но и поглощение питательных веществ и корнями. Выдерживание растений в течение длительного времени в темноте приводит к полному прекращению поступления элементов минерального питания. Это объясняется тем, что в процессе фотосинтеза накапливаются органические вещества, используемые при дыхании. При затенении растений дыхание постепенно затухает. Таким образом, влияние света на поглощение элементов питания выражается в том, что в процессе фотосинтеза растение создает вещества, необходимые для дальнейших метаболических реакций поглощенных ионов, и запас энергетического материала.

**Реакция среды.** Реакция среды (кислотность или щелочность) зависит от соотношения в почвенном растворе ионов  $H^+$  и  $OH^-$ . Реакцию среды выражают концентрацией ионов водорода в виде отрицательного логарифма числа 10, обозначаемого символом pH.

Реакция среды имеет важное физиологическое значение для всех растительных организмов. Изменение величины pH почвы с помощью известкования, в результате которого происходит замена ионов водорода на кальций, влияет на возможность использования растениями ряда элементов минерального питания, что, в свою очередь, отражается на многих процессах метаболизма. Как известно, кальций тормозит поступление ионов  $H^+$  в растения, и они при повышенном содержании кальция способны переносить более кислую реакцию среды (табл. 22).

## 22. Влияние хлористого кальция на рост корней пшеницы при разной кислотности раствора

| Вариант опыта | Средняя длина корней (мм) при pH |     |     |     |     |
|---------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|               | 5,3                              | 4,9 | 4,7 | 4,3 | 4,0 |
| Без $CaCl_2$  | 25                               | 29  | 24  | 3   | 0   |
| C $CaCl_2$    | 64                               | 64  | 70  | 67  | 48  |

Реакция среды оказывает косвенное и прямое влияние на растительный организм. При косвенном воздействии реакция среды влияет не на само растение, а на условия, от которых зависит его

нормальное состояние. Среди этих условий в первую очередь следует отметить влияние рН на доступность растениям элементов минерального питания, проявление токсичных свойств отдельных элементов в высоких концентрациях и т. д. В кислой среде увеличивается количество доступных для растений форм железа, марганца, кобальта, меди и уменьшается количество доступных форм азота, фосфора, молибдена и ванадия.

Реакция среды во многом определяет поступление в растения элементов минерального питания (табл. 23).

**23. Влияние рН раствора на поглощение элементов минерального питания растения**

| Культура      | рН раствора | Поглощено из $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ |                     |
|---------------|-------------|--|---------------------|
|               |             | $\text{NH}_4^+$                            | $\text{HPO}_4^{2-}$ |
| Кормовые бобы | 4,8         | 0,23                                       | 1,11                |
|               | 6,6         | 0,89                                       | 0,13                |
|               | 7,4         | 1,26                                       | 0,06                |
| Пшеница       | 5,3         | 1,40                                       | 0,92                |
|               | 6,7         | 1,86                                       | 0,28                |
|               | 7,3         | 2,26                                       | 0,10                |

Как известно, в кислом растворе преобладают ионы  $\text{H}^+$ , и при увеличении кислотности раствора улучшается поступление анионов. Поглощение катионов усиливается, как правило, при подщелачивании раствора, когда в нем преобладают ионы  $\text{OH}^-$ . Так, ион  $\text{NH}_4^+$  поступает лучше в растение при нейтральных значениях рН, а ион  $\text{NO}_3^-$  — при сдвиге рН в сторону подкисления. В почвенных культурах эта закономерность проявляется не всегда, так как почва является сложной средой, где поступление элементов питания в растения во многом зависит от их подвижности. Концентрация ионов водорода в окружающей среде имеет чрезвычайно важное значение при поглощении растениями фосфатов: при постепенном подщелачивании среды происходит видоизменение преобладающей в почве формы фосфатов от одновалентной ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) к двухвалентной ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) и наконец к трехвалентной ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Замедление роста ряда растений при щелочных значениях рН может быть вызвано снижением доступности в этих условиях необходимого количества соединений фосфора.

В опытах Д. Н. Прянишникова при аммонийном питании для сахарной свеклы оптимальным был рН 7,0, а при нитратном — рН 5,5. При анализе отмечено пониженное содержание кальция в листьях растений (так как избыток ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{NH}_4^+$  в растворе затруднял поступление кальция в растения). Отрицательное действие ионов водорода резко проявляется при малом количестве

других катионов, особенно кальция. Исходя из данного положения, Д. Н. Прянишникову удалось значительно усилить развитие растений свеклы при pH 5,5 на аммонийном источнике питания путем введения в питательный раствор повышенных количеств кальция.

Повышенное содержание магния и калия в растворе способно влиять в том же направлении, что и содержание кальция, но количественно это влияние выражено слабее.

Реакция среды оказывает на растения различное по силе воздействие, что зависит от многих других факторов. Особенно чувствительны к реакции среды растения в первый период роста. Так, сдвиг реакции среды в кислую сторону (pH 3,5) в период от 40 до 60 дней после всходов не оказывал заметного влияния на урожай ячменя, но при сдвиге реакции в кислую сторону в первые 20 дней, а также в течение всей вегетации урожай резко снизился (табл. 24).

24. Влияние реакции среды на урожайность ячменя, г на сосуд

| Изменение pH в период вегетации  | Солома | Зерно |
|--|--------|-------|
| pH 7,0 в течение всей вегетации  | 28,4   | 19,5  |
| pH 3,5 в течение всей вегетации  | 6,4    | 1,5   |
| pH 3,5 в первые 20 дней, затем pH 7,0                                  | 17,1   | 1,4   |
| pH 3,5 в период от 40 до 60 дней после всходов, остальное время pH 7,0 | 26,1   | 17,5  |

Высокая кислотность отрицательно влияет на растения не только при низком содержании в почвенной среде кальция и ряда других ионов, но и при недостаточной освещенности из-за ослабления фотосинтеза и недостатка ассимилятов для ряда метаболических процессов, в том числе для обеспечения поступления и вовлечения в обмен элементов минерального питания. Действие высокой кислотности среды усиливается многими другими отрицательными факторами. Например, в опытах кафедры агрохимии МГУ показано, что при кислой реакции в условиях избыточного увлажнения снижение урожая было более значительным, чем при оптимальном увлажнении почвы. Видимо, недостаточная аэрация почвы в условиях повышенного увлажнения существенно усиливала отрицательное действие высокой кислотности почвы на растения.

При увеличении кислотности среды повышается растворимость многих малорастворимых солей, а следовательно, и их доступность растениям.

Следует отметить, что влияние кислотности на поглощение растениями элементов питания во многом определяется свойствами почвы. Так, снижение pH в почвах с высоким содержанием железа, алюминия и марганца приводит к увеличению их подвижности

и накоплению в растениях в токсичных концентрациях, что отрицательно сказывается на развитии растений и, следовательно, на поглощении ими других элементов питания.

Известно также, что ионы  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Al}^{3+}$  образуют труднорастворимые, недоступные для растений соединения с фосфором, молибденом и некоторыми другими элементами питания.

Нельзя забывать, что действие известкования на поступление в растения различных элементов во многом зависит от их концентрации и соотношения.

Лучшей для роста и продуктивности большинства сельскохозяйственных растений является слабокислая реакция среды — рН около 6,5.

В природных условиях реакция почвенной среды колеблется в значительных пределах: от рН 2,5—3 в сфагновых торфах до рН 9—10 в солонцовых почвах.

В опытах Г. Я. Ринькиса показано, что с уменьшением степени кислотности наиболее сильно тормозится поглощение растениями марганца, кобальта и цинка, значительно меньше — калия и магния. Исследуемые в опыте элементы автор расположил в зависимости от снижения их поступления в растения при подкислении в следующий ряд: Mn, Co, Zn, Cu, P, Fe, B, Mg, K, N, Mo.

В практике недостаток Mn и Zn чаще всего наблюдается в карбонатных почвах. Величина рН почвенного раствора оказывает определенное воздействие на жизнедеятельность почвенных микроорганизмов.

Растения легче переносят неблагоприятную реакцию среды на почвах, имеющих высокие емкость поглощения и буферность.

#### 2.4.4. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ СОЛЕЙ

Наряду с другими условиями поступление питательных веществ из минеральных удобрений в растения зависит от физиологической реакции солей. Все соли, применяемые в качестве удобрения для растений, по химическим свойствам могут быть гидролитически кислыми, щелочными или нейтральными.

В процессе роста растения избирательно поглощают ионы, и даже при внесении в раствор химически нейтральных солей их физиологическая реакция может быть различной.

Значение тех или иных катионов и анионов в питании растений определяет различную интенсивность их поглощения. В результате остающиеся в питательном растворе ионы обуславливают его подкисление или подщелачивание.

*Физиологическая кислотность удобрения* — свойство подкислять реакцию среды, связанное с преимущественным использованием растениями катионов из состава соответствующей соли.

*Физиологическая щелочность удобрения* — свойство удобрения

подщелачивать реакцию среды, связанное с преимущественным использованием растениями анионов из состава соли.

Таким образом, при определении действия питательных смесей на изменение реакции среды следует учитывать не только реакцию солей, но и их физиологическую реакцию.

Несмотря на то что физиологическая реакция солей сильнее проявляется в водных и песчаных культурах, т. е. в безбуферных средах, при высоких уровнях использования удобрений ее следует учитывать при применении удобрений на полях, особенно на малобуферных почвах песчаного гранулометрического состава с невысоким содержанием гумуса. При применении физиологически кислых солей необходимо опережающее известкование. Как правило, из солей, содержащих азот, именно этот элемент в первую очередь поглощается растениями. Поэтому аммиачные соли являются физиологически кислыми, а селитры — физиологически щелочными.

Например, натриевая селитра при диссоциации дает ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{NO}_3^-$ , причем анион  $\text{NO}_3^-$  потребляется растениями в больших количествах, чем катион  $\text{Na}^+$ ; в растворе, кроме  $\text{NaNO}_3$ , появляется гидролитически щелочная соль  $\text{NaHCO}_3$ . Соли  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  ведут себя аналогично.

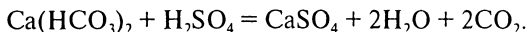
Интенсивное подкисление питательного раствора происходит вследствие более быстрого поступления в растения аммония, который образуется при диссоциации  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . При применении данных солей требуется обязательная нейтрализация образующихся кислот путем опережающего известкования. Вследствие быстрого поступления аммиака, образующегося при диссоциации молекулы азотнокислого аммония, данная соль, как это было показано работами Д. Н. Прянишникова, является физиологически кислой.

Проявление физиологической реакции аммиачной селитры в значительной степени зависит от ряда факторов, определяющих усвоение растениями нитратного и аммонийного азота из состава этого удобрения. Обычно физиологическая кислотность азотнокислого аммония значительно слабее, чем чисто аммонийных солей.

Физиологическая кислотность калийных солей выражена еще слабее, чем аммонийных солей. Установлено, что при выращивании культур, слабо нуждающихся в калии (овес, ячмень), калийные соли оказались почти физиологически нейтральными, а при выращивании свеклы, подсолнечника и кукурузы, потребляющих значительные количества калия, калийные соли оказались физиологически кислыми. Картофель, табак, лен также потребляют много калия.

Устойчивость в сохранении реакции питательного раствора зависит от его состава. Например, если в растворе много бикарбоната кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , который получается при растворении

$\text{CaCO}_3$  в воде, содержащей диоксид углерода, то избыточная кислота будет реагировать с бикарбонатом кальция с образованием кальциевой соли кислоты и выделением воды и диоксида углерода:



Такой раствор обладает определенной буферностью, и заметных изменений реакции раствора, пока имеется бикарбонат кальция, не происходит. Буферная способность почв в значительной степени зависит от их емкости поглощения и состава поглощенных катионов.

#### 2.4.5. ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ПОГЛОЩЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Микроорганизмы исключительно важны для существования жизни на нашей планете. Благодаря деятельности микрофлоры происходят минерализация органических остатков и непрерывное поступление в атмосферу диоксида углерода, за счет которого осуществляется фотосинтез зеленых растений.

Выветривание горных пород, образование торфа, нефти, каменного угля, селитры, известняков — все эти процессы также протекают при непосредственном участии микроорганизмов.

Образование почвы неразрывно связано с эволюцией жизни. Первые живые микроорганизмы положили начало почвообразовательному процессу. В далекие геологические эпохи Землю окружала атмосфера из плотного слоя газов, препятствующая прохождению солнечных лучей. Первые микробы энергию, необходимую для усвоения углерода, использовали от разложения химических соединений. Микроорганизмы выделяли сильные кислоты, которые разлагали материнскую породу, измельчали ее, создавая новый вид структуры. С течением времени безжизненная выветренная порода обогащалась органическим веществом, происходил процесс почвообразования. Всего в пахотном слое почвы масса бактерий составляет от 3 до 7—8 т/га.

По способу питания микроорганизмы подразделяются на автотрофные и гетеротрофные. *Автотрофные бактерии* для связывания углерода диоксида углерода используют либо фотосинтез, либо химическую энергию окисления некоторых минеральных веществ — хемосинтез. Способностью к фотосинтезу обладают зеленые и пурпурные серобактерии, нитрифицирующие бактерии, железобактерии. *Гетеротрофные бактерии* усваивают углерод готовых органических соединений. Большинство почвенных бактерий, актиномицетов, почти все грибы и простейшие относятся к гетеротрофам.

Окисление сероводорода, элементарной серы и тиосоединений до серной кислоты называется *сульфофикацией*. Процесс осуще-

ствляется серобактериями и тионовыми бактериями. Серная кислота способствует переводу труднорастворимых минеральных солей, особенно фосфатов, в растворимые, а соединяясь с основаниями, дает сульфаты, которые используют растения.

Железобактерии осуществляют превращение солей оксидов железа, а также способны окислять соли марганца.

В практике используют различные способы снижения потерь азота — применение ингибиторов нитрификации, новых форм азотных удобрений, приближение срока внесения азотных удобрений к срокам интенсивного потребления азота.

Органический азот, как правило, не усваивается растениями. Для них необходим минеральный азот в виде нитратов. В почве происходит минерализация органического азота с образованием аммиака. Этот биологический процесс — называется *аммонификацией*. В нем принимают участие гетеротрофные бактерии, актиномицеты и грибы. В процессе аммонификации используются самые разнообразные азотсодержащие вещества: белки, аминсахара, нуклеиновые кислоты, пуриновые основания, мочевина и др. Этот процесс могут вызывать многие виды бактерий.

Каково значение аммонификации для сельского хозяйства? Аммиак, освобождающийся в результате биохимических реакций, происходящих в почве, расходуется разнообразно. Одна часть его адсорбируется на глинисто-гумусовых частицах или нейтрализует кислоты почвы, другая — немедленно превращается в белки бактерий или грибов. Какая-то часть аммиака окисляется также автотрофами в нитриты и нитраты, а некоторое количество аммиака остается в свободном состоянии и выделяется в атмосферу.

Микроорганизмы для своего питания нуждаются в разнообразных химических элементах, тех же самых, что и высшие растения. Основное питательное вещество, необходимое почвенным микроорганизмам, — азот.

Автотрофы используют простые минеральные азотистые соединения, например соли аммония и азотной кислоты. Среди автотрофов попадают фотосинтезирующие организмы, которые усваивают и атмосферный азот. Гетеротрофы могут усваивать азот из минеральных соединений, некоторые — даже атмосферный.

Существуют специфические микроорганизмы, способные использовать питательные элементы из такого сложного вещества, как гумус. Перегнойные соединения почвы по химической природе неоднородны. Они состоят из гуминовых кислот, гуминов, фульвокислот; медленно разлагаются микроорганизмами, причем фульвокислоты минерализуются быстрее, чем гуминовые кислоты и гумины, имеющие более сложное строение.

Накопление гумуса в почве очень ценно для земледелия. В гумусе аккумулируются питательные вещества, которые постепенно при разложении минерализуются и служат питанием для растений.

Гумус — отличный поглотитель влаги. Это свойство гумуса зависит от наличия гуминовых кислот. Установлено, что 1 г гумуса поглощает от 4 до 20 г воды. При засухе эта влага возвращается растениям.

Все химические и биохимические реакции в почве и в клетках микроорганизмов протекают, как правило, в воде. Лучше всего микроорганизмы развиваются при влажности 50—60 % максимальной влагоемкости. Анаэробные микроорганизмы развиваются при более высокой, чем аэробы, влажности — 80—90 % и даже 100 % (рисовые поля).

Каким же образом в одной и той же почвенной частичке одновременно существуют облигатные анаэробы, факультативные анаэробы и облигатные аэробы? Развитие аэробных микроорганизмов на поверхности почвенной частицы сопровождается интенсивным поглощением кислорода. От периферии частицы к ее центру концентрация кислорода резко падает. Поверхностная пленка аэробных микроорганизмов создает мощный барьер, препятствующий проникновению внутрь свободного кислорода. В центре почвенной частицы создаются анаэробные условия. Таким образом, частица почвы состоит из микрозон, где живут и развиваются микробы с разной потребностью в кислороде воздуха.

В почве наблюдается сочетание различных групп и видов микроорганизмов, разрушающих клетчатку, пектиновые вещества. Этот процесс происходит при разложении соломы, обработке волокнистых растений (мочка льна). Под влиянием уробактерий мочевины превращается в углекислый аммоний. Уробактерии — аэробы, хорошо развивающиеся лишь при высоком рН (7—8) среды, мочевины служит им источником азота, а органические кислоты и углеводы — углерода.

Разнообразные многочисленные почвенные микроорганизмы обеспечивают расщепление и других соединений углерода — гемицеллюлозы, крахмала, лигнина. Почвенная микрофлора вызывает превращение разнообразнейших химических соединений, ассимилируя, окисляя или восстанавливая их, осаждавая или растворяя, создавая комплексы или освобождая химические соединения из существующих комплексов.

Растения в процессе жизнедеятельности через корневую систему выделяют в почву минеральные соли, сахара, органические кислоты, аминокислоты, витамины, ростовые вещества. Эти вещества, усвоенные микроорганизмами, влияют на их развитие и состав. Наряду с корневыми выделениями микроорганизмы используют для питания отмершие корни, корневые волоски, слущивающиеся клетки корневых чехликов, эпидермис корня. В непосредственной близости от корней высших растений создается ризосфера — зона, благоприятная для развития почвенных микроорганизмов.

По данным В. Т. Емцева с сотр., количество бактерий рода



*Clostridium* в 1 г почвы пара составляет 69,7 тыс., а в ризосфере — 10,7 млн. Подсчитано, что масса бактерий в ризосфере люцерны примерно вдвое больше, чем в почве вне ризосферы, и составляет соответственно 5 и 2,25 т/га. В ризосфере бобовых культур микрофлора значительно богаче, чем в ризосфере злаковых.

Преобладающая группа ризосферной микрофлоры — неспоровые бактерии: азотобактер, клубеньковые, фотосинтезирующие бактерии. Здесь же накапливаются и другие представители азотфиксирующей флоры: маслянокислые, микобактерии, водоросли. В ризосфере наблюдается и более интенсивное размножение водорослей. Кроме названных в ризосфере развиваются и другие группы микроорганизмов — аммонификаторы, денитрификаторы, нитрификаторы. Благодаря этому в ней накапливается значительно больше доступных растениям элементов минерального питания, чем в остальных участках почвы. Причем большее содержание доступных растениям минеральных соединений отмечается в ризосфере, несмотря на их усиленное потребление корневой системой растений (табл. 25).

**25. Содержание доступных растениям минеральных соединений фосфора и калия в зоне корня и в почве, мг на 100 г сухой почвы**

| Культура       | $P_2O_5$   |             | $K_2O$     |             |
|----------------|------------|-------------|------------|-------------|
|                | вне корней | в ризосфере | вне корней | в ризосфере |
| Ячмень         | 18,6       | 22,5        | 9,3        | 12,8        |
| Озимая пшеница | 37,2       | 43,2        | 6,6        | 27,9        |
| Овес           | 31,5       | 34,5        | 10,7       | 34,4        |
| Клевер         | 16,2       | 21,9        | 6,4        | 8,2         |

Значительная роль в азотном балансе почв, особенно в условиях влажного климата и на почвах, богатых органическим веществом, принадлежит свободноживущим азотфиксирующим микроорганизмам. Благодаря совершенствованию методов исследования, список растений, способных к симбиотической азотфиксации, и микроорганизмов, усваивающих молекулярный азот, быстро расширяется.

При определенных условиях прикорневая микрофлора почвы может выполнять как положительную, так и отрицательную роль и наносить существенный ущерб растению. Микроорганизмы используют для питания некоторое количество минеральных соединений, поэтому резерв веществ, необходимых для высшего растения, несколько уменьшается. Однако размер подобного биологического закрепления обычно не бывает значительным и не причиняет заметного ущерба растению.

Ситуация существенно изменяется при внесении в почву веществ с широким соотношением C : N, например соломистого навоза, соломы. В таких случаях микроорганизмы быстро размножа-

ются и потребляют значительные количества азота, фосфора и других макро- и микроэлементов. В результате может создаваться некоторый дефицит необходимых элементов питания для растений. Именно этими причинами объясняется наблюдающееся в ряде случаев снижение урожая культур в первый год после внесения соломы.

Биологическое закрепление питательных элементов микроорганизмами, как правило, непродолжительно. После отмирания клетки микроорганизмы минерализуются и питательные вещества освобождаются для последующего их использования растениями — обычно на следующий год.

Интересно отметить, что каждая почва, возникшая в процессе эволюции, сформировала свою собственную, присущую только ей одной микрофлору.

| <i>Почвы</i>         | <i>Количество микроорганизмов, млн на 1 г почвы</i> |
|----------------------|---|
| Дерново-подзолистые: |   |
| целинные             | 600—1000  |
| окультуренные        | 1000—2000   |
| Черноземы:           |   |
| целинные             | 2000—2500   |
| окультуренные        | 2500—3000   |

До сих пор почва вместе с населяющими ее организмами была универсальным биологическим адсорбентом и нейтрализатором самых разнообразных органических соединений, что приводило к разложению большинства попавших в почву отходов хозяйственной деятельности человека. Отходы и отбросы служили для почвенных микробов источником углерода и других элементов.

В последнее время микроорганизмам все труднее справляться с переработкой массы веществ, поступающих во внешнюю среду. Промышленность и сельское хозяйство выбрасывают в природу колоссальное количество отходов, пестицидов и других веществ.

Задача агрохимиков — не допускать загрязнения окружающей среды.

## **2.5. ОТНОШЕНИЕ РАСТЕНИЙ К УСЛОВИЯМ ПИТАНИЯ В РАЗНЫЕ ПЕРИОДЫ ВЕГЕТАЦИИ И ПЕРИОДИЧНОСТЬ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ**

Поглощение элементов питания в онтогенезе (в течение вегетации) осуществляется неравномерно. Рациональная система удобрения должна учитывать меняющиеся в течение жизненного цикла потребности растений в элементах питания и своевременно обеспечивать растения нужными элементами в необходимых количествах и соотношениях, в наиболее целесообразных формах.

Недостаточная обеспеченность питания растений в тот или

иной период жизни вызывает снижение урожая и ухудшение его качества.

Особенно важно обеспечить растение питательными веществами в критический период, когда размеры потребления элементов питания могут быть ограниченными, но недостаток их в это время резко ухудшает рост и развитие растения, так же как и в период максимального поглощения, характеризующийся наиболее интенсивным потреблением питательных веществ.

Высокая чувствительность как к недостатку, так и к избытку элементов минерального питания наблюдается у растений в начальный период роста, являющийся критическим в отношении фосфорного питания (табл. 26).

26. Влияние питания растений фосфором на урожайность ячменя

| Условия питания                       | Урожайность, % |       |
|---------------------------------------|----------------|-------|
|                                       | общая          | зерно |
| Нормальное питание фосфором постоянно | 100            | 100   |
| Без фосфора первые 15 дней            | 17,4           | 0     |
| Без фосфора от 45 до 60 дней          | 102            | 104   |

Высокая требовательность молодых растений к условиям минерального питания объясняется большой напряженностью синтетических процессов, происходящих в это время в растительном организме, и одновременно слаборазвитой корневой системой. Например, у зерновых злаков закладка и дифференциация репродуктивных органов начинаются уже в период разворачивания первых трех-четырех листочков. Недостаток азота в этот период приводит к уменьшению формирования числа колосков и снижению урожая. Последующее нормальное питание азотом не может исправить ущерб, нанесенного растению в этот период (табл. 27).

27. Питание азотом и урожай ячменя, г на сосуд

| Условия питания                            | Солома | Зерно |
|--|--------|-------|
| Азот на протяжении всего периода вегетации | 26,1   | 6,4   |
| Без азота первые 15 дней                   | 4,5    | 0     |
| » » от 15 до 30 дней                       | 19,4   | 4,2   |
| » » от 30 до 40 дней                       | 29,1   | 8,7   |
| » » от 45 до 60 дней                       | 29,4   | 7,7   |
| » » после колошения                        | 18,6   | 3,8   |

Интенсивность потребления питательных веществ в разные периоды развития у различных растений сильно варьирует. Так, в одном из опытов растения сахарной свеклы усвоили в первый месяц азота, фосфора и калия по 2 кг/га, а во второй — N 96 кг, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 34 и K<sub>2</sub>O 133 кг/га.

Травы, сахарная свекла отличаются длительным периодом потребления питательных веществ. У конопли, наоборот, короткий период интенсивного потребления питательных веществ — 75 % всего их количества потребляется от фазы бутонизации до фазы цветения.

Наибольшее количество элементов минерального питания яровые зерновые усваивают в период от выхода в трубку до колошения.

Так, в период колошения пшеницей было потреблено азота, фосфора и калия около 76 % от максимального, ячменем — около 67 % и овсом — 47 % (табл. 28).

28. Потребление питательных веществ яровыми зерновыми культурами, % от максимального

| Фаза роста      | Пшеница |                               |                  | Ячмень |                               |                  | Овес |                               |                  |
|-----------------|---------|-------------------------------|------------------|--------|-------------------------------|------------------|------|-------------------------------|------------------|
|                 | 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 | N    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 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                           | 83               |

Капуста потребляет наибольшее количество питательных веществ во время формирования кочана (табл. 29).

29. Динамика потребления питательных элементов капустой, % от максимального

| Фаза роста                  | От начала вегетации |                               |                  |
|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|------------------|
|                             | N                   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Рассада (10.06)             | 0,17                | 0,14                          | 0,12             |
| Формирование кочана (27.07) | 30,50               | 21,80                         | 24,20            |
| Рыхлый кочан (7.09)         | 96,40               | 100,00                        | 96,60            |
| Хозяйственная спелость      | 100,00              | 90,50                         | 100,00           |

Поглощение элементов питания растениями характеризуется различной интенсивностью.

Злаковые, как правило, наиболее требовательны к азотному питанию в период формирования ассимиляционного аппарата и в период дифференциации репродуктивных органов. Сахарная свекла нуждается в повышенном уровне обеспеченности калием во время сахаронакопления.

Лен наиболее чувствителен к уровню азотного питания в период от елочки до бутонизации:

| Условия питания                      | Масса растений, % |
|--------------------------------------|-------------------|
| Полное питание весь период           | 100,0             |
| Без азота от «елочки» до бутонизации | 38,3              |
| Без азота от бутонизации до уборки   | 99,0              |

К уровню калийного питания лен особенно чувствителен в период от бутонизации до цветения:

| <i>Условия питания</i>               | <i>Число коробочек на 1 растение</i> |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Полное питание весь период вегетации | 42                                   |
| Без калия первые 22 дня              | 43                                   |
| Без калия от бутонизации до уборки   | 9                                    |

Огурец требователен к питанию азотом в период формирования ассимиляционного аппарата, а к питанию фосфором — перед цветением. В период плодоношения огурец нуждается в усиленном обеспечении азотом и калием.

Таким образом, в начальный период роста растения, как правило, нуждаются в больших количествах фосфора по сравнению с азотом и калием. Усиление азотного и отчасти фосфорного питания в период бутонизации и цветения способствует увеличению урожая зерновых. Повышенное азотное питание во время образования листовой массы и усиление фосфорно-калийного питания в дальнейшем позволяют получать хорошие урожаи корне- и клубнеплодов.

Потребность большинства растений в азоте уменьшается к началу плодообразования, при этом роль фосфора и калия в питании растений возрастает. Однако в целом в период плодообразования потребление питательных веществ снижается, и в конце вегетации процессы жизнедеятельности в растениях осуществляются в основном за счет реутилизации ранее накопившихся элементов питания.

При разработке системы удобрения необходимо учитывать неодинаковую потребность растений в элементах питания в течение вегетации. Так, основное удобрение должно обеспечивать питание растений на протяжении всей вегетации, поэтому до посева, как правило, применяют все подлежащие внесению органические удобрения и большую часть минеральных удобрений.

Для обеспечения растений питательными веществами, особенно фосфором, в начальный период их роста применяют припосевное удобрение (в рядки, при посадке — в лунки, гнезда).

Направленное воздействие на величину и качество урожая возможно путем регулирования питания растений при помощи подкормок в различные периоды вегетации. Применяя подкормку, можно улучшить питание растений тем или иным элементом в наиболее ответственные периоды или при своевременном выявлении недостатка какого-либо элемента питания.

Уровень питания, потребность в питательных веществах постоянно изменяются не только на протяжении вегетации растений, но и в разные часы суток. Суточная периодичность отмечена практически для всех процессов жизнедеятельности.

Создать условия, наиболее полно соответствующие потребнос-

тям растений в элементах питания, легче всего при выращивании их на искусственных питательных средах. Выращивание растений в управляемых условиях при беспочвенной культуре имеет важное значение.

В разработке теоретических основ питания растений и возделывания их в искусственных условиях большая заслуга принадлежит Д. Н. Прянишникову и его школе.

Важную роль при выращивании растений в искусственных условиях играют состав, концентрация питательного раствора, режим его применения в течение вегетационного периода. Режим питания с возрастом растений должен изменяться. Временным исключением притока питательных элементов из внешней среды в определенные периоды вегетации можно вызвать интенсивное развитие корневой системы. Заменой питательного раствора на воду можно вызвать временное голодание растений и тем самым стимулировать процесс клубнеобразования у картофеля, образование завязей плодов у томата и получить таким образом эффект скороспелости.

Весьма интересно явление суточной периодичности в поглощении питательных веществ растениями. Она проявляется как при переменных, так и при постоянных условиях среды и носит характер внутреннего эндогенного ритма. Регулируемая биологическими особенностями растений суточная периодичность процессов позволяет растениям активно приспосабливаться к постоянно изменяющимся условиям внешней среды. Эндогенные суточные или околосуточные (циркадные) ритмы в постоянных условиях постепенно затухают и вновь восстанавливаются при изменяющихся условиях. Способность растений изменять циркадный период позволяет повысить их выживаемость.

У растений имеются годовые, сезонные и суточные ритмы; кроме того, наблюдаются ритмы, носящие импульсный характер, с периодами от нескольких часов до секунд. Пульсирующая ритмичность с короткими активными периодами обнаружена в поглощающей и выделительной деятельности корней и в других физиологических процессах у растений.

Выращивание овощей и других сельскохозяйственных культур в условиях защищенного грунта приобретает все большее значение.

В искусственных условиях имеется возможность получать высокие урожаи многих культур. При этом весьма интересной является возможность увеличения продуктивности растений путем применения периодичности питания.

Метод периодического питания особенно перспективен для гидропоники, так как позволяет без увеличения расходов на минеральные удобрения значительно повысить продуктивность растений.

## 2.6. МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Минеральное питание — один из наиболее доступных факторов регулирования жизнедеятельности растений. Поэтому в настоящее время главная задача агрохимиков, почвоведов, растениеводов и физиологов растений — своевременное и направленное воздействие через процессы корневого питания на ход формирования урожая. Это возможно только при правильной диагностике питания растений, т. е. своевременном выявлении недостатка питательных элементов.

Химический состав у разных видов растений неодинаков и зависит от количества, форм и способов внесения минеральных и органических удобрений, доступности элементов питания почвы.

Содержание химических элементов в растениях и отдельных его органах определяется генетическими особенностями растений, спецификой их функций, процессами биосинтеза, физиологическим состоянием органов и тканей. Только постоянное обеспечение растений необходимыми элементами питания в оптимальных их соотношениях на протяжении всего вегетационного периода позволит максимально использовать биологический потенциал каждого сорта. В определенные фазы вегетации требуется различное количество питательных элементов, что обуславливает необходимость управляемого поступления их в течение всего периода жизнедеятельности растительного организма.

Цель методов почвенной и растительной диагностики, входящих в состав комплексной диагностики питания, — обеспечение постоянного контроля за условиями выращивания и корректировка питания растений в процессе вегетации, что способствует более полному использованию питательных элементов почвы и удобрений.

Комплексная диагностика питания предусматривает регулярное выполнение агрохимического анализа почв, в том числе ежегодную (весеннюю или осеннюю) оценку обеспеченности их азотом, а также оперативную диагностику питания растений в течение вегетации. Почвенная диагностика способствует более полному выявлению возможностей того или иного типа почвы по обеспечению растений элементами питания. Оценку данных, полученных методами растительной диагностики, следует проводить с учетом истории поля, почвенных карт, агрохимических картограмм, результатов опытов и зональных рекомендаций по применению удобрений под конкретную культуру.

Выбор методов диагностики или их сочетания определяется потребностями хозяйства, наличием соответствующих условий.

При выполнении работ по коррекции питания растений с помощью методов диагностики необходимо учитывать следующее.

1. Растениям свойственны высокая упорядоченность процессов жизнедеятельности и их локализация.

2. Темпы роста растений и наступление фаз развития обусловлены генетическими факторами; большое значение имеют условия выращивания.

3. Нарушения питания в первую очередь наиболее сильно сказываются на развитии и химическом составе вегетативных органов, что, в свою очередь, тесно коррелирует с химическим составом репродуктивных органов.

4. Многие питательные вещества являются не только составными частями ряда ферментных систем, но и их активаторами, ингибиторами или стабилизаторами, в связи с чем их недостаток или избыток нарушает как процессы биосинтеза физиологически активных веществ, так и обмена.

5. Если известна функция элемента, то возможно и управление протекающей реакцией путем правильной дозировки и соотношения элементов питания.

6. При внесении элементов питания помимо повышения урожая всегда отмечается изменение химического состава растений, при этом возможно увеличение содержания тех элементов, которые не вносили. Данный факт указывает на то, что при планировании величин урожая нужно наряду с химическим составом растений учитывать изменения процессов обмена веществ.

7. Следует иметь в виду, что при распаде органических веществ образуются диоксид углерода, вода и минеральные вещества, которые также влияют на обеспеченность растений элементами питания.

8. Корректировка питания и технология выращивания на ранних этапах развития растений дают больший эффект, чем на поздних. Высокий и сбалансированный уровень применения удобрений способствует ускорению начальных этапов роста культур, что, в свою очередь, может привести к удлинению срока работы каждого отдельного листа.

9. При распределении ассимилятов между конкурирующими органами одного типа преимущество имеют более крупные и ближе расположенные к источнику. При распределении ассимилятов между органами различного типа, вероятно, действуют другие механизмы, скорее всего на первый план выступает влияние растительных гормонов.

**Растительная диагностика.** Обеспеченность растений химическими элементами необходимо контролировать по их химическому составу с учетом биологических возможностей и особенностей сорта, темпов роста и продолжительности различных периодов вегетации.

В связи с возможностью накопления в вакуолях клеток корня значительного количества питательных элементов, находящихся в растениях в избытке, диагностику питания растений следует проводить с учетом анализа химического состава не только листьев, но и корней. Одновременное исследование элементного состава



листьев и корней позволяет сделать более обоснованное заключение об обеспеченности растений элементами питания.

Нормальной обеспеченностью растений элементами питания считается состояние определенного внутреннего насыщения, накопления в резервных зонах некоторого запаса химических элементов.

Для различных почвенно-климатических зон разработаны общие оптимальные параметры содержания NPK в зерновых культурах, рекомендованные в методических указаниях по оптимизации минерального питания зерновых с помощью методов растительной диагностики.

Растительная диагностика включает визуальную, химическую (тканевая и листовая) и функциональную, или физиологическую.

**Визуальная диагностика.** Метод визуальной диагностики основан на изменении морфологических признаков растений, вызванных недостаточным или избыточным содержанием питательных элементов в почве или других субстратах. Его результаты зависят от опыта специалиста, выполняющего данную работу.

Точность оценки снижается и из-за того, что обычно резкий недостаток или избыток элементов, вызывающий характерные признаки, встречается весьма редко, а частичный дефицит или избыток может внешне не проявляться. Кроме того, похожие визуальные признаки могут быть вызваны не только ущербностью минерального питания, но и отклонениями температуры или влажности, повреждениями вредителями или болезнями.

Любое нарушение внутреннего процесса в растении отражается на его внешнем виде. Оно может быть обнаружено в различных органах, но для каждого нарушения имеются и наиболее характерные индикаторные органы, по которым диагностику провести значительно легче.

Голодание растений часто наблюдается при краткосрочном сдвиге оптимального соотношения элементов; оно может проявляться даже на высоком питательном фоне при неблагоприятном сочетании внешних факторов роста — освещенности, влажности, температуры, аэрации.

В практике достаточно часто наблюдают избыточное поступление в растение таких элементов, как аммонийный азот, хлор, марганец и некоторых других.

Потребности различных сельскохозяйственных культур в питательных элементах неодинаковы. Так, на одном и том же поле рожь дает хороший урожай и не проявляет признаков калийного голодания, а картофель не может нормально развиваться.

Те растения, по внешнему виду которых легко определить недостаток или избыток какого-либо элемента минерального питания, называют *растениями-индикаторами*.

Визуальная диагностика относится к наиболее простому, не

требующему оборудования методу, позволяющему за сравнительно короткое время (10—15 мин) сделать заключение о нарушениях в питании растений, о причинах, вызывавших их (почвенные и погодные факторы), и на основании этого дать рекомендации по изменению технологии выращивания (с учетом целей производства и возможности конкретного хозяйства).

Для визуальной диагностики помимо общих положений характерны следующие.

1. Исследователь рассматривает растение одновременно в трех временных аспектах — в прошлом, отражающем весь комплекс мероприятий по его выращиванию, в том числе и факторы среды (свет, температура, влажность и т. д.), в настоящем, оценивая темпы роста и степень развития, и в будущем, т. е. прогнозируя возможную величину и качество урожая при уровне технологии данного хозяйства.

2. Признаки голодания или избытка элементов питания проявляются зачастую не на всей площади, а лишь на отдельных участках, что связано с разным плодородием почв, особенностями рельефа, применением удобрений, обработками и т. д.

3. Обычно сначала тщательно изучают внешний вид растения (лучше с корнями) или его часть для определения повреждений, причиненных вредителями, грибами, бактериями, вирусами, пестицидами и ростовыми веществами.

4. Признаки недостатка и избытка элемента часто внешне выглядят очень похоже. Тем не менее недостаток элемента характеризуется более четкими признаками, которые идентифицируются легче (при соответствующих знаниях и опыте). Имеют значение также разная степень реутилизации элементов питания и взаимодействие их в процессах обмена.

5. Повреждения растений, вызванные вирусами, часто имеют признаки, сходные с нарушением минерального питания, но они отличаются более четкой границей пораженного участка.

6. Окончательное заключение о причинах нарушения делают только после того, как внешние признаки нарушений будут устранены с помощью соответствующих обработок или удобрений (на сильно поврежденных листьях внешние признаки нарушений могут сохраняться).

Для визуальной оценки определяют:

общее состояние растений всего массива (выбирают участок, растения, типичные для данного поля);

массу, высоту растений, соответствие развития сроку вегетации;

длину междоузлий (учитывая, что у молодых растений они более короткие);

выполненность стебля и его зрелость (при сбалансированном питании стебель полнее вписывается в круг; зрелость стебля оценивают по окраске среза на уровне 3-го междоузлия сверху);

упругость стебля и листьев, окраску листьев по ярусам и характер нарушений внутри яруса;

развитие корневой системы, наличие корневых волосков, окраску корней.

При недостатке или избытке элемента внешние признаки могут различаться в зависимости от вида и даже сорта растений. С другой стороны, есть и общие признаки. В связи с этим приводимое ниже описание внешних симптомов нарушений питания растений не претендует на исчерпывающую характеристику.

**Макроэлементы. Азот.** При недостатке азота наблюдаются угнетение вегетативного роста и ускорение репродуктивного развития при сильном снижении урожая, листья становятся светло-зелеными, затем желто-зелеными до желтых.

При избытке азота растениями-индикаторами могут служить огурец и кабачок, при недостатке — капуста белокачанная и цветная, кукуруза, картофель, черная смородина, яблоня, слива. Постепенно ослабевает усвоение диоксида углерода, уменьшается содержание белка, а углеводов — повышается. Процесс старения идет обычно медленно. Отмечается усиленный отток N из старых органов в молодые. Распадаются белки плазмы, тогда как содержание нуклеиновых кислот остается неизменным. При сильном недостатке элемента признаки азотного голодания распространяются на все растение. Азот влияет на синтез фитогормонов, ответственных за процессы образования и распада, старения и репродуктивного развития.

Старение нижних листьев происходит и при недостатке воды, однако при этом одновременно появляются признаки, связанные с избытком азота. Ограничение роста при недостатке азота может выглядеть так же, как при недостатке фосфора, но обязательно будут листья с характерными признаками недостатка азота, хотя и сходными с симптомами недостатка калия, магния, цинка, молибдена, бора, но со своими особенностями.

Азотное голодание легко устраняют внесением соответствующих доз удобрений. В случае недостатка азота в почве, но при периодических подкормках растения, как правило, не испытывают недостатка в этом элементе. Нормальное или повышенное содержание азота в почвах защищенного грунта в весенне-летний период вызывает усиление пигментации, может способствовать перегреву растений, закрытию устьиц и прекращению поглощения диоксида углерода, а также усиленному распаду органических соединений.

Применение высоких доз азота ведет к удлинению вегетационного периода и слишком сильному вегетативному росту. При резком избытке азота могут наблюдаться полная остановка роста и даже гибель растений. Они отличаются меньшей устойчивостью к заболеваниям. Повышается концентрация низкомолекулярных азотных соединений, что ухудшает качество корма. Так, установ-

лено, что при содержании нитратного азота в корме более 0,20 % снижаются надои молока (Harker and Kaman, 1961), а при 0,34—0,45 % возможен летальный исход.

При избытке азота формируются широкие, сочные листья от темно-зеленого до голубовато-зеленого цвета (если избыток азота не вызван недостатком воды), увеличивается масса растений. Репродуктивные органы развиваются хуже, продукция при хранении повреждается.

**Фосфор.** При недостатке фосфора снижаются активность цикла трикарбоновых кислот, синтез белка, возрастает накопление небелковых азотных соединений, уменьшается синтез крахмала и целлюлозы и усиливается накопление сахаров, увеличивается количество антоциана. При резком недостатке фосфора замедляется образование сахаров.

Недостаток фосфора наиболее отчетливо проявляется на томаты, яблоне, крыжовнике, брюкве, турнепсе.

Низкая обеспеченность фосфора тормозит клеточное деление, резко ограничивает рост растений. Листья становятся темно-зелеными, грязно-зелеными, затем красноватыми до пурпурных. Раньше других страдают старые листья. Вновь формирующиеся листья мелкие, образуются уродливые, мелкие цветки. У плодовых и citrusовых наблюдается преждевременное опадение плодов, у зерновых — изреженность посевов.

Признаки недостатка фосфора по сравнению с другими элементами определяются труднее, особенно в полеводстве. Они могут наблюдаться и в тех случаях, когда фосфора в почвах достаточно, но изменяются другие показатели (рН, содержание гумуса и мелкодисперсной фракции, алюминия, кальция, железа). Кроме того, потребление фосфора значительно меньше при засухах и низких температурах, при нехватке кислорода. Даже при нормальном снабжении фосфором молодые растения могут испытывать недостаток в нем.

При внесении больших доз азота, высоких урожаях потребность растений в лабильном фосфоре увеличивается, особенно в фазы максимального роста (для зерновых — с начала прорастания до образования колоса). Очень важен данный элемент для репродуктивного развития растений.

Избыток фосфора (чаще в закрытом грунте и значительно реже в полеводстве) приводит к преждевременному старению растений, начинающемуся с пожелтения и отмирания старых листьев, ускоренному переходу к репродуктивному развитию. При внесении высоких доз фосфора наблюдается недостаток кальция, а также микроэлементов (например, цинка и железа, бора, меди, марганца), уменьшается поступление токсичных элементов (алюминия и тяжелых металлов).

**Калий.** Недостатком калия отличаются легкие, часто кислые почвы или почвы с высоким содержанием трехслойных глинистых

минералов, которые при интенсивном использовании теряют калий и фиксируют его. Потребление калия значительно ухудшается при подсыхании, а также при внесении высоких доз  $\text{NH}_4^+$ , которые блокируют  $\text{K}^+$  в трехслойных минералах (вермикулит). Недостаток калия может быть следствием его антагонизма с  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{NH}_4^+$ .

При недостатке калия происходят глубокие нарушения в структуре и обмене веществ, обусловленные влиянием элемента на биологические коллоиды и ферментативные реакции. Усиливаются процессы гидролиза, наблюдается обогащение низкомолекулярными соединениями С и N, утончаются клеточные стенки. Увеличиваются потери воды и снижается ее потребление.

Наиболее заметен недостаток калия на капусте, картофеле, крыжовнике, свекле, люцерне, фасоли, красной смородине и яблоне.

К первым признакам недостатка калия относится замедление роста растения; нормально окрашенные или светло-зеленые листья в утренние часы упругие, при усилении освещенности или повышении температуры подвядающие. Молодые листья мелкие. Листья нижних ярусов, имея нормальную или темно-зеленую окраску, становятся чащеобразными, куполообразными, чаще с краевым подпалом. При сильном недостатке калия признаки распространяются на листья среднего, а затем и верхнего ярусов. У некоторых растений по краю листа появляются точечные некрозы, которые в дальнейшем объединяются в участки светло- и темно-коричневого цвета.

Избыток калия встречается крайне редко. Признакам избытка калия чаще всего сопутствуют признаки избытка хлора. Избыток калия может проявляться как недостаток Са и Mg. Кроме того, высокое содержание калия снижает потребление В, Zn, Mn и  $\text{NH}_4$ , поступление железа может улучшаться.

**Кальций.** Кальций ответствен за структурную и физиологическую стабильность растительного организма. Этот элемент участвует в упорядочении клеточного деления, образовании клеточных стенок и растяжении клеток меристемы побега и корня и в очень незначительной степени может быть заменен другими ионами. При недостатке кальция возрастает синтез фенольных соединений.

Недостаток кальция повышает проницаемость клеточной мембраны. Это ведет к выходу ионов из клетки, в дальнейшем нарушается структура ядра, уменьшается стабильность хромосом. Особенно важен кальций для меристемной ткани и ее дифференцировки, а также для направленного действия фитогормонов.

Виды растений и сорта значительно различаются по потребности в кальции и по возможности усваивать его из почвы. Нарушение питания растений кальцием часто является причиной непаразитических болезней.

Кальций (как и магний) накапливается в вегетативных органах и в ограниченном количестве в плодах. Часто содержание кальция в плодах и запасующих органах уменьшается при пониженной транспирации, однако и при высокой транспирации нет гарантии, что снабжение растений кальцием и водой будет достаточным.

Между кальциевым и борным питанием имеется тесная функциональная связь. Признаки их недостатка имеют внешнее сходство, что затрудняет диагноз.

Высокие концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  за счет антагонизма уменьшают поступление других катионов, что особенно важно при наличии в почве солей тяжелых металлов. Отмечено положительное действие кальция при повышенной концентрации в почвенном растворе макроэлементов и большинства микроэлементов (кроме  $\text{Mo}$ ).

Кальций участвует в транспорте азота  $\text{NO}_2$  (нитритов), поэтому при недостатке  $\text{Ca}$  происходит накопление нитратов. Кальций совместно с  $\text{Mg}$  и  $\text{Mn}$  активирует около 20 ферментативных систем.

Прежде всего страдают апикальная меристема, побег и корень, цветки и плоды. Старые листья вначале приобретают темно-зеленую окраску, затем могут желтеть и отмирать. Корни остаются короткими, ослизняются, приобретают коричневый оттенок и отмирают. У верхних, самых молодых листьев вначале белеет кончик. При больших нарушениях поражается край листа.

Снижение поступления кальция при пониженной транспирации приводит к надламыванию побега внешне нормальных и интенсивно развивающихся растений.

У плодовых при увеличении соотношения  $\text{N} - \text{NH}_4^+ : \text{Ca}^{2+}$  в растении отмирают цветы, при повышенном уровне питания калием этот процесс усиливается. Если содержание кальция в листьях меньше 3,0 % и в плодах меньше 0,15 %, начинается подвядание цветков. Достаточное содержание этого элемента в листьях и даже плодах еще не является гарантией оптимальности условий для дальнейшего роста растений: кальций обязательно должен находиться в виде свободных ионов в почвенном растворе. Потребность в кальции возрастает при большей освещенности.

Избыток  $\text{Ca}$  встречается крайне редко, как результат грубого нарушения режима питания при известковании. Одновременно, как правило, отмечается недостаток  $\text{K}$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{Mn}$ , а также  $\text{Zn}$  и  $\text{Cu}$ , иногда  $\text{Mg}$ , может быть избыток сопутствующих ионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ . В таких условиях для получения плановых урожаев необходимо значительно увеличить дозы практически всех элементов, предусмотреть применение физиологически кислых удобрений.

**Магний.** Входит в состав хлорофилла (до 15—20 % всего количества, содержащегося в растении) и, следовательно, принимает участие в фиксации  $\text{CO}_2$ . На синтез других пигментов магний также оказывает положительное действие; он влияет на течение око-

ло 300 ферментативных реакций. В основном положительное действие элемента связано со способностью образовывать хелаты с органическими соединениями. Почти все процессы обмена клетки, связанные с фосфорилированием, требуют магния. Другая важная функция магния — стабилизация клеточной мембраны. Наряду с  $K^+$  и  $Ca^{2+}$  магний влияет на вязкость протоплазмы и неспецифическим образом на действие ферментов и содержание воды.

Некоторое улучшение снабжения растений калием повышает содержание магния в семенах и плодах; при высоких дозах калийных удобрений поступление магния уменьшается. При широком соотношении  $K:Mg$  хлорозы проявляются даже, если магния в почве достаточно. Аналогично действуют высокие дозы  $NH_4^+$ .

Недостаток  $Mg$  наблюдается на многих почвах и в первую очередь на делювиальных песчаных, сильно вымываемых и кислых, на кислых почвах верховых болот, а также на известкованных почвах за счет антагонизма  $Ca$  и  $Mg$ . Недостаток магния при его оптимальном содержании в почве может быть обусловлен антагонизмом с  $H^+$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  (Bergman, 1983). От недостатка магния в первую очередь страдают капустные, картофель, яблоня, крыжовник, черная смородина, виноград. Дефицит магния вызывает у проса оранжевую окраску листьев, а у черной смородины и хлопчатника — пурпурно-красную.

При нехватке магния (аналогично  $N$ ,  $P$  и  $K$ ) начинается его отток из старых листьев. У здоровых растений магния больше в нижних листьях, чем в верхних. При недостатке элемента на нижних листьях наблюдается межжилковый хлороз, затем появляются коричневые и темно-коричневые некрозы. Уменьшается накопление крахмала в картофеле, сахара в сахарной свекле, жира в масличных растениях, а также белка по сравнению с небелковыми соединениями азота.

При недостатке магния в вегетативных органах содержится больше фосфора, а в семенах — меньше. Повышается доля фосфора неорганических соединений. В дальнейшем снижается содержание фосфора и в листьях, появляются внешние признаки недостатка этого элемента. Угнетается процесс восстановления нитратов и производства фитогормонов. При критических концентрациях прекращается фиксация  $CO_2$ . Листья становятся хрупкими, в плодах уменьшается содержание белков, углеводов или жиров.

Избыток  $Mg$  может наблюдаться при нарушении соотношения  $Ca:Mg$ , особенно когда в результате недостатка  $Ca$  специфически повреждается корневая система, снижается урожай, ограничивается рост, падают содержание калия и потребление  $Mg$ . Имеет значение также высокое содержание  $Ni$  и  $Cr$ . Поступлению  $Mg$  способствует ион  $NO_3^-$ .

**Микроэлементы.** В современной литературе много сведений о влиянии как отдельных микроэлементов, так и их комбинаций на урожай, устойчивость растений к грибной и бактериальной инфекции, а также к вирусам. Увеличение потребности в микроэлементах связано с широким применением известкования, интенсивным возделыванием почв, повышающимся уровнем урожая. Следует учитывать, что микроэлементы могут действовать и токсично.

**Бор.** При недостатке бора отмечаются значительные нарушения в обмене нуклеиновых кислот, белков и углеводов, в процессах дыхания и фотосинтеза, а также в содержании фитогормонов. Четкое вычленение нарушений, связанных с питанием растений бором, затруднено из-за сложной связи нарушений обмена веществ и процессов роста.

Признаки недостатка бора проявляются прежде всего на самых молодых листьях, на кончиках растущих побегов и корней. Содержание бора в старых листьях всегда выше, особенно при его избытке.

При недостатке бора наблюдаются:

хлорозы, пожелтение, а затем побурение кончиков самых молодых листьев, у томата почернение точки роста стебля;

отмирание конуса роста, торможение образования корней, цветков, семян;

подсыхание листьев, измельчение, прекращение доминирующего развития центрального побега и ненормальное разрастание боковых побегов и корней.

Недостаток бора заметнее всего на брюкве, турнепсе, сахарной и кормовой свекле, подсолнечнике, цветной и кормовой капусте, бобовых, плодово-ягодных, томате, сельдерее, льне, ржи.

При избытке бора происходит побеление краев листьев, затем они становятся коричневыми, возможно появление точечных хлорозов, в первую очередь у старых листьев; в значительной степени внешне это может совпадать с признаками недостатка калия.

**Молибден.** При недостатке молибдена светлеет окраска листьев, прежде всего вдоль центральной жилки, что напоминает признаки при недостатке азота (посветление окраски листа) и избытке нитратного азота (более темная окраска и побеление края листа). Поступление азота в репродуктивные органы задерживается, что приводит к снижению урожая. Избыток молибдена вызывает сильное угнетение роста растений.

Недостаток этого элемента особенно ярко проявляется на цветной капусте, бобовых и зеленных культурах, томате, цитрусовых. У большей части культур развивается желтая пятнистость листьев, у огурца — хлороз края листовых пластинок.

**Медь.** В почве медь аккумулируется в виде органо-минеральных комплексов и частично в обменно-поглощенном состоянии. Доступность меди ухудшается при повышении pH с 5,5 до 6,0. Недо-



статок меди особенно четко выражен на невозделываемых ранее пустошах, на легких почвах и почвах верховых болот, иногда и на низинных болотных почвах. Недостаток меди в корме вызывает болезни животных.

Недостаток меди в большей степени отражается на клевере, луговом просе, бобовых, овощных культурах, овсе, ячмене, пшенице, злаковых травах, конопле, льне, кормовых и столовых корнеплодах.

При недостатке меди кончики листьев становятся белыми и позднее засыхают; растения с большим запозданием выбрасывают метелки, которые остаются пустозерными или зерно образуется шуплое.

При высоком содержании в почвах меди и фосфора отмечают признаки цинковой недостаточности; возможно индуцирование признаков недостатка железа. Избыток, как и недостаток меди, проявляется прежде всего на молодых листьях.

**Железо.** Железное голодание растений встречается на почвах, богатых кальцием и имеющих щелочную реакцию. Однако может встречаться и на кислых почвах, содержащих значительное количество Mg. Железо должно поглощаться растением на протяжении всей вегетации, так как не реутилизируется из старых листьев.

Недостаток железа сказывается на молодых листьях и только при очень сильном дефиците затрагивает и старые. Вначале появляется светло-зеленая окраска молодых листьев, затем пожелтение и побеление. Жилки и прилегающие к ним ткани остаются зелеными. Хлороз уменьшается по направлению сверху вниз.

При избытке железа, встречающемся крайне редко, листья приобретают темно-зеленую и голубовато-зеленую окраску, что связано с сильным ограничением роста побегов, листьев и корней. Симптомы избытка железа могут совпадать с симптомами недостатка фосфора, особенно при низких значениях pH.

**Марганец.** Как и других микроэлементов, марганца больше всего в гумусовом слое и в илистой фракции почвы. В кислых почвах он присутствует в виде неподвижного двухвалентного, малоподвижного и плохо усваиваемого растениями соединения. Количество подвижных соединений марганца возрастает при внесении аммиачных удобрений.

При недостатке марганца появляются точечные хлорозы, переходящие затем в некрозы на молодых листьях, а при избытке — на старых.

Марганцевое голодание сказывается прежде всего на овсе, пшенице, картофеле, столовых и кормовых корнеплодах, кукурузе, капусте, бобовых, подсолнечнике, плодово-ягодных и цитрусовых культурах, ряде овощных культур. Например, у овса наблюдается серая пятнистость листьев, у сахарной свеклы — пятнистая желтуха.

Избыточное количество марганца легко устраняют известкованием или более высокими дозами железа.

*Цинк.* При недостатке цинка уменьшается рост, наблюдаются асимметричность листа, гофрированность листовой пластинки, межжилковый хлороз.

К недостатку цинка очень чувствительны плодовые культуры, особенно цитрусовые, а также кукуруза, соя, фасоль, гречиха, свекла, хмель, картофель, клевер луговой.

Больше всего нуждаются растения в цинке на нейтральных и слабощелочных почвах. При систематическом применении навоза потребность в нем в значительной степени снижается. Один из способов борьбы с недостаточностью цинка — запахивание сорняков под кукурузу.

Избыток цинка встречается крайне редко. Возможны хлорозы, связанные с недостатком железа, окраска жилок листьев такая же, как при недостатке фосфора; выборочные хлорозы вдоль жилок ближе к краям листа; краевые хлорозы листьев.

Необходимо учитывать способность многих питательных элементов, таких, как азот, фосфор, калий, магний, к реутилизации, т. е. повторному использованию. Недостаток этих элементов в первую очередь проявляется на нижних, более старых листьях. Кальций, сера, хлор, бор и многие другие микроэлементы реутилизуются слабее, поэтому недостаток их проявляется сначала в точках роста и на молодых листьях.

При визуальной диагностике оценивают высоту и массу растений, их соответствие фазе развития, окраску листьев по ярусам и внутри яруса, длину междоузлий, упругость стебля, выполненность побега и т. д. По результатам оценки составляют заключение, указывающее все отклонения от нормы, и разрабатывают рекомендации, направленные на изменение технологии выращивания культуры. Визуальные наблюдения имеют значение и для обеспечения сбалансированного питания сельскохозяйственных культур на конкретном поле в последующие вегетационные фазы. Исправить несбалансированное питание можно лишь частично, поскольку появление внешних признаков дефицита того или иного элемента минерального питания свидетельствует о том, что в метаболизме растений произошли достаточно глубокие изменения, последствия которых ликвидировать полностью невозможно.

Для своевременного обнаружения недостатка элементов минерального питания применяют методы химической диагностики, инъекции или опрыскивания.

Методы инъекции и опрыскивания позволяют быстро определить недостаток какого-либо элемента и наблюдать это визуально. Путем опрыскивания листа или инъекции в стебель (железку листа) растению вводят предполагаемый недостающий элемент, а затем в течение нескольких дней наблюдают за растением. Часто признак дефицита исчезает не на тех листьях, на которых он выявлен, а на вновь образующихся.

Для ликвидации недостатка элемента питания применяют

0,5%-ные растворы солей калия и кальция, 0,1%-ные растворы мочевины, монофосфата натрия, сернокислого магния, 0,02—0,1%-ные растворы солей микроэлементов.

**Химическая диагностика.** Метод листовой или тканевой диагностики основан на том, что при любых изменениях в режиме питания изменяется и состав листьев или других, наиболее отзывчивых органов. Для различных растений разработаны оптимальные концентрации содержания элементов питания в листьях, при которых у сельскохозяйственных культур отмечается максимальная продуктивность.

Точность данного метода для прогнозирования потребности в удобрениях значительно выше, чем почвенные анализы, так как при определении количества элементов в почве трудно прогнозировать, какая часть элементов поступит в растения при постоянно меняющихся остальных факторах жизнеобеспечения. Однако определение качества обеспечения растений по методу листовой диагностики так же, как и при визуальной, дает несколько запоздалую информацию. Следует также отметить, что недостаток или избыток какого-то одного элемента, а также неблагоприятные метеорологические условия дают неправильные данные об обеспеченности растений, так как изменяется содержание не только тех элементов, по которым в почве имеется недостаток или избыток, но и содержание целого ряда других элементов.

**Тканевая диагностика.** Предусматривает определение содержания неорганических соединений нитратов, фосфатов, сульфатов, калия, магния и т. д. в тканях или вытяжке из растений. Она обеспечивает быстрый контроль за питанием растений и осуществляется с помощью полевых портативных приборов: переносной лаборатории «Тканевая диагностика», которая предназначена для определения в тканях содержания элементов минерального питания в полевых и лабораторных условиях. Ее используют для экспресс-определения содержания нитратов, фосфатов и калия в сырых растительных образцах по методу В. В. Церлинг, а также определения спелости зерна.

Концентрацию NPK в тканях растений по интенсивности цветных растений можно установить также с помощью переносной экспресс-лаборатории, полевой сумки К. П. Магницкого.

Получить информацию о качественном составе растений позволяет использование передвижной лаборатории, которая оборудована приборами для потенциометрического анализа, фотокolorиметрирования, титрования.

Массовое определение содержания нитратного азота в тканях растений в поле без больших затрат труда и времени можно провести с использованием дифениламина. Этот метод применяют для оценки целесообразности азотных подкормок:

Средний балл поля

1,0—1,8  
1,9—2,5  
2,6—3,0

Доза азота, кг/га д. в.

60  
30

Подкормка нецелесообразна

Для диагностики азотного питания озимых зерновых культур применяют индикаторную бумагу «Индам». Диагностику проводят в фазы кущения, выхода в трубку, колошения, цветения (табл. 30). Анализируют определенную часть стебля: в фазе кущения — узел кущения, выхода в трубку — второй стеблевой узел, колошения и цветения — последний перед колосом стеблевой узел.

### 30. Оценочная шкала обеспеченности азотом озимых зерновых культур

| Окраска индикатора                | Балл | Обеспеченность азотом | Средний балл | Доза азота, кг/га д. в.  |                         |
|-----------------------------------|------|-----------------------|--------------|--------------------------|-------------------------|
|                                   |      |                       |              | кущение —<br>трубкавание | колошение —<br>цветение |
| Белая, бело-розовая               | 1    | Низкая                | До 1,8       | 60—80                    | Неэффективна            |
| Розовая                           | 2    | Средняя               | До 1,9—2,5   | 30—40                    | 40—50                   |
| Розовая интенсивная,<br>малиновая | 3    | Высокая               | 2,6          | —                        | 0—30                    |

Следует отметить, что метод определения обеспеченности элементами питания на срезах тканей наименее точен, чем в вытяжке из растений или в листьях.

Проводимые в полевых исследованиях наблюдения (Ягодин и др., 1993) за обеспеченностью озимой пшеницы нитратным азотом от начала выхода в трубку до начала формирования зерновки с помощью тканевой диагностики позволили определить периоды наибольшей потребности в азотных подкормках. Установлено, что место локализации нитратов в стебле в пределах одной фазы развития растений непостоянно, поэтому необходимо предварительное определение стеблевого узла, над которым делают срез для тканевой диагностики.

В данной работе тканевую диагностику проводили по методу Wolting, Wehrmann (1981, 1983) (0,5 г дифениламина в 100 мл концентрированной  $H_2SO_4$ ), аналогичному методу Церлинг (1978), с той лишь разницей, что для оценки обеспеченности растений используют четырехбалльную шкалу: 0 — без окраски, 1 — голубой, 2 — светло-синий, 3 — темно-синий цвет. Необходимость проведения второй азотной подкормки (некорневой) в фазе выхода в трубку обосновывали падением содержания азота по нитрат-тесту ниже 2 баллов. Дозу определяли согласно рекомендациям (Vielemeyer und a., 1985; Jakob und a., 1986): при среднем балле нитрат-теста в фазе выхода в трубку от 0 до 1,4 — 40—50 кг N/га, при 1,5—2,4 балла — 30—40 кг N/га. Третью подкормку азотом проводили в стадии молочной спелости в дозе 30 кг/га.

Наблюдение за обеспеченностью озимой пшеницы нитратным

азотом от начала фазы выхода в трубку с помощью тканевой диагностики (нитрат-теста) позволяет определить периоды наибольшей потребности в азотных подкормках. Достоверные различия результатов нитрат-теста между вариантами с разным уровнем азотного питания (контрольный и опытные) показали достаточную информативность экспресс-анализа до стадии зеленой спелости. Обеспеченность растений общим азотом характеризуется результатами нитрат-теста, проведенного на участке локализации нитратного азота в стебле.

*Листовая диагностика.* Суть ее заключается в том, что проводят валовой анализ химического состава листьев целого растения или отдельных органов, сравнивают его с имеющимися таблицами и определяют обеспеченность элементами минерального питания с учетом состояния, роста и развития растений в конкретную фазу.

Растительные образцы отбирают с типичных для данного поля участков (характерный почвенный покров, состояние растений) в определенные для каждой культуры фазы для того, чтобы получить результаты, сопоставимые с уже имеющимися показателями (табл. 31).

**31. Оптимальное валовое содержание азота, фосфора и калия в растениях, % на абсолютно сухую массу**

| Культура        | Фаза развития   | Часть растения | N       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|-----------------|-----------------|----------------|---------|-------------------------------|------------------|
| Озимая пшеница  | Кушение         | Надземная      | 4,0—5,9 | 0,44—0,65                     | 3,3—4,2          |
|                 |                 | Листья         | 4,0—5,9 | 0,44—0,65                     | 3,3—4,2          |
| Ячмень          | Трубкавание     | Надземная      | 3,8—5,0 | 0,52                          | 2,5—3,3          |
|                 |                 | Листья         | 4,7—5,0 | 0,52—0,78                     | 4,2              |
|                 | Кушение         | Надземная      | 4,7—5,0 | 0,52—0,78                     | 4,2              |
|                 |                 | »              | 4,7     | 0,52                          | 4,0              |
| Клевер          | Трубкавание     | Надземная      | 3,5—4,0 | 0,26—0,39                     | 2,9              |
|                 | Цветение        | »              | 2,5—3,5 | 0,17—0,26                     | 2,2              |
|                 |                 | Листья         | 3,8     | 0,22                          | 2,9              |
| Кукуруза        | Всходы          | Надземная      | 4,3     | 0,52                          | 5,2              |
|                 | 3—5 листьев     | »              | 3,0—3,6 | 0,30—0,65                     | 2,8—3,3          |
|                 |                 | Листья         | 3,8—4,0 | 0,35—0,57                     | 3,2—4,2          |
|                 | 6—10 листьев    | »              | 3,5—4,0 | 0,30—0,52                     | 3,5—4,2          |
| Сахарная свекла | 4—6 листьев     | Листья         | 5,2—5,5 | 0,44—0,52                     | 4,1—6,0          |
|                 | 10—18 листьев   | »              | 3,7     | 0,35                          | —                |
|                 | Смыкание рядков | Средние листья | 3,6—4,0 | 0,33—0,40                     | 4,0              |
| Картофель       | До бутонизации  | Надземная      | 5,2—6,0 | 0,39—0,61                     | 4,2              |
|                 |                 | Листья         | 4,5—5,0 | 0,26—0,57                     | 4,2              |

Наиболее эффективен ранний диагностический контроль. Для правильной оценки нуждаемости растений в питательных элементах необходимо строго учитывать специфику потребности различных сельскохозяйственных культур по периодам вегетации.

При работе с проростками, рассадой и молодыми растениями проводят анализ всей надземной части. У взрослых растений для

определения нитратов берут нижнюю часть стебля или черешки нижних листьев. При определении суммарного выноса питательных веществ анализируют все органы растений. С целью диагностики можно выполнять анализ и индикаторных органов, подверженных наибольшему изменению химического состава в зависимости от условий питания. В полевых опытах с зерновыми культурами смешанный образец для валового анализа составляют из 50—70 индикаторных листьев.

Для выявления недостаточности того или иного элемента, способного к реутилизации, обычно берут верхний, полностью сформировавшийся лист, а для элементов, обладающих незначительной способностью к реутилизации, анализируют нижние листья. Параллельно проводят анализы корней и устанавливают соотношение содержания элементов минерального питания в листьях и корнях, после чего делают окончательное заключение.

Для проведения диагностики методом экспресс-анализа по Церлинг смешанный образец составляют из 10—20 целых растений в период кущения и трубкования и из 20 — в фазы колошения и цветения. Для биометрического контроля за ростом и развитием растений, который осуществляют параллельно с химическими анализами, с каждой опытной делянки отбирают по 20 растений с корнями, для валового анализа в производственных посевах — по 70—100 с каждого ключевого участка, для биометрического контроля — по 25—30. Отбор проводят в утренние часы, проходя по диагоналям исследуемого участка (2—3 дня, предшествующие взятию проб, должны быть без дождя и без полива).

Доставленные в лабораторию пробы растений или листьев вытирают марлей или ватой, взвешивают и определяют содержание неорганических форм. Образцы можно зафиксировать при 105 °С в термостате, высушить, затем проанализировать общепринятыми методами. Результаты анализов приводят только в расчете на элемент. В корневой системе и листьях растений за время от взятия образца до анализа может происходить восстановление нитратов. Это следует учитывать при их определении экспресс-методами.

Для проведения химических анализов растений применяют общепринятые методики.

Допустимые содержания нитратов в продуктах растениеводства составляют (мг/кг сырой массы по нитрат-иону): картофель — 80, капуста — 300, томат — 60, огурец — 150, морковь — 300, дыня — 45, арбуз — 45, свекла столовая — 1400, лук репчатый — 60, лук-перо — 400. Особенно тщательно следует проводить контроль содержания нитратов в ранние фазы развития растений, а также в листовых и зеленых культурах. К концу вегетационного периода количество нитратов заметно снижается. Концентрация их значительно выше в черешках и центральных жилках листьев растений, которые следует брать для анализа. В репродуктивных органах и меристематических тканях содержание нитратов минимальное.

Данные о содержании в растениях неорганических форм элементов питания, полученные экспресс-методами тканевой диагностики, оценивают методом сравнения окрашенных пятен со шкалой. Пересчет баллов в мг/кг сырого вещества осуществляют по справочным таблицам. Результаты определения содержания неорганических форм и общего количества химических элементов сопоставляют с уровнями-градациями их содержания. Заключение об обеспеченности растений элементами питания делают на основе определения относительного содержания элементов минерального питания, а также общего их накопления листьями или всем растением путем сравнения со справочными уровнями. Полученные цифры сопоставляют с результатами почвенных анализов и аналитическими данными урожая.

Для определения количества выноса элемента минерального питания умножают его концентрацию на сухую массу растений; эту величину выражают в кг/га путем пересчета на количество растений на 1 га. Также рассчитывают соотношение между минеральными элементами с целью установления степени сбалансированности питания по различным химическим элементам. Полученные соотношения сопоставляют со значениями, характеризующими высокий урожай той или иной культуры.

Принятую в производстве дозу удобрений на планируемый урожай уточняют согласно данным растительной диагностики:

$$D = H \frac{C_{\text{опт}}}{C_{\text{факт}}},$$

где  $D$  — уточненная доза удобрений, кг/га питательных веществ;  $H$  — средняя доза, применяемая в хозяйстве;  $C_{\text{опт}}$  — оптимальное содержание питательного вещества в растениях, % сухого вещества;  $C_{\text{факт}}$  — фактическое содержание питательного вещества в растениях, % сухого вещества;  $\frac{C_{\text{опт}}}{C_{\text{факт}}}$  — степень потребности растений в данном элементе.

В случае несбалансированности соотношения между элементами в растении доза одного из них может быть уточнена относительно содержания другого элемента.

Например, при недостатке азота и избытке фосфора уточненная доза азота ( $D_N$ ) составит:

$$D_N = \frac{N_{\text{опт}} P_{\text{факт}}}{N_{\text{факт}} P_{\text{опт}}}.$$

Дозу фосфора ( $D_P$ ) по отношению к калию можно уточнить по формуле

$$D_P = \frac{P_{\text{опт}} K_{\text{факт}}}{P_{\text{факт}} K_{\text{опт}}}.$$

В последние годы все больший интерес вызывает разработанная в США интегрированная система диагноза и рекомендаций (DRIS), в основу которой положен *вероятностный подход*, основанный на том, что сбалансированность элементов в растении реализуется закономерным характером их соотношений в тканях и органах. При этом допускается, что соотношение количеств элементов питания имеет большую диагностическую информативность, лучше отражает обеспеченность растений элементами с учетом их взаимосвязей.

В нашей стране первые опыты с использованием интегрированной диагностической системы, получившей название ИСОД (интегрированная система оперативной диагностики), были проведены в Почвенном институте им. В. В. Докучаева.

ИСОД — это комплекс методов, используемых для диагностики потребности в удобрениях, прогнозирования продуктивности растений и разработки моделей высокоплодородных почв. Степень влияния каждого фактора на показатели продуктивности по этой системе выражают в единицах — индексах. Базовая основа расчета индекса — оптимальный уровень исследуемого фактора.

Постановка диагноза сводится к следующему: фактические соотношения количеств элементов питания ( $N:P$ ,  $N:K$ ,  $K:P$ ,  $N:Ca$ ,  $N:Mg$  и т. д.) в листьях сравнивают с нормативами, которые принимают постоянными для разных типов почв. Сравнения проводят по специально разработанным формулам сбалансированности элементов. Индекс показывает степень отклонения исследуемого фактора от зоны оптимума. Величина и знак индексов указывают на степень дефицитности элемента.

Например, по нормативам  $N/P$ ,  $N/K$ ,  $K/P$ , полученным в Московской области (Ельников и др., 1986), был сделан следующий анализ. Кукурузу выращивали на черноземе выщелоченном в разные по погодным условиям годы. Для анализа отбирали все листья кукурузы в фазе цветения. Согласно индексам (в 1963 г. благоприятный режим влажности) в варианте без удобрений почва была недостаточно обеспечена азотом (индекс  $-13,6$ ), избыточно — калием (индекс  $+11,2$ ) и близко к оптимальной — фосфором (индекс  $+2,4$ ). По-видимому, это стало причиной сильного дисбаланса элементов — сумма индексов без учета знака, т. е. сумма отклонений выше и ниже зоны оптимума, составила  $(13,6 + 2,4 + 11,2) 27,2$ . Внесение  $N_{60}$  уменьшило азотный дефицит, одновременно с этим увеличился дефицит по фосфору (индекс  $-5,8$ ), но общий дисбаланс остался высоким (сумма индексов  $-18,6$ ). Внесение  $P_{60}$  повысило обеспеченность растений фосфором, но обострило азотный дефицит. Одностороннее внесение калия сбалансировало дефицит элементов по  $N$  и  $P$ , но сильный общий дисбаланс элементов сохранился (табл. 32).



## 32. Дозы удобрений и дефицит N, P, K в листьях кукурузы (по индексам ДРИС)

| Вариант опыта                                      | Содержание в листьях |      |      | Индексы ДРИС |       |       | Урожай-<br>ность зер-<br>на, т/га |
|--|----------------------|------|------|--------------|-------|-------|-----------------------------------|
|  | N                    | P    | K    | N            | P     | K     |                                   |
| Опыт 1963 г.                                       |                      |      |      |              |       |       |                                   |
| Контроль (без<br>удобрений)                        | 2,53                 | 0,29 | 2,50 | -13,6        | +2,4  | +11,2 | 3,40                              |
| N <sub>60</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>      | 2,78                 | 0,28 | 2,49 | -3,5         | -5,8  | +9,3  | 3,41                              |
| N <sub>0</sub> P <sub>60</sub> K <sub>0</sub>      | 2,68                 | 0,33 | 2,50 | -16,0        | +11,3 | +4,7  | 3,88                              |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>0</sub>     | 2,80                 | 0,31 | 2,45 | -7,9         | +3,6  | +4,3  | 4,53                              |
| N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>60</sub>      | 2,71                 | 0,28 | 2,66 | -8,0         | -17,2 | +15,2 | 3,68                              |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>30</sub>    | 2,82                 | 0,31 | 2,51 | -8,1         | +2,4  | +5,7  | 4,56                              |
| N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>30</sub>    | 3,00                 | 0,30 | 2,40 | 0            | -2,2  | +2,2  | 4,77                              |
| N <sub>120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>30</sub>   | 3,22                 | 0,29 | 2,32 | +8,3         | -7,7  | -0,6  | 5,00                              |
| N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>30</sub>    | 2,85                 | 0,31 | 2,40 | -5,7         | +3,4  | +2,3  | 4,64                              |
| N <sub>60</sub> P <sub>120</sub> K <sub>30</sub>   | 2,80                 | 0,31 | 2,41 | -7,4         | +4,2  | +3,2  | 4,94                              |
| N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> | 3,05                 | 0,33 | 2,50 | -4,8         | +3,8  | +1,0  | 5,42                              |

*Опыт 1964 г.*

|  |      |      |      |       |       |       |      |
|--|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| Контроль (без удобрений)                           | 2,60 | 0,30 | 2,74 | -16,0 | +0,5  | +15,5 | 2,71 |
| N <sub>60</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>      | 2,70 | 0,28 | 2,74 | -9,1  | -8,3  | +17,4 | 2,72 |
| N <sub>0</sub> P <sub>60</sub> K <sub>0</sub>      | 2,78 | 0,38 | 2,82 | -25,7 | +18,8 | +6,9  | 2,98 |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>0</sub>     | 2,87 | 0,29 | 3,15 | -10,4 | -14,4 | +24,8 | 2,93 |
| N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>60</sub>      | 2,91 | 0,28 | 3,07 | -6,4  | -17,3 | +23,7 | 3,39 |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>30</sub>    | 2,90 | 0,36 | 3,15 | -21,5 | -6,5  | +15,0 | 3,48 |
| N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>30</sub>    | 3,12 | 0,36 | 2,82 | -11,0 | +6,2  | +4,8  | 3,67 |
| N <sub>120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>30</sub>   | 3,48 | 0,33 | 2,57 | +4,8  | -4,0  | -0,8  | 3,79 |
| N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>30</sub>    | 2,86 | 0,39 | 2,90 | -25,5 | +18,5 | +7,8  | 3,83 |
| N <sub>60</sub> P <sub>120</sub> K <sub>30</sub>   | 2,89 | 0,40 | 2,99 | -27,2 | +19,4 | +7,8  | 3,99 |
| N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> | 3,11 | 0,37 | 2,83 | -7,7  | +5,3  | +2,4  | 4,17 |

*Примечание.* Индексы рассчитаны по нормативам: N/P = 10,0, N/K = 1,26, K/P = 7,50 с коэффициентами вариации соответственно 10, 19, 15.

В засушливом году устранение избыточности калия или уменьшение его содержания до минимума при отсутствии дефицита или небольшом дефиците азота (варианты N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>K<sub>30</sub> и N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>) способствовало получению наивысшего урожая кукурузы. Это полностью соответствует характеристике плодородия почв по вариантам без удобрения. Почти во всех остальных вариантах отмечается более высокий дефицит по азоту, что согласуется с общеизвестным положением о снижении эффективности азотных удобрений в неблагоприятные по увлажнению годы. По процентному содержанию питательных элементов трудно уловить эти закономерности и практически невозможно определить порядок дефицитности элемента. В опытах урожай кукурузы в основном определялся уровнем сбалансированности элементов питания, что особенно четко проявилось в условиях относительно благоприятного увлажнения.

Таким образом, с помощью разработанных нормативов можно

подсчитать индексы обеспеченности питательными элементами в соответствии с фактическим действием удобрений и точно установить лучшие варианты для развития культуры, что подтверждает перспективность их применения для прогнозирования потребности в удобрениях.

**Функциональная диагностика.** Поглощение различных элементов питания не всегда следствие их необходимости растению. Это основной факт, ограничивающий возможность применения химических методов диагностики по общему химическому составу и содержанию неорганических форм различных элементов. Кроме того, недостаток или избыток одних элементов может нарушить усвоение растениями других элементов питания. Например, дефицит фосфора приводит к накоплению нитратного азота, а бора — к его недостатку. Данные явления не связаны с азотным питанием. Поэтому необходимо дальнейшее совершенствование методов диагностики с обязательным учетом природы взаимодействия элементов питания между собой на всех этапах поступления в растения и участия в метаболизме.

Более полное изучение разнообразных функций элементов питания, их подвижности, форм участия в реакциях метаболизма, локализации в тех или иных органах позволит тщательнее учитывать взаимное влияние элементов при поступлении их в растение. Весьма перспективно объединение исследований по диагностике с изучением теоретических вопросов минерального питания.

До настоящего времени большинство исследователей в своих работах опираются на изучение лишь химического состава, в лучшем случае — соотношения элементов в растении или питательной среде.

В качестве примера рассмотрим рисунок 18.

При изменении любого внешнего фактора, и в частности концентрации какого-либо элемента питания, отмечено наличие одного максимума урожая и двух минимумов. Содержание в растении элементов питания (кроме изучаемого) при постепенном повышении в питательной среде концентрации испытуемого элемента подвержено более сложным изменениям. Соединив произвольно точки равных концентраций элементов в растении (AB), мы получим 4 точки, каждая из которых соответствует совершенно различным состояниям растений и несет разную, часто противоположную информацию о целесо-

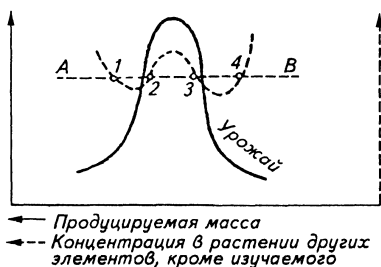


Рис. 18. Зависимость продуцируемой массы от концентрации изучаемого элемента и концентрации в растениях других элементов (Ринькис и др., 1979)

образности применения данных элементов в подкормку. Представляется очевидным, что при несомненной важности изучения химического состава растений дальнейшее использование только данного параметра для диагностики питания недостаточно.

В настоящее время назрела необходимость в разработке функциональных методов диагностики, позволяющих оценить не содержание того или иного элемента, а потребность растения в нем. Обеспеченность элементами питания можно установить, контролируя интенсивность физиолого-биохимических процессов. Например, уровень обеспеченности растений азотом и потребность в нем определяют по способности тканей к восстановлению нитратов в нитриты, т. е. по активности фермента нитратредуктазы (Муравин, Слипчик, Плешков, 1978).

А. С. Плешков и Б. А. Ягодин (1982) разработали метод диагностики питания растений по определению фотохимической активности хлоропластов. Метод основан на измерении фотохимической активности суспензии хлоропластов средней пробы листьев диагностируемых растений, а затем проводят тот же анализ с добавлением элемента питания. При повышении фотохимической активности суспензии хлоропластов по сравнению с контролем (без добавления элементов) делается заключение о недостатке элемента, при снижении — об избытке, при одинаковой активности — об оптимальной концентрации в питательной среде.

Метод позволяет в течение 40—50 мин определить потребность растений в 12—15 макро- и микроэлементах питания и дать рекомендации по проведению корневых и некорневых подкормок растений, выращиваемых как на грунтах, так и на гидропонике. Этот метод используют более чем в 80 тепличных хозяйствах, в том числе в Московской области («Белая дача»), Ивановской («Тепличный»). Применение метода в производстве показало его высокую эффективность.

Таким образом, функциональная диагностика позволяет достаточно оперативно оценить взаимодействие всех элементов и дать рекомендации по изменению технологии выращивания растений, что особенно необходимо для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур заданного качества.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Каковы интервалы содержания воды и сухого вещества в различных группах растений (зерновые, зернобобовые, масличные, овощные, технические)?
2. Из чего состоит сухое вещество различных культур?
3. Каковы основные функции воды?
4. Назовите интервалы содержания белков, углеводов, жиров, золы в различных группах сельскохозяйственных культур — зерновых, зернобобовых, масличных, овощных, технических.
5. Охарактеризуйте состав растительных белков и содержание их в растениях. Что такое сырой протеин?
6. Перечислите основные углеводы, входящие в состав растений, их функции и содержание.
7. Что представляют собой растительные масла? Охарактеризуйте их химический состав и содержание жира в основных масличных культурах.
8. Каков элементный состав сухого вещества?
9. Что такое органические и зольные элементы?
10. Что такое мак-

ро- и микроэлементы? Перечислите элементы минерального питания и их содержание в растениях. 11. Назовите основное различие в содержании зольных элементов в семенах и соломе злаковых, бобовых, масличных культур, в товарной части урожая и ботве клубнеплодов. 12. Каково отношение растений к условиям питания азотом, фосфором и калием в разные периоды роста? 13. Что такое необходимые и условно необходимые элементы? Приведите примеры. Что является критерием (или критериями) необходимости элемента для растения? 14. Что такое реутилизация отдельных элементов питания растения и каково ее значение? 15. Объясните понятие выноса элементов питания растениями. Что такое биологический и хозяйственный вынос, вынос товарной и нетоварной частью урожая? 16. Назовите размеры выноса NPK группами сельскохозяйственных культур на 1 т (10 т для корнеклубнеплодов) основной продукции с учетом побочной. 17. Приведите пример расчета выноса NPK (кг/га) с запланированным урожаем. 18. Каково соотношение элементов питания в выносе зерновых, зернобобовых, масличных, технических и других культур? 19. В чем заключается воздушное питание растений? 20. Расскажите об основных типах питания растений и их значении. 21. Назовите основные теории поступления питательных веществ в растения, существовавшие ранее. 22. Какова роль корня в поглощении элементов питания? 23. Какова связь между строением корневой системы и поглощением питательных веществ из почвы? 24. Какая роль принадлежит корневым волоскам в корневом питании растений? 25. Что такое корневое питание растений? 26. Что такое активное и пассивное поглощение? 27. Почему пассивное поглощение не может иметь существенного значения в питании растений? 28. Перечислите основные этапы процесса активного поглощения ионов корневой системой растения. 29. Назовите основные положения современной теории питания растений. 30. Какова связь поглощения и транспорта питательных веществ с процессами фотосинтеза, дыхания и обмена веществ у растений? 31. Что представляет собой избирательное поглощение элементов питания растениями? 32. Чем обусловлена физиологическая реакция солей? Приведите примеры физиологически кислых и физиологически щелочных солей. 33. Что такое антагонизм и синергизм ионов? Объясните, что такое уравновешенный питательный раствор. 34. В каких формах поступают в растения азот, фосфор, калий, кальций, магний и другие элементы питания? 35. Объясните влияние различных условий внешней среды на поглощение питательных веществ корнями: температура, концентрация питательного раствора, соотношение элементов питания, влажность почвы, аэрация, свет. 36. Что такое pH раствора и как он влияет на процессы поступления анионов и катионов? 37. Перечислите методы диагностики питания растений. 38. Какие химические анализы используют в почвенной диагностике? 39. Какие элементы питания растений определяют экспресс-методами? 40. Изложите принципы отбора проб для листовой диагностики. 41. Что входит в понятие визуальной диагностики? 42. Назовите внешние признаки недостатка отдельных элементов питания у растений.

## Г л а в а 3

### СВОЙСТВА ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ



Физические, химические и биологические свойства почвы, обусловленные ее составом, общими и усвояемыми для растений формами питательных веществ и неодинаковой интенсивностью и направленностью процессов перехода одних форм в другие, определяют условия питания растений, потребность в удобрениях и, следовательно, рост, развитие, урожайность возделываемых культур и качество получаемой продукции.

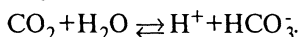
Растения потребляют усвояемые формы питательных веществ из почвы и внесенных удобрений, потребность в которых существенно изменяется в зависимости от обеспеченности ими почвы. На разных почвах обеспеченность общими и усвояемыми формами питательных веществ неодинакова, поэтому отзывчивость растений на удобрения и, следовательно, эффективность видов, доз, сроков и способов внесения удобрений зависят не только от биологических особенностей потребления культурами различных питательных веществ, но и от состава и свойств конкретной почвы, на которой возделывается конкретный вид или сорт сельскохозяйственной культуры.

Удобрения, попав в почву, взаимодействуют с ней: обогащают питательными элементами, влияют на реакцию среды, интенсивность и направленность химических, физических, физико-химических и биологических процессов. Одновременно они подвергаются под влиянием состава и свойств почвы превращениям по растворимости и формам, следовательно, по доступности для растений содержащихся в них и почве питательных элементов. Поэтому знание состава и свойств почв позволяет определить с учетом возможных превращений виды, дозы, формы, сроки, способы и комбинации удобрений в соответствии с требованиями в питательных элементах любой культуры в конкретных почвенно-климатических условиях.

#### 3.1. СОСТАВ ПОЧВЫ

Почва — сложная саморегулирующаяся поликомпонентная биокосная единая система, содержащая тесно взаимодействующие между собой твердую, жидкую и газовую фазы.

*Газовая фаза — почвенный воздух* — результат взаимодействия атмосферного воздуха и образующихся в почве газов. Состав его отличается от атмосферного повышенным (на 0,3—1 %, иногда на 2—3 % и более) содержанием диоксида углерода и несколько меньшим — кислорода. Он весьма динамичен в зависимости от интенсивности обмена с атмосферным воздухом, богатства почвы органическими веществами, колебаний погодных условий (давление, температура, влажность) и характера растительности. Объем почвенного воздуха находится в динамическом антагонистическом равновесии с жидкой фазой (больше воды — меньше воздуха и наоборот). В почве происходит постоянное потребление кислорода и выделение диоксида углерода в результате разложения органических веществ ее, дыхания корней растений, животных, насекомых, простейших и микроорганизмов, а также некоторых химических реакций. В результате газообмена надпочвенный воздух обогащается диоксидом углерода, что улучшает условия фотосинтеза и повышает продуктивность растений. Взаимодействие  $\text{CO}_2$  с жидкой фазой приводит к образованию угольной кислоты, которая диссоциирует на ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{HCO}_3^-$  подкисляет жидкую фазу:



Повышение концентрации  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе усиливает растворимость этого газа в воде, что еще более подкисляет жидкую фазу и способствует переходу в усвояемую для растений форму некоторых веществ твердой фазы (фосфаты, карбонаты, сульфаты кальция и др.). Вместе с тем чрезмерная концентрация  $\text{CO}_2$  и недостаток  $\text{O}_2$  в почвенном воздухе и жидкой фазе, наблюдающиеся при переувлажнении и переуплотнении почв, ингибируют рост и развитие микроорганизмов и растений, тормозят дыхание, рост корней растений и усвоение ими питательных элементов, усиливают восстановительные процессы в жидкой и твердой фазах почвы.

Регулирование водно-воздушного режима конкретных почв соответствующими обработками в сочетании с рациональным применением удобрений и мелиорантов улучшает корневое и воздушное питание растений, повышает их продуктивность и качество получаемой продукции, способствует развитию почвенных микроорганизмов, насекомых и животных.

*Жидкая фаза — почвенный раствор* — образуется из воды, поступающей с осадками, из грунтовых и паводковых вод, при конденсации водяных паров и растворимых в почвенном растворе веществ твердой и газообразной фаз. Это наиболее активная фаза почвы, из которой растения непосредственно усваивают питательные элементы и одновременно через почвенный раствор происходит взаимодействие растений с удобрениями, мелиорантами, твердой и газообразной фазами почвы, а также перенос различных частиц и соединений всех этих компонентов в виде суспензий, взвесей, коллоидных и истинных растворов.

Почвенный раствор в зависимости от состава и свойств конкретной почвы содержит катионы ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  и др.), анионы ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и др.), водорастворимые органические соединения и растворимые  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_3$  и др. Поступление ионов в почвенный раствор происходит из твердой и газовой фаз почвы, вносимых удобрений и мелиорантов, выделений флоры и фауны, атмосферных осадков и грунтовых вод, а извлечение — потреблением растениями и биотой, переходом в твердую и газовую фазы и в результате водной эрозии. Иными словами, состав, концентрация, реакция, буферность и осмотическое давление почвенного раствора динамичны и зависят от почвенно-климатических условий и антропогенного воздействия.

Концентрация солей в почвенном растворе колеблется от тысячных до сотых долей процента (10—200 мг/л) в малоплодородных почвах до одного и более процента ( $\geq 10\,000$  мг/л) в очень сильнозасоленных (солончаки), а в среднеплодородных почвах составляет около 500 мг/л. Избыток солей в растворе (более 2000 мг/л) обычно вредно действует на многие сельскохозяйственные культуры, особенно в течение двух—четырех недель с момента прорастания семян. Однако с возрастом растений их устойчивость к высоким концентрациям возрастает.

*Твердая фаза почвы* состоит из минеральной (90—99,5 %) и органической (10—0,5 %) частей, представленных полидисперсными частицами и агрегатами. *Минеральная часть* — обломки и частицы первичных пород и минералов, вторичные (вновь образованные) минералы, оксиды, соли и другие соединения, образовавшиеся в процессе выветривания и почвообразования. *Органическая часть* — разной степени разложения, остатки растительных и животных организмов почвы и продукты их разложения и неосинтеза, среди которых всегда преобладает собственно гумус.

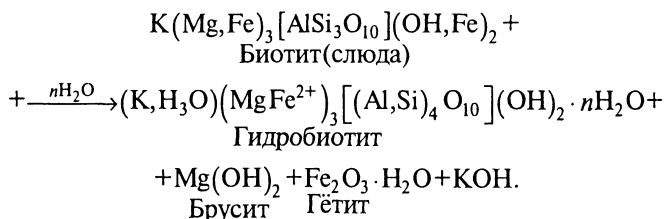
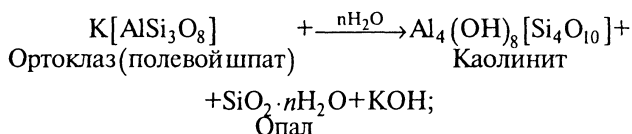
Средний элементный состав твердой фазы почвы (% массы) по А. П. Виноградову характеризуется следующими данными:

|          |      |          |                   |          |                    |
|----------|------|----------|-------------------|----------|--------------------|
| 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      | $5 \cdot 10^{-4}$  |
| Калий    | 1,3  | Ванадий  | 0,01              | Цезий    | $5 \cdot 10^{-4}$  |
| Натрий   | 0,6  | Рубидий  | $6 \cdot 10^{-3}$ | Молибден | $3 \cdot 10^{-4}$  |
| Магний   | 0,6  | Цинк     | $5 \cdot 10^{-3}$ | Уран     | $1 \cdot 10^{-4}$  |
| Водород  | 0,5  | Церий    | $5 \cdot 10^{-3}$ | Бериллий | $10^{-4}$          |
| Титан    | 0,46 | Никель   | $4 \cdot 10^{-3}$ | Германий | $10^{-4}$          |
| Азот     | 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    | $10^{-6}$          |
| Марганец | 0,08 | Свинец   | $1 \cdot 10^{-3}$ | Радий    | $8 \cdot 10^{-11}$ |

Кислород, кремний, алюминий и железо составляют почти 93 % твердой фазы, углерод, калий и кальций — еще 4,6 % и лишь 2,5 % приходится на все оставшиеся элементы, которые в подавляющем большинстве содержатся в минеральной части. Только некоторые элементы (углерод, кислород, водород, фосфор и сера) содержатся в минеральной и органической частях, а азот — почти целиком в органической части.

### 3.1.1. МИНЕРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПОЧВЫ

Она представлена различными по размерам частицами пород, первичных и вторичных минералов, аморфных соединений и солей. Гранулометрический состав почвы зависит от минералогического состава, влияет на химический и определяет многие физические, физико-химические и химические ее свойства. В песчаных и супесчаных почвах преобладают первичные минералы, суглинистые состоят из смеси первичных и вторичных минералов, а глинистые — преимущественно из вторичных минералов с примесью кварца. Разделение минералов на первичные (более 0,001 мм) и вторичные (менее 0,001 мм) довольно условное, так как последние являются продуктами физико-химического выветривания первых и образования при этом гидратов полуторных оксидов кремнезема и других соединений. В процессе выветривания гидролиз, например, полевого шпата и слюды, приводит к замещению катионов в кристаллических решетках минералов на ионы водорода:



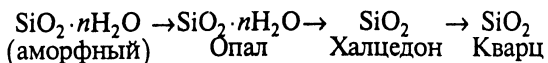
Физико-химическое выветривание нельзя отделить от биологического преобразования пород, минералов и других соединений под воздействием живых организмов почвы и продуктов их жизнедеятельности (кислоты, ферменты и т. п.).

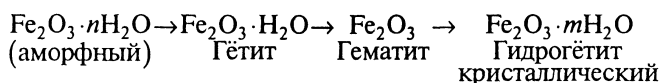


По химическому строению минералы подразделяют на силикаты и алюмосиликаты. Среди силикатов во всех почвах во фракциях песка и пыли преобладает (более 60 %) кварц —  $\text{SiO}_2$ , обладающий крайне низкой поглотительной способностью и высокой водопроницаемостью. *Алюмосиликаты* представлены в почвах первичными (преимущественно полевые шпаты и слюды) во фракциях пыли и песка (более 0,001 мм) и вторичными (группы каолинита, монтмориллонита и гидрослюд) во фракциях ила и коллоидов (менее 0,001 мм) минералами. Полевые шпаты и слюды при трансформации во вторичные минералы служат источниками калия, кальция, магния, железа и других элементов питания растений.

Кристаллические вторичные минералы представлены листовыми двух-(каолиниты) и трех-(монтмориллониты) слойными решетками, состоящими из слоев кремнекислородных тетраэдров, образующих гексагоны, соединенные с алюмогидроксильными октаэдрическими слоями. Среди двухслойных минералов каолинитовой группы наиболее распространены каолинит —  $\text{Al}_4(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$  и галлуазит —  $\text{Al}_4(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ . Дисперсность их невысока, емкость поглощения не выше 25 мг-экв/100 г почвы (фракция < 0,001 мм), липкость небольшая, водопроницаемость хорошая. Среди трехслойных вторичных минералов распространены монтмориллонит, нонтронит, бейзеллит, сапонит, соконит. Монтмориллонит —  $\text{Mg}_3(\text{OH})_4[\text{Si}_4\text{O}_8(\text{OH})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$  — обладает высокой дисперсностью: 40—50 % коллоидных (< 0,0001 мм) и 60—80 % илистых (< 0,001 мм) частиц. Он преобладает в черноземах. Благодаря высокой дисперсности емкость поглощения этого минерала достигает 120 мг-экв/100 г, при увлажнении он набухает. При этом в межплоскостное пространство могут проникать обменные катионы ( $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и др.), которые при дегидратации (подсушивании) почвы фиксируются и становятся недоступными для растений до следующего увлажнения. Гидрослюды гидромусковит (иллит)  $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})\text{Al}_2(\text{OH})_2[\text{Al}, \text{Si}]_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и гидробитит присутствуют практически во всех почвах в илистой и коллоидной фракциях. Они содержат до 5—7 % калия. Благодаря высокой дисперсности обладают большой поверхностью и поглотительной способностью.

Аморфные вещества минеральной части почвы представлены гидроксидами кремния  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , которые в коллоидной фракции в зависимости от реакции среды могут вести себя как кислоты или основания, обуславливая обменную поглотительную способность катионов и анионов. В изоэлектрических точках гидроксиды кремния, железа и алюминия выпадают в аморфные осадки, которые по мере старения кристаллизуются, образуя новые минералы:





Чем больше окристаллизованность соединений кремния, железа и алюминия, тем меньше их растворимость.

В почве содержатся и непосредственные источники питания растений — минеральные соли: карбонаты, сульфаты, нитраты, хлориды, фосфаты кальция, магния, калия, натрия, железа, алюминия, марганца. Все нитраты и хлориды, а также фосфаты, сульфаты и углекислые соли калия и натрия хорошо растворимы в воде, но их в почвах (за исключением засоленных) мало. Малорастворимые соли (карбонаты кальция, магния и сульфат кальция) встречаются в некоторых почвах в составе твердой фазы в значительных количествах, а нерастворимые в воде фосфаты кальция, магния, железа и алюминия — во всех почвах.

В связи с различным минералогическим составом гранулометрические фракции почв значительно различаются по содержанию питательных элементов (табл. 33).

**33. Примерный химический состав гранулометрических фракций почв**

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

С увеличением дисперсности снижается только содержание кремния и возрастает содержание всех других элементов, в том числе азота, который в составе гумуса также сосредоточен в наиболее дисперсной фракции. Следовательно, коллоидная и илистая фракции почв — основной источник питательных элементов для растений и одновременно наиболее активная часть почвы в формировании емкости катионо-анионного и молекулярного обмена, структурообразовании и буферности ее при взаимодействии с растениями, биотой, удобрениями и мелиорантами.

### 3.1.2. ОРГАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПОЧВЫ

Органическая часть почвы — это комплекс разнообразных органических соединений, разделенных на две группы: 1) собственно гумус, устойчивые к разложению консервативные вещества — свободные и связанные фульвокислоты, гуминовые кислоты и гумин, и 2) негумифицированные, лабильные органические

вещества (ЛОВ) — неразложившиеся остатки растений, животных (насекомых, червей и др.), микроорганизмов и промежуточные продукты их разложения (клетчатка, крахмал, белки, пептиды, органические и аминокислоты, жиры, смолы, альдегиды, полиуроновые кислоты, полифенолы, дубильные вещества, лигнин, хитин и др.).

**Гумусовые вещества (гумус).** Составляют 80—90 % общего содержания органического вещества почв. С их содержанием, составом и свойствами связаны температурно-воздушный режим, водно-физические свойства, поглощательная способность, буферность почв, общие и подвижные запасы питательных элементов почв и вносимых удобрений, а также превращения и передвижения всех элементов. Подвижные питательные элементы гумуса непосредственно участвуют в питании растений в меньшей степени, чем ЛОВ, так как разлагаются очень медленно, но создают для этого процесса очень благоприятную среду.

Гумус подразделяют на три группы веществ: гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумины.

**Гуминовые кислоты.** Содержат 52—58 % углерода, 34—39 кислорода, 3,3—4,8 водорода и 3,6—4,1 % азота; каждая молекула их имеет 4 карбоксильные (COOH), 3—6 фенольных (OH), первичные и вторичные спиртовые (OH), а также метоксильные (OSN<sub>3</sub>) и карбонильные (CO) группы. Наличие многих функциональных групп обуславливает активное участие гуминовых кислот в процессах обменного поглощения ионов и образование соединений с солями, аморфными веществами и минералами.

**Фульвокислоты.** Содержат меньше углерода и азота, но больше кислорода, чем гуминовые кислоты, имеют более простое строение, но такие же функциональные группы и, следовательно, могут взаимодействовать с такими же соединениями, а также с железом, алюминием и гуминовыми кислотами. Фульвокислоты более подвижны, азотистые соединения их молекул легче подвергаются гидролизу, чем гуминовых кислот.

**Гумин.** Представляет собой комплекс сложных эфиров гуминовых и фульвокислот, прочно связанных с глинистыми минералами и другими веществами минеральной части, что и обуславливает его высокую устойчивость к химическому и микробиологическому разложению. Гумины практически не могут быть непосредственными источниками питательных элементов для растений, но благодаря наличию многих функциональных групп удерживают в усвояемой для растений форме эти элементы, поступающие из почв и удобрений. Они влияют на емкость, буферность почв, передвижение и превращение питательных элементов.

Гумусовые вещества, обладая высокой устойчивостью к минерализации, в почвах длительного сельскохозяйственного использования без удобрений и при недостаточных количествах их все же постепенно разлагаются. За 30—50 лет подобной эксплуатации со-

держание гумуса в почвах может снизиться на 20—25 и даже на 50 % в зависимости от исходного уровня. В пахотном слое дерново-подзолистых почв ежегодно минерализуется в среднем 0,6—0,7, а в черноземах — до 1 т/га органического вещества. Особенно интенсивно гумус минерализуется в чистых парах (1—2 т/га), так как здесь нет возврата органического вещества в почву в виде остатков растений и может накапливаться 60—120 кг/га нитратного азота.

В почвах ежегодно протекают процессы не только распада гумуса, но и новообразований его за счет поступающих остатков растений, биоты, продуктов разложения их и «старого» гумуса. В зависимости от преобладания того или иного процесса (разложение—синтез) в почве меняется содержание органического вещества.

Подбор соответствующих видов и сортов возделываемых культур, квалифицированное применение органических и минеральных удобрений в сочетании с химическими мелиорантами и способами обработки почв обеспечивают существенное изменение продуктивности культур и, следовательно, количества и качества пожнивно-корневых остатков, других почвенных организмов, что и является практическим приемом регулирования содержания органического вещества в почвах.

Важнейшее качество гумуса — *коллоидность*. Коллоидные, поверхностно-активные вещества гумуса обладают катионо-анионными мицеллами и проявляют высокую активность даже при предельно малой толщине адсорбционных слоев. Поэтому, несмотря на небольшую долю гумуса в твердой фазе почвы (кроме торфяных почв), роль и значение его в питании растений, превращении удобрений и плодородии почв исключительно велики.

Содержание органического вещества в пахотном слое разных почв сильно колеблется — от очень низкого (менее 1,0 %) до очень высокого (более 10 %) и является одним из основных критериев плодородия и экологической устойчивости их как компонентов биосферы. Компоненты органического вещества в значительной мере определяют пищевой режим почвы как непосредственные источники питания населяющих ее организмов, так и косвенно действием различных групп органических веществ на физико-химические и биологические процессы в ней и водно-физические свойства. Обогащение почвы органическим веществом снижает потери питательных элементов удобрений из нее в результате миграционных процессов и, следовательно, загрязнение сопряженных сред. Циклические процессы синтеза и трансформации органических веществ в почве — основа биогеохимических круговоротов биофильных элементов, и одновременно они играют важнейшую роль в воспроизводстве плодородия почв.

**Негумифицированные вещества.** Составляют 10—20 % общего запаса органических веществ, но являются непосредственным ис-

точником питательных веществ для растений и биоты. Некоторые из них оказывают стимулирующее или ингибирующее действие на рост и развитие живых организмов и одновременно влияют на трансформацию питательных элементов почвы и удобрений из недоступных для растений форм в усвояемые и обратно.

Не вся масса ЛОВ полностью минерализуется — от 10 до 30 % их участвует в новообразовании собственно гумуса. Из общих количеств ЛОВ на долю растительных остатков в зависимости от вида и продуктивности культур приходится от 3—5 до 12—15 т/га, что составляет в дерново-подзолистых почвах до 10 %, а в черноземах 2—3 % общих запасов органического вещества. Масса микроорганизмов в слое почвы 0—20 см колеблется от 0,7 до 2,7 т/га (иногда до 5—7 т/га), что составляет 1—3 % общих запасов органического вещества в почвах. Недостаток ЛОВ в почвах проявляется в значительном ухудшении питательного режима всех живых организмов.

## 3.2. ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ

Способность почвы поглощать из окружающей среды ионы, молекулы, частицы, микроорганизмы, другие вещества и удерживать их называется *поглощательной способностью*.

### 3.2.1. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ

Она обусловлена наличием в почве живых организмов — растений, микроорганизмов, насекомых, червей и других, которые избирательно поглощают из почвенного раствора и воздуха питательные элементы, переводят их в различные соединения собственной массы, предотвращают потери их и обогащают почву органическим веществом.

Микроорганизмы, потребляя органические вещества в качестве пищи и энергетического материала, переводят питательные элементы в минеральную форму, но одновременно некоторое количество их потребляют сами. В этом смысле они конкурируют с растениями. Некоторая часть питательных элементов удобрений также потребляется микроорганизмами. Вместе с тем многие микроорганизмы (аммонификаторы, свободноживущие, ассоциативные и симбиотические азотфиксаторы, фосфо- и серобактерии и др.) существенно улучшают питание растений и влияют на трансформацию удобрений. Биологическое поглощение чрезвычайно важно в азотном питании растений и превращении азотных удобрений в почвах.

*Азотфиксаторы* переводят молекулярный азот атмосферы в усвояемые для растений формы, количество которого можно регу-

лизовать с помощью удобрений, мелиорантов, доли и вида бобовых в посевах и способами обработки почвы. *Нитрификаторы* окисляют аммиачный азот в нитратный, который, если не используется растениями и микроорганизмами, теряется из почвы в результате вымывания и (или) денитрификации, так как другими способами нитраты (и хлориды) почвой не поглощаются.

Интенсивность биологического поглощения зависит от температуры, водно-воздушного режима, реакции среды, количества и состава органического вещества в почвах. Ее можно регулировать умелым и комплексным сочетанием видов, доз и способов внесения удобрений и мелиорантов с подбором культур, сроками и способами обработки почв и другими агротехническими приемами.

### 3.2.2. МЕХАНИЧЕСКАЯ ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ

Она обусловлена пористостью почвы, способностью задерживать твердые частицы из воздуха и фильтрующихся вод. Это несорбционный процесс; емкость такого поглощения зависит главным образом от гранулометрического состава, структуры и сложения почвы. Благодаря такому поглощению в верхних горизонтах почв сохраняются наиболее ценные коллоидные и предколлоидные фракции, микроорганизмы, а также тонкоразмолотые нерастворимые в воде удобрения (фосфоритная мука, преципитат, фосфат-шлаки и др.) и мелиоранты (известняковая, доломитовая мука, гипс и др.).

### 3.2.3. ФИЗИЧЕСКАЯ ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ

Это способность почвы поглощать (положительная адсорбция) или отторгать (отрицательная) целые молекулы различных веществ поверхностью дисперсных, преимущественно коллоидных и предколлоидных частиц. Если молекулы вещества притягиваются частицами почвы сильнее, чем молекулы воды, то в пленке на поверхности частиц концентрация этого вещества повысится, а в окружающей среде снизится. Это положительное поглощение (адсорбция) типично в основном для молекул органических веществ (спирты, кислоты, основания, высокомолекулярные соединения), а из минеральных — только для щелочей. Минеральные кислоты и растворимые в воде соли физически поглощаются отрицательно, т. е. отторгаются почвой при ее увлажнении, а при избытке воды вымываются в нижележащие горизонты и грунтовые воды.

Физическое поглощение имеет большое значение для рационального применения удобрений, в составе которых содержатся растворимые нитраты и хлориды. Так как хлор в значительных количествах для многих культур токсичен, хлорсодержащие удобрения

ния следует вносить осенью, чтобы благодаря осенне-весенним осадкам произошло вымывание его из пахотного слоя к моменту посева чувствительных к нему культур. Для нитратных удобрений такое вымывание экономически и экологически вредно, поэтому их лучше вносить весной перед посевом или в подкормки. Физическая поглотительная способность почв имеет и экологическое значение: адсорбция молекул паров, газов и пестицидов уменьшает проникновение их в сопредельные среды, включая растения.

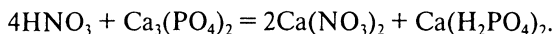
#### 3.2.4. ХИМИЧЕСКАЯ ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ

Это поглощение — хемосорбция — преимущественно анионов в результате образования труднорастворимых соединений при взаимодействии различных компонентов жидкой, твердой и газовой фаз почвы. Химическое поглощение почвой анионов зависит от их способности образовывать труднорастворимые и нерастворимые соединения с элементами почвы. Анионы угольной ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) и серной кислот ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) с катионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , которые преобладают в большинстве почв, образуют труднорастворимые соединения. Анионы фосфорной кислоты ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) с кальцием и магнием образуют двух-  $\text{CaHPO}_4$  и трехзамещенные  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , а с алюминием и железом — трехзамещенные труднорастворимые фосфаты ( $\text{FePO}_4$ ,  $\text{AlPO}_4$ ). Свежеосажденные трехзамещенные фосфаты железа, алюминия и кальция благодаря корневым выделениям растений могут усваиваться, но при старении осадков кристаллизуются и становятся менее растворимыми и доступными растениям. Двухзамещенный фосфат кальция ( $\text{CaHPO}_4$ ) растворяется в слабых кислотах и поэтому благодаря кислым корневым выделениям легко усваивается растениями. От прорастания семян до появления развитых корней растения могут потреблять только водорастворимые однозамещенные фосфаты. Однако именно они очень быстро химически связываются во всех почвах, причем не только растворимыми в воде, но и находящимися в поглощенном состоянии ионами кальция, магния, железа и алюминия.

Интенсивное химическое связывание анионов фосфорной кислоты почвами обуславливает необходимость внесения и заделки фосфорных удобрений на определенную глубину вблизи поглощающих участков корней растений, так как мигрировать они не могут. Для снижения химического поглощения почвами доступных растениям форм фосфора удобрений следует уменьшить суммарную поверхность контакта их с почвой путем гранулирования порошковидных форм, а также локализации порошковидных и гранулированных форм при допосевном внесении. Из-за уменьшения поверхности контакта с почвой гранулированный суперфос-

фат при любых способах внесения на всех почвах обеспечивает большую прибавку урожаев культур, чем порошковидный. Локальное внесение эффективнее, чем заделка при разбросном внесении. Фосфор навоза и компостов усваивается растениями лучше, чем из минеральных удобрений.

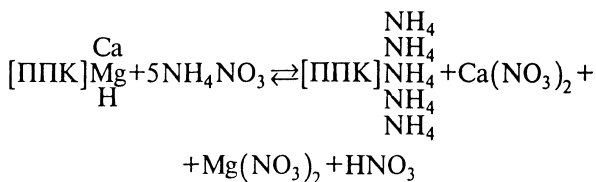
Наряду с химическим закреплением (ретроградацией) фосфатов в почвах наблюдается и противоположный процесс — мобилизация фосфора: перевод его из недоступных в доступные для растений формы. Это происходит при подкислении почв, которое может наблюдаться при повышении концентрации угольной, азотной и органических кислот, образующихся в результате жизнедеятельности и разложения растений и биоты. Например, образующаяся в процессе нитрификации азотная кислота может превращать трехзамещенный фосфат кальция в однозамещенный:



В почвах с гидролитической кислотностью более 2,5 мг-экв/100 г растения могут усваивать фосфор трехзамещенных фосфатов. Причем чем кислее почва, тем интенсивнее и не хуже, чем из однозамещенных фосфатов.

### 3.2.5. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ (ОБМЕННАЯ) ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ

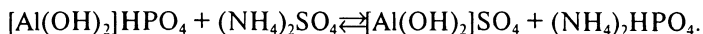
Это способность поглощать ионы почвенного раствора, преимущественно катионы, путем эквивалентного обмена на одноименно заряженные ионы диффузного слоя минеральных, органических и органо-минеральных коллоидов твердой фазы почвы, совокупность которых К. К. Гедройц назвал почвенным поглощающим комплексом (ППК). Реакция обмена удобрений с ППК почвы представляет собой следующую схему:



Преимущественное поглощение катионов обусловлено преобладанием в ППК почв отрицательно заряженных коллоидов (ацидоидов), в диффузном слое которых находятся в качестве противоионов катионы, способные к обмену с катионами жидкой фазы почвы. В ППК сильнокислых почв (болотные, подзолистые, красноземы, желтоземы), обогащенных гидроксидами железа и алю-



миния, наряду с ацидоидными имеются положительно заряженные коллоиды (базоиды), содержащие в качестве противоионов анионы, способные к вытеснению другими анионами почвенного раствора по следующей схеме:



Все обменно-поглощенные ионы в различных почвах могут усваиваться растущими растениями.

Обменное поглощение катионов определяет реакцию, буферность, структурное состояние и другие свойства почвы, что особенно важно для питания растений во взаимодействии удобрений с почвой и растениями. В нейтральных и близких к ним по реакции почвах взаимодействие преимущественно водорастворимых форм, а в кислых и щелочных почвах всех удобрений и химических мелиорантов обусловлено прежде всего обменом ионов (преимущественно катионов) между ППК и удобрениями, ППК и мелиорантами. Основную (преобладающую) часть питательных элементов растения потребляют из почвы и удобрений в виде ионов путем различных обменных реакций между растением, почвой, удобрениями и мелиорантами.

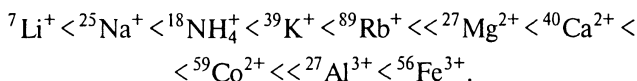
Физико-химическое поглощение ионов имеет ряд закономерностей.

Реакции обмена между поглощенными ППК и ионами почвенного раствора обратимы и протекают в эквивалентных количествах и соотношениях. Обменные реакции заканчиваются установлением некоторого подвижного равновесия. Установление этого равновесия зависит от состава, концентрации и объема раствора, природы обменивающихся анионов и катионов и свойств почвы. Удобрения, мелиоранты, минерализация органического вещества почвы, увлажнение и подсыхание почвы, потребление ионов растениями смещают это равновесие, и тогда одни анионы и катионы переходят из раствора в ППК, а другие в обмен на первые наоборот — из ППК в раствор.

Количество катионов, вытесняемых из ППК в раствор, возрастает при постоянной концентрации раствора с увеличением объема, а при постоянном объеме его — с увеличением концентрации. Скорость реакций обмена катионов между ППК и раствором чрезвычайно велика — за 3—5 мин с момента внесения водорастворимых удобрений до 85 % катионов их поглощается ППК с выделением эквивалентных количеств ранее содержащихся в ППК других катионов.

Энергия обменного поглощения и закрепления катионов в ППК возрастает с увеличением их валентности, а в пределах одной валентности — с увеличением атомной массы и вместе с тем зависит от диаметра катионов в гидратированном состоя-

нии. С ростом атомной массы возрастают размеры катионов и снижается степень их гидратации, поэтому размеры (диаметры) гидратированных катионов при этом уменьшаются. Чем меньше гидратирован катион, тем прочнее его связь с ППК и тем легче он вытесняет из ППК более гидратированные катионы. По возрастающей способности к поглощению с учетом размеров в гидратированном состоянии разновалентные катионы располагаются в следующий ряд:



Среди одновалентных катионов в силу меньших размеров в гидратированном состоянии исключением являются аммоний и особенно водородный ион  $\text{H}^+$  или в гидратированном состоянии  $\text{H}_3\text{O}^+$  (гидроксоний), который благодаря очень малым размерам по энергии поглощения в 4 раза превосходит кальций и в 17 раз — натрий.

Обмен катионов может происходить как на внешней (экстрамицеллярно), так и на внутренней поверхности коллоидов (интрамицеллярно). Глинистые минералы группы монтмориллонита (монтмориллонит, иллит, вермикулит, мусковит) с трехслойной кристаллической решеткой, способной расширяться при увлажнении, могут поглощать катионы как экстра-, так и интрамицеллярно. Проникшие в межпакетное пространство катионы ( $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Rb}^+$  и  $\text{Cs}^+$ ) при подсыхании почвы и сокращении этого пространства оказываются замкнутыми в гексагонах — зафиксированными и недоступными растениям, но позднее при увлажнении почвы могут выйти из этого пространства и стать доступными растениям.

Фиксация калийных и аммонийных катионов соответствующих удобрений возрастает с увеличением среди минералов монтмориллонитовой группы, особенно в коллоидной и предколлоидной фракциях гранулометрического состава почвы. Внесение аммиачных и калийных удобрений глубже, в слои почвы с устойчивой влажностью, позволяет заметно снизить необменное поглощение (фиксацию) вносимых катионов и сохранить их в усвояемой для растений форме.

Почва как исключительно сложный полифункциональный сорбент поглощает ионы, молекулы и частицы питательных веществ удобрений и мелиорантов нередко одновременно по нескольким типам взаимодействия. Знание этих взаимодействий позволяет профессионально регулировать с помощью имеющихся природно-экономических ресурсов продуктивность культур, плодородие почв и качество получаемой продукции.

### 3.2.6. ЕМКОСТЬ ПОГЛОЩЕНИЯ И СОСТАВ ПОГЛОЩЕННЫХ КАТИОНОВ ПОЧВ

Максимальное содержание обменно-поглощенных катионов в почве называют *емкостью катионного обмена* (ЕКО) или емкостью поглощения; она выражается в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы. Если в 100 г почвы содержится в обменно-поглощенном состоянии 160 мг кальция, 24 магния и 3 мг водорода, ЕКО (Т) будет равна:

$$T = \frac{160}{20} + \frac{24}{12} + \frac{3}{1} = 13,0 \text{ мг·экв/100г,}$$

где 20 — эквивалентная масса Са, 12 — Mg и 1—H.

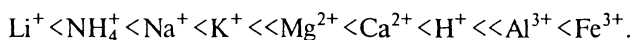
ЕКО возрастает с увеличением в почве органического вещества, дисперсности гранулометрического состава от песчаных, супесчаных к суглинистым и глинистым (особенно с увеличением доли коллоидной и предколлоидной фракций) и с возрастанием минералов монтмориллонитовой группы. ЕКО органического вещества твердой фазы почвы в 10—30 раз выше минеральной части этой фазы, и при содержании гумуса 5—6 % на его долю приходится более 50 % общей емкости катионного обмена. ЕКО разных почв сильно колеблется — от 5—10 мг·экв/100 г в легких дерново-подзолистых разностях до 20—70 мг·экв/100 г в черноземах. При подкислении почвы и увеличении содержания амфотерных коллоидов (амфолитоидов) в ней ЕКО снижается.

Разные почвы наряду с ЕКО различаются и по составу поглощенных катионов. Все почвы в обменно-поглощенном состоянии содержат кальций и магний, причем в выщелоченных, обыкновенных и мощных черноземах доля этих катионов достигает 80—90 %, и небольшое количество катионов водорода и алюминия. В южных черноземах, каштановых почвах и сероземах в ЕКО преобладают кальций и магний, имеется немного натрия и нет водорода. В солонцах и солончаках в обменно-поглощенном состоянии наряду с кальцием и магнием много натрия. В красноземах, желтоземах, подзолистых и дерново-подзолистых почвах в составе поглощенных катионов наряду с кальцием и магнием много или очень много (до 50 % ЕКО и более) алюминия, водорода и железа. Катионы калия и аммония в небольших количествах в обменно-поглощенном состоянии встречаются во всех почвах. Следует подчеркнуть, что в почве имеются практически все необходимые растениям катионы, но содержание их очень мало.

ЕКО и состав поглощенных катионов играют огромную, если не решающую, роль в питании растений и превращении удобрений, определяют реакцию и буферные свойства твердой и жидкой фаз ее, а также катионо-анионный состав и концентрацию почвенного раствора и, следовательно, обуславливают выбор вида,

дозы, формы, срока и способа внесения удобрений и мелиорантов для возделываемых культур на каждой конкретной почве. Чем выше ЕКО почвы, тем экономически выгоднее и экологически безопаснее разовое (запасное, периодическое) внесение больших доз удобрений и мелиорантов под культуры. Чем ниже ЕКО, тем острее необходимость дробного внесения небольших доз удобрений и мелиорантов под те же культуры.

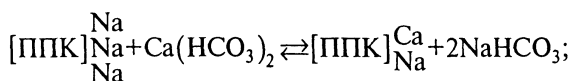
Состав и количество поглощенных катионов влияют на дисперсность ППК и, следовательно, на свойства почвы, питание растений и трансформацию удобрений и мелиорантов. Катионы осаждают (коагулируют) отрицательно заряженные коллоиды почвы, причем с увеличением валентности и атомной массы более энергично в следующей последовательности:



При подкислении почвы коагулирующее действие катионов усиливается, при подщелачивании — ослабевает, а одновалентные катионы в щелочной среде не вызывают коагуляции коллоидов. Катионы кальция осаждают коллоиды даже в щелочной среде, а магния занимают промежуточное положение между одновалентными и кальцием.

Преобладающий в составе поглощенных катион кальция при взаимодействии с удобрениями переходит в раствор, осаждают в нем органические и минеральные коллоиды, т. е. накапливает и сохраняет их в твердой фазе, что способствует увеличению ЕКО.

Содержание в ППК одновалентных щелочных катионов калия, и особенно натрия, более 3—5 % ЕКО и увеличение количества их сильно диспергируют коллоидную и предколлоидную фракции, резко ухудшают свойства щелочных почв и, следовательно, питание растений. При взаимодействии с удобрениями, мелиорантами и солями почвенного раствора поглощенный натрий переходит в раствор, образуя гидролитически щелочные соли, отрицательно влияющие (из-за щелочности) на рост и развитие многих растений:



Значительное содержание в ППК обменно-поглощенных катионов водорода, алюминия, железа и марганца (подзолистые и болотные почвы, желтоземы, красноземы) также ухудшает многие свойства кислых почв. Поглощенный катион водорода постепенно разрушает минералы ППК, что приводит к ухудшению струк-

туры почвы, обеднению ее коллоидной фракцией и, следовательно, снижению ЕКО. Вместе с тем вытесненные в почвенный раствор (под влиянием удобрений, мелиорантов, корневых выделений растений) катионы водорода, алюминия, железа и марганца отрицательно влияют на рост, развитие и урожайность большинства возделываемых культур.

Соотношения и состав обменно-поглощенных катионов разных почв сравнительно легко регулируются удобрениями и особенно мелиорантами. На кислых почвах катионы водорода, алюминия, железа и марганца вытесняются из ППК внесением известковых, а на щелочных — катионы натрия — внесением гипсосодержащих материалов. Во всех случаях отрицательно влияющие на культуры катионы в ППК замещаются кальцием, что и позволяет считать кальций стражем почвенного плодородия.

Чем выше ЕКО почвы, тем большее количество и разнообразие необходимых растениям катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  и др.) она способна сохранить от вымывания и, следовательно, обеспечить лучшие условия питания, роста и развития растений как без удобрений, так и при внесении любых (вплоть до максимальных) количеств их любого качества. Устойчивость почв к антропогенным воздействиям, в частности к химическому загрязнению, возрастает с повышением их емкости поглощения.

### 3.3. ВИДЫ ПОЧВЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ И ЩЕЛОЧНОСТИ

Реакция почвенного раствора (почвы) обусловлена соотношением ионов водорода ( $\text{H}^+$ ) и гидроксида ( $\text{OH}^-$ ), причем концентрацию первых обычно выражают символом рН, являющимся отрицательным логарифмом концентрации этих ионов ( $\text{H}^+$ ).

Реакция почвы оказывает большое разностороннее влияние на усвоение питательных элементов, рост, развитие и урожайность растений, деятельность почвенных микроорганизмов, трансформацию разных форм питательных элементов удобрений и почвы, физические, химические, физико-химические и биологические свойства почв. Удобрения, и особенно мелиоранты, позволяют регулировать реакцию почв в желаемом для возделываемых культур направлении.

По реакции (рН) различают почвы: очень сильнокислые —  $< 4,0$  ( $\text{pH}_{\text{сол}}$ ), сильнокислые —  $4,1-4,5$ , среднекислые —  $4,6-5,0$ , слабокислые —  $5,1-6,0$ , нейтральные —  $6,1-7,4$ , слабощелочные —  $7,5-8,5$  ( $\text{pH}_{\text{вод}}$ ), сильнощелочные —  $8,6-10,0$ , резкощелочные —  $> 10,0$ .

Для большинства возделываемых в России сельскохозяйственных культур наиболее благоприятны почвы с нейтральной и близкой к ней реакцией, однако значительные площади сельскохозяй-

ственных угодий приходится на почвы с неблагоприятной реакцией. Поэтому выяснение природы почвенной кислотности и щелочности и разработка приемов их устранения с помощью соответствующих агротехники, удобрений и мелиорантов чрезвычайно важны для повышения продуктивности возделываемых культур, эффективности удобрений и мелиорантов и качества регулирования агрохимических показателей плодородия почв.

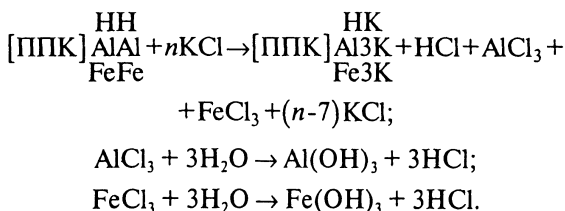
В кислых почвах различают актуальную (активную) и потенциальную (пассивную) кислотность.

**Актуальная кислотность.** Обусловлена наличием и концентрацией ионов водорода в почвенном растворе (суспензии) при обработке почвы водой. Разложение органического вещества почвы и органических удобрений приводит к постоянному образованию органических и аминокислот, диоксида углерода и воды. Органические и аминокислоты являются продуктами корневых выделений растений и почвенных микроорганизмов, а при дыхании все живые организмы выделяют  $\text{CO}_2$ . Диоксид углерода, взаимодействуя с водой, образует угольную кислоту.

Угольная, органические и аминокислоты, да еще гидролитически кислые удобрения ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) и азотная кислота, образующаяся в процессе нитрификации аммиачного азота удобрений и почвы, являются основными источниками ионов водорода почвенного раствора, обуславливающими актуальную кислотность почв.

**Потенциальная кислотность.** Обусловлена обменно-поглощенными ППК ионами водорода, алюминия, железа и марганца. В зависимости от способности к обменному вытеснению из ППК этих ионов другими потенциальную кислотность разделяют на обменную и гидролитическую.

**Обменная кислотность.** Обусловлена наличием в ППК тех ионов водорода, алюминия, железа и марганца, которые могут быть вытеснены в раствор катионами нейтральных солей, в том числе и удобрений ( $\text{KCl}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  и др.). Схематически это можно представить в следующем виде:



В слабокислых почвах обменная кислотность незначительная, а в щелочных — вообще отсутствует. Обменная кислотность кислых почв легко переходит в актуальную при взаимодействии твердой

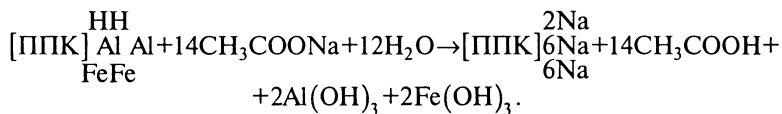
фазы почвы с водорастворимыми солями удобрений, мелиорантов и жидкой фазы почвы, что усиливает отрицательное влияние на чувствительные к кислотности растения и микроорганизмы. Особенно токсичны для многих живых организмов подвижные алюминий и марганец, поэтому дозы извести должны нейтрализовать не только актуальную, но и обменную формы кислотности известкуемых почв. Обменная кислотность ( $pH_{\text{сот}}$ ) — важный показатель нуждаемости почв в известковании.

Величину обменной кислотности выражают в  $pH$  солевой вытяжки (1 н. KCl) или в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы. При обработке почвы раствором нейтральной соли в почвенной суспензии или растворе наряду с имевшимися ранее (обуславливающими актуальную кислотность) появляются и вытесненные из ППК (обуславливающие обменную кислотность) катионы, поэтому величина обменной кислотности всегда больше (а  $pH$  меньше), чем актуальной.

**Гидролитическая кислотность.** Обусловлена той частью катионов ППК потенциальной кислотности, которые могут быть вытеснены при обработке почвы 1 н. раствором гидролитически щелочной соли ( $CH_3COONa$ ):



Щелочная реакция водного раствора этой соли позволяет более полно, чем нейтральная соль (KCl), вытеснить из ППК все ионы водорода, алюминия, железа и марганца по следующей схеме:



Гидролитическая кислотность ( $H_r$ ) определяется как общая кислотность почвы, включающая в себя актуальную, обменную и «собственно» гидролитическую виды ее. Она значительно больше обменной и выражается в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы.

В отсутствие актуальной и обменной видов «собственно» гидролитическая кислотность не вредна для растений и микроорганизмов. Это наблюдается во всех черноземах, кроме южных, но знание ее в этих случаях необходимо для определения степени насыщенности почв основаниями ( $I$ ) и для обоснования возможностей замены суперфосфатов фосфоритной мукой (фосфоритованье).

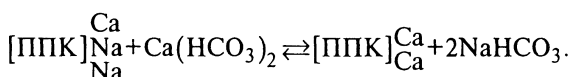
Для кислых почв (болотные, подзолы, дерново-подзолистые, серые лесные, красноземы, желтоземы) наряду с определением степени насыщенности основаниями и возможностями фосфори-

тования величина гидролитической кислотности позволяет определять оптимальную дозу извести для желаемой нейтрализации тех или иных видов кислотности.

В щелочных почвах (южные черноземы, каштановые и солонцовые почвы) различают актуальную и потенциальную щелочность.

**Актуальная щелочность.** Обусловлена наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей, при диссоциации которых преобладают гидроксильные ионы ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{KHCO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{MgCO}_3$ ). Актуальная щелочность определяется при обработке почвы водой и выражается в мг-экв/100 г почвы или в виде  $\text{pH}_{\text{вод}}$ , а полученные результаты обосновывают степень нуждаемости возделываемых культур в нейтрализации (гипсование, кислование) почв.

**Потенциальная щелочность.** Проявляется у почв, в ППК которых в обменно-поглощенном состоянии содержится натрий, способный при вытеснении в раствор усиливать щелочность почвенного раствора:



По доли натрия в ППК почвы определяют степень нуждаемости возделываемых культур в нейтрализации и дозы гипсосодержащих материалов или технических кислот для каждого конкретного случая.

#### 3.4. СТЕПЕНЬ НАСЫЩЕННОСТИ ОСНОВАНИЯМИ И БУФЕРНОСТЬ ПОЧВЫ

Реакция почвенного раствора наряду с величинами обменной и гидролитической кислотности ( $\text{H}_r$ ) зависит от емкости поглощения ( $T$ ) и степени насыщенности почвы основаниями ( $V$ ). Если сумму поглощенных катионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  и других оснований ( $S$ ) сложить с катионами  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , обуславливающими гидролитическую кислотность ( $\text{H}_r$ ), то можно определить (в мг экв/100 г почвы) ЕКО ( $T$ ):  $T = S + \text{H}_r$ . Сумму поглощенных оснований, выраженную в процентах от ЕКО ( $T$ ), называют *степенью насыщенности почвы основаниями* ( $V$ ):

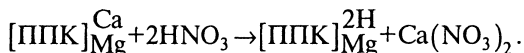
$$V = \frac{S}{T} \cdot 100.$$

Степень насыщенности почвы основаниями — второй важный показатель нуждаемости почв в известковании. Чем он ниже, тем

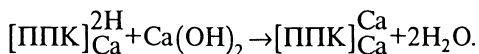


выше нуждаемость и наоборот. Если гидролитическая кислотность ( $H_r$ ) двух почв одинакова и составляет  $5 \text{ мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$  почвы, но ЕКО ( $T$ ) первой равна 10, а второй  $20 \text{ мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$ , то степень насыщенности основаниями ( $I$ ) первой почвы составит 50, а второй — 75 %. При равной величине гидролитической кислотности первая почва гораздо кислее, так как 50 % ЕКО у нее занято подкисляющими катионами и она в большей степени, чем вторая, нуждается в их замене на основания (в известковании). При равной же ЕКО в первую очередь в известковании будет нуждаться почва с большей гидролитической кислотностью, причем для нейтрализации ее потребуется и больше извести.

*Буферность почвы* — способность противостоять изменению реакции среды — обусловлена прежде всего величиной ЕКО ( $T$ ) и составом поглощенных катионов, а также катионо-анионным составом почвенного раствора. Буферность почв чрезвычайно важна для обоснования оптимальных доз, форм, сроков и способов внесения удобрений и мелиорантов под конкретные сельскохозяйственные культуры. Чем больше ЕКО, тем выше буферность почвы. Буферные свойства против подкисления возрастают с ростом насыщенности почв основаниями ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$  и др.) и с переходом от нейтральных к щелочным почвам. Если в такой почве появляется кислота (например,  $\text{HNO}_3$  в результате нитрификации или физиологической кислотности  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), то ионы водорода кислоты обмениваются с катионами ППК. В результате образуется нейтральная соль и реакция раствора не изменяется:



Буферные свойства против подщелачивания возрастают на нейтральных почвах с ростом гидролитической кислотности, со снижением степени насыщенности основаниями и с переходом от нейтральных к кислым почвам. Если в такой почве появляется щелочь [например,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в результате физиологической щелочности  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ], то катион ее вытесняет из ППК эквивалентное количество ионов водорода, в результате чего образуется вода и реакция раствора не изменяется:



Почвенный раствор подкисляется под влиянием диоксида углерода, образующегося в результате разложения органического вещества почвы, органических удобрений, дыхания корней, кислых выделений растений и микроорганизмов, образования азотной кислоты при нитрификации аммиачных форм удобрений и почвы, при внесении физиологически кислых удобрений ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ;

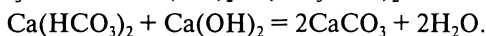
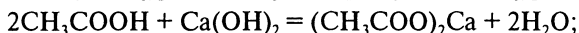
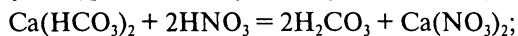
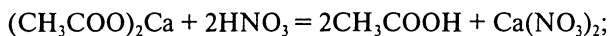
( $\text{NH}_4$ ) $_2\text{SO}_4$  и др.), а на кислых почвах — и под влиянием физиологически нейтральных удобрений.

Подщелачивание или нейтрализация кислого почвенного раствора происходит при внесении физиологически щелочных удобрений [ $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ], а на щелочных почвах — и под влиянием нейтральных удобрений.

Под действием подкисляющих и подщелачивающих факторов реакция почвенного раствора может колебаться, однако скорость возможных изменений в почвах с низкой ЕКО (песчаные, супесчаные подзолы) гораздо выше, чем в высокеемких (суглинистые черноземы).

Концентрация, катионо-анионный и вещественный состав почвенного раствора зависят и определяются ЕКО и составом поглощенных катионов и могут изменяться под влиянием удобрений и мелиорантов. Поэтому буферные свойства почв проявляются через реакции, происходящие в почвенном растворе.

В почвенном растворе буферность создается находящимися в нем слабыми органическими (например, уксусная) и минеральными (например, угольная) кислотами и их солями:



Образующиеся в результате этих реакций нейтральные соли и вода не могут изменить реакцию почвенного раствора.

Буферность почв проявляется и в устойчивости к временному повышению концентрации почвенного раствора, вызванному недостатком влаги, неравномерным и периодическим внесением удобрений и мелиорантов. Высокобуферные почвы с высокой ЕКО и разнообразным составом поглощенных ионов относительно легко удерживают в поглощенном состоянии максимально допустимые с экологической и экономической точек зрения разовые дозы не только мелиорантов и органических удобрений, но и водорастворимых минеральных удобрений без значительного повышения концентрации почвенного раствора.

Малобуферные, малоемкие почвы не могут без повышения концентрации почвенного раствора и увеличения потерь элементов за счет вымывания усваивать большие разовые дозы мелиорантов и удобрений и требуют дробного внесения водорастворимых форм минеральных удобрений.

Таким образом, системное применение органических и минеральных удобрений в сочетании с периодическим внесением химических мелиорантов позволяет повышать ЕКО, регулировать состав поглощенных катионов, повышать буферность почв и, сле-

довательно, регулировать продуктивность культур и плодородие почв в каждом конкретном случае с учетом экономических возможностей и экологических ограничений.

### 3.5. СОДЕРЖАНИЕ И ФОРМЫ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ, ИХ ДОСТУПНОСТЬ РАСТЕНИЯМ

Все необходимые растениям питательные элементы, за исключением азота, в естественных почвах без удобрений происходят из материнских пород. Накопление азота в почвах осуществляется в органической форме в результате жизнедеятельности симбиотических, свободноживущих и ассоциативных азотфиксаторов молекулярного азота ( $N_2$ ) атмосферы, так как материнские породы могут удерживать в кристаллических решетках только небольшое количество необменно-поглощенных ионов аммония. Фосфор, калий, кальций и все другие макро- и микроэлементы первоначально имеются только в минеральных формах, но в процессе почвообразования та или иная часть некоторых из этих элементов в почвах может содержаться и в органических формах. Из общих (валовых) запасов в почвах всех элементов и каждого в отдельности для питания растениям доступна (усвояема) обычно очень незначительная часть их (1—10 %). Напомним, что усвояемые формы питательных элементов — это растворимые в воде и (или) слабых кислотах главным образом минеральные соли необходимых макро- и микроэлементов. Интенсивность и направленность трансформации валовых запасов питательных элементов в усвояемые для растений формы и обратно осуществляются и регулируются всем комплексом природно-экономических условий конкретных экосистем, в том числе в агроценозах: структурой посевов, удобрениями, химическими и гидротехническими мелиорациями и другими агроприемами.

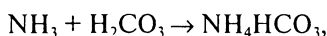
Комплекс всех процессов поступления, трансформации и расходования питательных элементов обуславливает в почвах определенное количественное и качественное состояние их и определяет пищевой режим почвы в целом и каждого элемента в отдельности.

#### 3.5.1. СОДЕРЖАНИЕ И ДИНАМИКА СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА

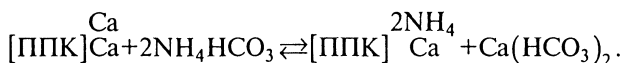
В пахотном слое (0—25 см) разных почв общее (валовое) содержание азота изменяется от 0,02—0,05 % в дерново-подзолистых почвах до 0,2—0,5 % в черноземах, т. е. даже в пределах одного типа изменяется более чем в 2 раза, а для разных типов — в 10 раз. Так как не менее 95 % общего азота содержится в органическом веществе почвы и только около 1 % в легкоусвояемых для растений минеральных формах ( $NO_3^-$  и  $NH_4^+$ ), то обеспеченность этим

элементом любой почвы определяется содержанием в ней органического вещества (гумуса) и скоростью его минерализации (разложения). Разложение органических азотистых веществ можно представить следующей схемой: гумусовые вещества, белки → аминокислоты, амиды → аммиак → нитриты → нитраты.

Разложение органических веществ почвы до аммиака, называемое *аммонификацией*, происходит при помощи разных обширных групп аэробных и анаэробных микроорганизмов. Образующийся аммиак, взаимодействуя с другими продуктами минерализации (угольная, муравьиная, уксусная, азотная и др. кислоты), дает соли, например



а при диссоциации ион аммония может обменно поглощаться:

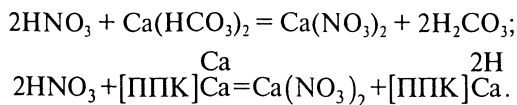


В анаэробных условиях процесс разложения на этом останавливается, а в аэробных — соли аммония окисляются до нитратов (*нитрификация*). Скорость аммонификации зависит от температуры, влажности, реакции и других условий, а в анаэробных условиях в сильноокислых (торфяники) и сильнощелочных (солонцы) почвах этот процесс резко замедляется.

Нитрификация осуществляется группой аэробных бактерий (*Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosospira* и *Nitrobakter*), для которых этот процесс является источником энергии. Окисление аммиачного азота происходит через ряд промежуточных продуктов (гидроксиламин, азотистая и азотная кислоты), причем в окислении до азотистой кислоты участвуют из указанных ранее первые три группы бактерий, а четвертая далее до азотной кислоты — по следующей схеме:



Образующаяся азотная кислота нейтрализуется растворимыми и (или) обменно-поглощенными катионами кальция и других оснований:



Влажность почвы 60—70 % капиллярной влагоемкости, температура 25—32 °С и pH 6,2—8,2 — оптимальные условия для нитри-

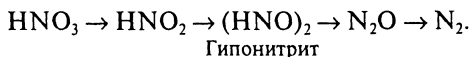
фикации, при которых процесс протекает максимально быстро, и при достаточных запасах аммиачных форм почвенного азота за один вегетационный период может образоваться до 300 кг/га азота в виде азотной кислоты.

Интенсивность и объемы процессов аммонификации и, следовательно, нитрификации зависят от общего количества и качества органического вещества и особенно лабильной части его (ЛОВ), водно-воздушного и теплового режимов и реакции среды. Поэтому с помощью мелиорантов, органических и минеральных удобрений, способов обработки почвы, структуры посевных площадей можно в той или иной степени практически воздействовать на эти процессы и одновременно учитывать их для повышения эффективности и экологической безопасности применения удобрений в конкретных условиях.

Методы определения нитрифицирующей способности почв, легкогидролизуемого азота, а также аммиачных и нитратных форм его в почвах широко используют в почвенной диагностике азотного питания растений для оптимизации доз азотных удобрений, получения максимальной продуктивности культур и предотвращения загрязнений нитратами продукции, грунтовых, хозяйственных и питьевых вод.

Нитрификация наряду с положительной играет и отрицательную роль, так как избыток нитратов может загрязнять продукцию, вымываться с осадками и оросительными водами в грунтовые воды вплоть до питьевых, а также подвергаться денитрификации с образованием выделяющихся из почвы газообразных потерь в виде NO, N<sub>2</sub>O и N<sub>2</sub>.

*Денитрификация* — восстановление нитратного азота до указанных газообразных соединений в анаэробных условиях осуществляется обширной группой бактерий — денитрификаторов (*denitrificans*, *stutzeri*, *fluorescens*, *puoscyaneum* и др.). Процесс идет через ряд промежуточных этапов по следующей схеме:

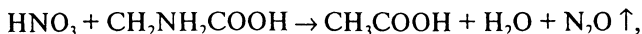


Гипонитрит

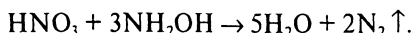
Продукты биологической денитрификации (N<sub>2</sub>O и N<sub>2</sub>) являются одними из основных газообразных потерь азота почвы. Между денитрификацией и нитрификацией существует тесная связь. Интенсивная нитрификация в аэробных микроразонах вызывает обеднение их кислородом, они становятся анаэробными. Кроме этого даже при хорошей структуре и оптимальной влажности почвы внутри отдельных микроагрегатов могут также существовать анаэробные микроразоны, создаются благоприятные условия для денитрификации.

Наряду с биологической денитрификацией в почвах возможно восстановление нитратов и в результате химических реакций (хе-

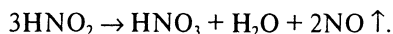
*модинитрификация*) между соединениями, образующимися при аммонификации, нитрификации и денитрификации. Например, при взаимодействии азотной кислоты с аминокислотами:



или с гидроксиламином:



В кислой среде ( $\text{pH} < 5$ ) азотистая кислота легко разлагается с образованием газообразного оксида азота:



Наряду с минерализацией органического азота в результате изложенных ранее процессов в почвах одновременно происходят и процессы вторичного синтеза — из образовавшихся минеральных форм и внесенных удобрений микроорганизмы строят белки собственных тел. Азот при этом не теряется из почвы, а переходит в недоступные для питания растений формы — *иммобилизуется*, хотя при отмирании микроорганизмов он вновь минерализуется и может стать доступным растениям. Процессы *мобилизации* (минерализации) и иммобилизации протекают в почвах одновременно, а интенсивность каждого и соотношение между ними очень динамичны и в значительной степени определяют условия азотного питания растений. Именно поэтому для уточнения доз внесения азотных удобрений под различные культуры и на любых почвах чрезвычайно важна почвенная диагностика азотного питания.

### 3.5.2. СОДЕРЖАНИЕ И ДИНАМИКА СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА

Фосфор по среднему содержанию в земной коре среди всех элементов занимает 13-е место (0,12 %), причем в верхнем слое почвы его значительно больше, чем в нижележащих и в материнской породе благодаря постоянному извлечению корнями растений из более значительного объема почвы и подпочвы, чем тот, в котором корни и надземные органы растений отмирают. Валовые запасы фосфора в пахотном слое различных почв зависят от гранулометрического и минералогического состава и содержания органического вещества и колеблются от 0,03—0,12 % в дерново-подзолистых почвах до 0,10—0,30 % в черноземах.

**Минеральные фосфаты.** Как правило, преобладают над органическими во всех почвах. Доля органических фосфатов наиболее высока в пахотном слое серых лесных почв и мощных черноземов (до 35—45 %), но к югу и северу она уменьшается, а минеральных

возрастает: в среднеподзоленных до 69 %, в сильноподзоленных до 73, в каштановых почвах до 75 и в сероземах до 86 %. Чем больше в почве органического вещества, тем выше доля органических и валовых фосфатов.

**Органические фосфаты.** Содержатся в гумусе, неразложившихся остатках живых организмов и фитатах. Кальциевые и магниевые соли фитина (фитаты) преобладают в нейтральных, а алюминия и железа — в кислых почвах. Фитаты составляют наибольшую часть (до 50 %) органических фосфатов. Органические фосфаты минерализуются различными микроорганизмами, причем часть фосфора (до 24 кг/га), как и азота, находится в массе их тел, а оставшаяся может быть усвоена растениями и (или) поглощена почвой.

*Минеральные фосфорнокислые соли* одновалентных катионов любой степени замещения, а также однозамещенные фосфаты кальция и магния растворимы в воде и легко усваиваются всеми культурами. Однако из-за быстрого химического и физико-химического поглощения почвой водорастворимых соединений фосфора в почвах очень мало — редко более 1 мг/кг почвы.

Растения благодаря корневым выделениям способны усваивать и *растворимые в слабых кислотах* (угольная, уксусная, лимонная, щавелевая и др.) *фосфорнокислые соли*. В еще больших количествах слабые и более сильные кислоты выделяются микроорганизмами (азотная при нитрификации, серная при окислении серосодержащих белков и аминокислот, фосфорная при минерализации фосфорорганических веществ, угольная и органические при дыхании и брожении).

В слабых кислотах (или слабых растворах сильных кислот) хорошо растворимы двухзамещенные фосфаты двухвалентных катионов и малорастворимые трехзамещенные фосфаты двух- и трехвалентных катионов. Минимальная растворимость фосфатов железа и алюминия наблюдается при pH соответственно 2,2 и 3,7, а трехзамещенных фосфатов кальция и магния — при pH 6,5 и 10. Неудивительно, что слабокислая реакция (pH 6) наиболее благоприятна для питания растений фосфором.

В почвах под влиянием естественных и антропогенных, химических, биологических, физических, физико-химических и других воздействий одновременно происходят сопряженные процессы перехода форм фосфора из доступных в недоступные растениям и обратно. Поэтому для определения степени обеспеченности различных культур фосфором большое значение имеют слабокислотные вытяжки из разных почв: 1—2%-ная лимонная; 2—3%-ная уксусная, 0,2 н. соляная, 0,002 н. серная (с добавлением  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  для поддержания pH 3) и дистиллированная вода, насыщенная  $\text{CO}_2$ .

Наряду с разными методами определения усвояемых (подвижных) фосфатов существуют и методы определения фосфатного потенциала почв (Карпинского и Замятиной, Скофилда), позволяю-

щие контролировать уровень его в зависимости от применяемых удобрений, мелиорантов или других факторов.

Методы определения усвояемых растениями фосфатов почв в сочетании с полевыми опытами широко используют (в виде картограмм, паспортов полей, рекомендаций по применению удобрений) агрохимическая служба страны и специалисты хозяйств для определения и коррекции доз фосфорных удобрений под возделываемые культуры и в целях регулирования фосфатного режима почв в конкретных природно-экономических условиях.

Динамика усвояемых фосфатов зависит от почвенно-климатических условий возделываемых культур (и сортов), количества и качества применяемых удобрений и мелиорантов и в целом от уровня интенсификации сельскохозяйственного производства. Поэтому повторные обследования почв для этих целей проводят через разные промежутки времени: от 1—2 лет в интенсивных (орошаемых, овощных) до 10 и более лет в экстенсивных неудобряемых агроэкосистемах.

### 3.5.3. СОДЕРЖАНИЕ И ДИНАМИКА СОЕДИНЕНИЙ КАЛИЯ

Валовое содержание калия в почвах (в среднем 2,14 %) почти всегда выше, чем азота и фосфора, вместе взятых, причем с увеличением глинистых частиц в гранулометрическом составе оно может достигать 3,0 %. Гораздо меньше калия в супесчаных (до 2,0 %), песчаных (до 1,5 %) и особенно торфяных (менее 1,0 %) почвах, причем в подпахотных слоях дерново-подзолистых и серых лесных почв валовое содержание его выше, чем в пахотных.

Калий почв на 99,9 % представлен минеральными соединениями, поэтому обеспеченность этим элементом растений зависит от гранулометрического и минералогического состава почвы. Общий (валовой) калий содержится: в составе кристаллических решеток первичных и вторичных минералов (не менее 91 % от общего), в обменно- (0,5—2,0 %) и необменно-поглощенном (до 9,0 %) состояниях, в виде солей (карбонатов, нитратов, хлоридов и др.) почвенного раствора (0,05—0,2 %) и в составе пожнивно-корневых остатков, микроорганизмов (до 0,05 %).

Легче всего растения усваивают *водорастворимый калий* (почвенного раствора), хорошо — разложившихся остатков живых организмов и *обменно-поглощенный*. Все эти формы подвижны, доступны для растений. Ближайшим резервом питания являются *необменно-поглощенный (фиксированный) калий*, гидрослюды, вермикулиты, вторичные хлориты и малорастворимые соли. Потенциальный резерв — полевые шпаты, слюды, пироксены и первичные хлориты.

Между различными формами калия в почвах существует динамичное (подвижное) равновесие и, если, например, растения смо-



гут потребить водорастворимые формы, количества их пополнятся за счет обменно-поглощенных, уменьшение которых через какое-то время может быть возмещено за счет необменной, фиксированной формы. Следует иметь в виду, что при внесении водорастворимых калийных удобрений трансформация их может протекать в противоположном направлении.

Для определения степени обеспеченности растений калием и фосфором в России существуют стандартные методы определения подвижных форм его в разных почвах: Кирсанова (почвы Нечерноземной зоны), Чирикова (некарбонатные черноземы), Мачигина (карбонатные черноземы, каштановые и бурые почвы), Ониани (красноземы, желтоземы) и др.

Проектно-изыскательские центры и станции химизации Агрохимслужбы по результатам анализов почв составляют картограммы обеспеченности агроландшафтов подвижным калием, фосфором, иногда легкогидролизуемым азотом и микроэлементами, а также по уровню реакции почв ( $pH_{\text{сол}}$ ).

Характеристика калийного режима предусматривает не только содержание подвижных форм, но и степень их подвижности, т. е. доступности растениям. На основе физико-химической взаимосвязи между катионами калия, кальция и магния в системе почва — почвенный раствор разработан метод определения калийного потенциала, рассматриваемого как «фактор интенсивности» почвенного калия. Калийный потенциал почвы показывает возможность перехода поглощенного ею калия в раствор с учетом конкуренции сопровождающих катионов кальция и магния. Чем выше величина калийного потенциала, тем ниже способность катиона калия к переходу в раствор и, следовательно, доступность растениям. В соответствии с принятой градацией калийный потенциал в пределах 2,5—2,9 свидетельствует о недостатке калия для нормального развития растений, 1,8—2,2 — об оптимальном уровне обеспеченности, менее 1,5 — избытке калия.

Способность почвы поддерживать калийный потенциал на определенном уровне при изменении под влиянием удобрений и растений содержания подвижного калия называют *потенциальной калийной буферной способностью*. Она является отношением фактора емкости (количество калия, извлекаемое из почвы 0,002 М раствором  $\text{CaCl}_2$ ) к фактору интенсивности (равновесной активности  $\text{K}^+$  в почвенном растворе).

Показатели степени обеспеченности почв подвижным калием и калийного потенциала в сочетании с данными полевых опытов широко используют в практике для определения и коррекции доз калийных удобрений и в целях регулирования калийного режима почв под возделываемыми культурами в конкретных природно-экономических агроэколандшафтах.

### 3.5.4. СОДЕРЖАНИЕ И ДОСТУПНОСТЬ РАСТЕНИЯМ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

О степени обеспеченности растений микроэлементами судят по общему количеству (потенциальные запасы) и содержанию подвижных форм их (эффективные запасы) в почвах, причем последнее в определенной степени отражает и усвояемость их растениями. Доля подвижных форм чаще всего составляет для меди, молибдена, кобальта и цинка 10—15 %, а для бора 2—4 % общего (валового) содержания их в разных почвах.

Валовые запасы микроэлементов в почвах определяются содержанием их в материнских породах, а доля подвижных зависит от многих свойств конкретной почвы, количества и качества применяемых удобрений и мелиорантов, характера растительности и других факторов, причем влияние каждого из них довольно специфично для разных микроэлементов. Например, подкисление среды увеличивает подвижность и, следовательно, усвояемость для растений марганца, меди, бора, цинка, железа и других элементов, а молибдена — значительно снижает. Под термином «подвижность микроэлементов» обычно подразумевают все формы их, извлекаемые разными вытяжками: водной, солевой, слабыми органическими и разбавленными минеральными кислотами, щелочами и другими растворами, при этом часто без указания различий между подвижными и усвояемыми для растений формами. Недостаток специальных для конкретных почв и растений градаций обеспеченности микроэлементами обуславливает необходимость использования для этих целей всех имеющихся материалов.

На кафедре агрохимии МСХА (Ягодин, Верниченко) обобщены литературные материалы полевых и вегетационных опытов, анализов почв и растений по обеспеченности почв основных биогеохимических зон страны подвижными формами микроэлементов (табл. 34).

**34. Градации обеспеченности почв России подвижными формами микроэлементов**

| Микро-элемент | Биогео-химическая зона | Почвенная вытяжка                     | Обеспеченность почв, мг/кг почвы |           |           |           |               |
|---------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------|
|               |                        |                                       | очень бедная                     | бедная    | средняя   | богатая   | очень богатая |
| В             | Таетно-лесная          | H <sub>2</sub> O                      | 0,2                              | 0,2—0,4   | 0,4—0,7   | 0,7—1,1   | 1,1           |
| Cu            |                        | 1,0 н. HCl                            | 0,9                              | 0,9—2,1   | 2,1—4,0   | 4,0—6,6   | 6,6           |
| Mo            |                        | Оксалатная вытяжка                    | 0,08                             | 0,08—0,14 | 0,14—0,30 | 0,30—0,46 | 0,46          |
| Mn            | Лесостепная и степная  | 0,1 н. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 1,0                              | 1,0—25    | 25—60     | 60—100    | 100           |
| Co            |                        | 1,0 н. HNO <sub>3</sub>               | 0,4                              | 0,4—1,0   | 1,0—2,3   | 2,3—5,0   | 5,0           |
| Zn            |                        | 1,0 н. KCl                            | 0,2                              | 0,2—0,8   | 0,8—2,0   | 2,0—4,0   | 4,0           |
| B             |                        | H <sub>2</sub> O                      | 0,2                              | 0,2—0,4   | 0,4—0,8   | 0,8—1,2   | 1,2           |
| Cu            |                        | 1,0 н. HCl                            | 1,4                              | 1,4—3,0   | 3,0—4,4   | 4,4—5,6   | 5,6           |
| Mo            |                        | Оксалатная вытяжка                    | 0,10                             | 0,10—0,23 | 0,23—0,38 | 0,38—0,55 | 0,55          |
| Mn            |                        | 0,1 н. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 25                               | 25—55     | 55—90     | 90—170    | 170           |

Продолжение

| Микро-<br>элемент | Биогео-<br>химичес-<br>кая зона        | Почвенная<br>вытяжка                     | Обеспеченность почв, мг/кг почвы |           |          |          |                  |
|-------------------|--|--|----------------------------------|-----------|----------|----------|------------------|
|                   |  |  | очень<br>бедная                  | бедная    | средняя  | богатая  | очень<br>богатая |
| Co                |  | 1,0 н. $\text{HNO}_3$                    | 1,0                              | 1,0—1,8   | 1,8—2,9  | 2,9—3,6  | 3,6              |
| Zn                |  | 1,0 н. $\text{KCl}$                      | 0,15                             | 0,15—0,30 | 0,3—1,0  | 1,0—2,0  | 2,0              |
|                   |  | Ацетатно-<br>аммонийная                  | 4,0                              | 4,0—6,0   | 6,0—8,8  | 8,8      | —                |
| B                 | Сухо-<br>степная<br>и полу-<br>степная | 1,0 н. $\text{KNO}_3$                    | 0,4                              | 0,4—1,2   | 1,2—1,7  | 1,7—4,5  | 4,5              |
| Cu                |  | $\text{HNO}_3$ (по<br>Гюльяхме-<br>дову) | 1,0                              | 1,0—1,8   | 1,8—3,0  | 3,0—6,0  | 6,0              |
| Mo                |  | То же                                    | 0,05                             | 0,05—0,15 | 0,15—0,5 | 0,5—1,2  | 1,2              |
| Mn                |  | »  | 6,6                              | 6,6—12,0  | 12—30    | 30—90    | 90               |
| Co                |  | »  | 0,6                              | 0,6—1,3   | 1,3—2,4  | 2,4      | —                |
| Zn                |  | »  | 0,3                              | 0,3—1,3   | 1,3—4,0  | 4,0—16,4 | 16,4             |

Следует подчеркнуть, что растения обычно усваивают только до 1 % микроэлементов, извлекаемых агрессивными вытяжками ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) из почвы. Для надежной оценки степени нуждаемости растений в микроэлементах необходимо наряду с почвенной (анализы почв) использовать результаты растительной диагностики.

### 3.5.5. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ ПО ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПИТАТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

По существующей в России классификации все почвы по степени обеспеченности питательными элементами и реакции группируют в 6 классов (табл. 35). Эту классификацию используют при агрохимических обследованиях почв, составлении агрохимических карт (картограмм) и паспортов полей и для разработок рекомендаций по определению оптимальных доз удобрений и мелиорантов под возделываемые культуры в конкретных природно-экономических условиях.

Для отдельных регионов страны уровни градаций обеспеченности растений питательными элементами, безусловно, необходимо уточнять на основании местных данных полевых опытов, видового и сортового разнообразия культур и конкретных почвенно-климатических условий. При этом следует помнить, что средние (оптимальные) уровни обеспеченности почв питательными элементами неодинаковы для разных групп и отдельных культур. Для зерновых, зернобобовых и трав это третий класс, для пропашных — четвертый, а для овощных — пятый класс. Для более оперативного регулирования доз удобрений, мелиорантов и пищевых режимов под отдельными культурами существует почвенная диагностика питания растений.

35. Классификация почв по обеспеченности питательными элементами (мг/кг) и кислотности

| Класс | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |                     |                     |                                 | K <sub>2</sub> O     |                |                |               | N (по Тюрину и Кононовой) |        |          | Нитри-<br>фициру-<br>ющая<br>способ-<br>ность | pH <sub>кат</sub> |
|-------|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|----------------|----------------|---------------|---------------------------|--------|----------|---|-------------------|
|       | по<br>Кирса-<br>нову          | по<br>Чири-<br>кову | по<br>Мачи-<br>гину | по<br>Аррени-<br>усу,<br>Оннани | по<br>Кирса-<br>нову | по<br>Чирикову | по<br>Мачигину | по<br>Маслову | pH < 5                    | pH 5—6 | pH > 6,0 |   |                   |
| 1     | < 25                          | < 20                | < 10                | < 80                            | < 40                 | < 20           | < 100          | < 50          | < 40                      | < 30   | < 30     | < 5   | < 4,5             |
| 2     | 25—50                         | 20—50               | 10—15               | 80—150                          | 40—80                | 20—40          | 100—200        | 50—100        | 41—50                     | 31—40  | 31—40    | 5—8   | 4,5               |
| 3*    | 51—100                        | 51—100              | 15—30               | 151—300                         | 81—120               | 41—80          | 201—300        | 101—150       | 51—70                     | 41—60  | 41—50    | 8—15  | 4,6—5,0           |
| 4**   | 101—150                       | 101—150             | 31—45               | 301—450                         | 121—170              | 81—120         | 301—400        | 151—200       | 71—100                    | 61—80  | 51—70    | 15—30   | 5,1—5,5           |
| 5***  | 151—250                       | 151—200             | 46—60               | 451—600                         | 171—250              | 121—180        | 401—600        | 201—300       | 101—140                   | 81—120 | 71—100   | 31—60   | 5,6—6,0           |
| 6     | > 250                         | > 200               | > 60                | > 600                           | > 250                | > 180          | > 600          | > 300         | > 140                     | > 120  | > 100    | > 60  | > 6,0             |

\* Средняя обеспеченность для зерновых, зернобобовых, однолетних и многолетних трав.

\*\* Средняя обеспеченность для пропашных культур.

\*\*\* Средняя обеспеченность для овощных, а по фосфору и для технических культур.

### 3.6. ПОЧВЕННАЯ ДИАГНОСТИКА ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Минеральное питание — наиболее доступный фактор регулирования роста, развития растений и качества получаемой продукции с помощью удобрений, мелиорантов с учетом уровня обеспеченности почвы теми или иными элементами и реакции ее.

Гранулометрический состав, содержание гумуса, валовое содержание питательных элементов, емкость поглощения (ЕКО) и другие свойства почвы, установленные при почвенном обследовании, изменяются медленно и длительно служат характеристикой конкретной почвенной разности.

Содержание подвижных (усвояемых растениями) форм питательных элементов, реакция почвы, состав поглощенных катионов, степень насыщенности основаниями изменяются гораздо быстрее, особенно под влиянием мелиорантов и удобрений. Поэтому агрохимические обследования почв по этим показателям необходимо проводить через определенные периоды (1, 3, 5, 7 лет или более), которые тем короче, чем выше насыщенность посевов минеральными и органическими удобрениями и мелиорантами. Результаты таких обследований представляют в виде агрохимических карт, паспортов полей (картограмм) и используют для определения оптимальных доз, форм, сроков и способов внесения удобрений, а также степени нуждаемости и доз химических мелиорантов.

Систематическое (через определенные промежутки времени) определение относительно быстро меняющихся агрохимических показателей почв — основа почвенной диагностики. Результаты этих обследований позволяют специалистам наиболее рационально, с учетом изменяющихся уровней обеспеченности почвы усвояемыми формами питательных элементов, реакции среды и других показателей, наиболее рационально приобтывать и применять удобрения и мелиоранты, максимально повышать их агротехническую и экономическую эффективность и экологическую безопасность и, следовательно, обеспечивать максимальные урожаи культур наилучшего качества с минимальными затратами.

Крупномасштабные агрохимические обследования и картографирование почв осуществляют имеющиеся в каждой области, крае и округе РФ проектно-изыскательские центры и станции химизации Агрохимслужбы по заявкам хозяйств, фермеров и других землепользователей. Наряду с агрохимическими картами (паспортами) результатов очередных обследований землепользователи получают и рекомендации по рациональному применению удобрений и мелиорантов под возделываемые культуры, разработанные специалистами центров и станций по результатам последнего обследования. Полученные землепользователем из центров и станций рекомендации по применению удобрений должны обязатель-

но уточняться с учетом конкретных условий каждого поля, вида и урожайности предшественников, конкретных агротехнических приемов, сорта культуры, метеорологических условий года, экономических возможностей и конъюнктуры рынка.

Из всех агрохимических показателей, определяемых при почвенной диагностике, наиболее неустойчивым и быстроменяющимся даже в течение нескольких дней является содержание минеральных форм азота. Поэтому этот показатель при составлении агрохимических карт, картограмм, паспортов полей не используют. Однако для экономического и экологически безопасного применения минеральных азотных удобрений необходимы ежегодные данные о запасах минеральных форм азота в почвах. Следовательно, надо обязательно проводить оперативную почвенную диагностику азотного питания растений.

Для регионов достаточного и избыточного увлажнения эту диагностику лучше проводить весной перед внесением азотных удобрений, а в зонах недостаточной влажности и засушливого земледелия и перед внесением осенью. В зависимости от глубины проникновения корней и водно-воздушного режима почв в течение вегетации содержание минеральных форм азота следует определять во всех слоях почвы до 100, 150, 180 см. Экспериментально установлено, что в большинстве сельскохозяйственных зон страны 60—80 % минерального азота слоя почвы 0—180 см содержится в слое 0—60 см. Для конкретных регионов разработаны соответствующие коэффициенты пересчета запасов минерального азота из слоев 0—40, 0—60 см в слои 0—100, 0—150 см и др.

Существует несколько модификаций коррекции или расчетов доз азотных удобрений по результатам диагностики минерального азотного питания. Во всех них запасы аммиачного и нитратного азота в том или ином слое почвы пересчитывают в кг/га и с учетом возможных коэффициентов использования азота почвы конкретными культурами полученную величину вычитают из величины общей потребности культур в этом элементе.

Сотрудником кафедры агрохимии МСХА Ю. П. Жуковым предложена более простая модификация коррекции доз азотных удобрений. Минеральный азот определяют перед внесением азотных удобрений в пахотном слое почвы (0—20, 0—30 см), полученный результат пересчитывают в кг/га и вычитают из ранее установленной дозы или общей потребности культуры в азоте без всяких коэффициентов, так как минеральный азот почвы ничем не отличается от минерального азота удобрений. Анализировать более глубокие слои почвы (20—40, 40—60 см и глубже) — более трудоемкая и длительная работа, а перед посевом «день год кормит». Кроме того, неизвестно какая будет погода и как при этом поведут себя нитраты и аммиачный азот более глубоких слоев: ведь за первый месяц после посева корни вряд ли сумеют проникнуть глубже пахотного горизонта. Такой подход позволяет ежегодно эконо-

мать в среднем до 30 кг/га азота минеральных удобрений при разовом их внесении в Нечерноземье, а при дробном внесении удобрений с учетом растительной диагностики эта модификация за счет быстроты и простоты применения может быть еще более эффективной.

### 3.7. АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ РОССИИ

Подробная агрохимическая характеристика всех типов почв бывш. СССР изложена в многотомном издании «Агрохимическая характеристика почв СССР» (М.: Наука, 1962—1976). В настоящем разделе очень сжато излагаются только основные агрохимические показатели преобладающих типов почв РФ.

**Дерново-подзолистые почвы.** Имеют кислую реакцию ( $\text{pH}$  4—5), значительную обменную ( $1\text{--}2 \text{ мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$ , 80—90 % которой приходится на алюминий) и гидролитическую ( $3\text{--}6 \text{ мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$ ) кислотность, низкие ЕКО ( $5\text{--}15 \text{ мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$ ) и степень насыщенности основаниями (30—70 %). Поэтому в большинстве своем эти почвы нуждаются в известковании.

Агрохимические показатели этих почв зависят от гранулометрического состава и степени окультуренности. Песчаные и супесчаные почвы наиболее бедны гумусом (до 0,5—1,0 %), азотом (до 0,003—0,08 %), фосфором (0,03—0,6 %), калием (0,5—1,0 %), а также кальцием, магнием и другими макро- и микроэлементами. Суглинистые и глинистые разности гораздо богаче по содержанию гумуса (2—4 %), азота (0,1—0,2), фосфора (0,07—0,12), калия (более 1,5 %), а также других макро- и микроэлементов.

Большинство этих почв бедны подвижными (минеральными) формами азота, фосфора, а легкие — калия. При высокой окультуренности кислотность их снижается до  $\text{pH}$  5,1—6,0 и резко возрастают содержание гумуса (2,5—4,0 %), подвижных форм фосфора (до 150—200 мг/кг), калия (200—300 мг/кг), а также ЕКО, степень насыщенности основаниями и обеспеченность другими питательными элементами.

Эти почвы распространены в зоне достаточного увлажнения, и применение удобрений и известкование здесь высокоэффективны. Из отдельных элементов в первом минимуме здесь, как правило, азот, а на слабоокультуренных почвах и фосфор. На легких почвах этой зоны высокоэффективно наряду с азотно-фосфорными удобрениями применение калийных, особенно магнийсодержащих форм.

**Серые лесные почвы.** По мощности гумусового горизонта, содержанию гумуса и степени оподзоленности характеризуются неодинаковыми агрохимическими показателями. В светло-серой почве  $\text{pH}$  4,8—5,4, содержание гумуса 1,6—3,4 %,  $\text{N}_\text{т}$  и  $S$  соответ-

ственно 2,3—3,8 и 10—18 мг·экв/100 г,  $V$  72—82 %, содержание подвижных форм фосфора и калия в пределах 3-го класса (табл. 35). В серых лесных все показатели улучшаются и достигают максимума в темно-серых лесных: рН 5,5—6,0, гумус 3,5—7,0 %,  $N$  и  $S$  соответственно 2,3—5,4 и 20—36 мг·экв/100 г,  $V$  80—86 %, обеспеченность подвижными фосфором и калием соответствует 4-му классу.

В первом минимуме на светло-серых и серых лесных почвах находится азот, во втором — фосфор, а на темно-серых почвах возможна обратная зависимость. Потребность во внесении калийных удобрений на этих почвах появляется при возделывании калиелюбивых культур (картофель, свекла и др.).

В зависимости от уровня интенсификации земледелия легкоизменяемые агрохимические показатели (рН, обеспеченность подвижными формами элементов и др.) могут существенно изменяться, причем не только в сторону улучшения, но и в противоположную.

**Черноземы.** Это наиболее плодородные почвы. Они содержат в пахотном горизонте много гумуса (4—12 %), общих запасов азота (0,2—0,5 %), фосфора (0,1—0,3 %) и калия (2,5—3,0 %). Реакция от нейтральной в типичном черноземе подкисляется до слабокислой при переходе через выщелочные к оподзоленным подтипам, соответственно возрастает (от 0,5—3,0 до 5—7 мг·экв/100 г) гидролитическая кислотность, а при переходе к югу через обыкновенный к южному подтипу подщелачивается до рН 7—8, а гидролитическая кислотность исчезает. Максимальные ЕКО (50—60 мг·экв/100 г), гумусированность (8—12 %), общие запасы азота (0,4—0,5 %) и фосфора (0,25—0,35 %) в типичном черноземе снижаются при переходе к северным и особенно южным подтипам.

Несмотря на высокое потенциальное плодородие, обеспеченность старопахотных и слабоудобрявшихся или неудобрявшихся почв подвижными формами фосфора и азота заметно уменьшается и нередко не превышает 2—4-го класса. Поэтому на таких почвах наиболее эффективны фосфорные, а при благоприятных условиях увлажнения и азотные удобрения. На старопахотных и малоудобрявшихся почвах под калиелюбивые культуры наряду с фосфорно-азотными могут быть эффективны и калийные удобрения. В более увлажненных западных районах Черноземной зоны эффективность удобрений выше, а при продвижении на восток она снижается в зависимости от увеличения засушливости климата.

**Каштановые почвы.** При переходе с севера на юг они подразделяются на подтипы: от темно- до светло-каштановых. Плодородие их при этом снижается. Содержание гумуса уменьшается с 4—5 до 2—3 %, общего азота — с 0,2—0,3 до 0,10—0,15 %, фосфора — с 0,1—0,2 до 0,08—0,15 %, ЕКО — с 30—35 до 12—15 мг·экв/100 г, возрастает щелочность ( $pH_{\text{сол}}$ ) с 7,0—7,2 до 7,4—8,0, а среди погло-



ценных катионов — удельный вес натрия. Каштановые почвы богаты калием, но часто имеют низкую обеспеченность усвояемыми формами азота и фосфора. Из-за недостатка влаги эффективность фосфорных и азотных удобрений низкая. В богарных условиях на этих почвах рекомендуют только минимальные дозы (10—15 кг/га) фосфорных удобрений, которые вносят при посеве. При орошении резко возрастает эффективность азотных и фосфорных удобрений, а калийные в большинстве случаев неэффективны.

Среди каштановых и особенно светло-каштановых почв с увеличением доли натрия в ППК и щелочности реакции встречается много разностей различной степени солонцеватости, для повышения плодородия которых необходима прежде всего нейтрализация актуальной и обменной щелочности путем гипсования или кислования их.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое потенциальный и эффективный запасы элементов в почвах, зачем они нужны? 2. Как влияют на растения почвенный воздух и почвенный раствор без удобрений и при их внесении? 3. Какова роль органической и минеральной частей почвы в питании растений и применении удобрений? 4. Как и какие виды поглощения почв влияют на азотное питание и трансформацию азотных удобрений? 5. Какие виды поглощения важны для фосфорного режима питания растений? 6. Как регулируется с помощью почвы, растений и удобрений калийный режим в почвах? 7. Что такое емкость поглощения (ЕКО), ее роль в применении удобрений? 8. Когда и как нужно регулировать состав поглощенных катионов в ППК? 9. Какова роль разных видов кислотности почв в питании растений? 10. Для чего нужно знать виды кислотности и сумму поглощенных оснований? 11. Что такое буферность почв и какова ее роль в питании растений и применении удобрений? 12. Каковы трансформация азотных соединений в почвах и доступность их растениям? 13. Назовите содержание и формы разных по доступности фосфорных соединений. 14. Какова динамика калийных соединений и степень их усвояемости? 15. Назовите содержание и формы доступных растениям микроэлементов в почвах. 16. Как классифицируют почвы по обеспеченности питательными элементами и зачем это нужно? 17. Что такое почвенная диагностика питания и зачем она нужна? 18. Какие из агрохимических показателей почв относительно легко регулируются удобрениями и мелиорантами? 19. Чем отличается агрохимическая характеристика подтипов чернозема? 20. В чем различия агрохимической характеристики кислых и щелочных почв?

---

## Глава 4

### ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ

●

*Химическая мелиорация почв* — это регулирование состава поглощенных ППК катионов путем замены избытка нежелательных среди них (водород, алюминий, железо, марганец в кислых почвах, натрий, иногда и магний в щелочных почвах) на кальций. Устраняют избыточную кислотность почв известкованием, а избыточную щелочность — гипсованием. Проведение подобных мероприятий должно предшествовать внесению удобрений и необходимо для создания оптимальных для возделываемых культур реакции почвенного раствора, потребления питательных элементов почвы и вносимых удобрений.

#### 4.1. ОТНОШЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ К РЕАКЦИИ ПОЧВЫ

Оптимальной для большинства возделываемых культур и почвенных микроорганизмов является слабокислая и близкая к нейтральной (рН 6,0—7,5) реакция почв. Однако есть культуры, оптимальная реакция почв для которых более кислая или находится в широком интервале рН. Следует подчеркнуть, что все растения в течение первых 2—3 нед с момента прорастания семян особенно чувствительны к неблагоприятной реакции среды. С возрастом они приобретают устойчивость к ней.

По отношению к кислотности почвы (среды) и, следовательно, к эффективности известкования возделываемые растения разделяют на несколько групп.

Наиболее чувствительны к кислотности почв люцерна, эспарцет, сахарная, столовая и кормовая свекла, белокочанная капуста, соя, конопля, хлопчатник. Оптимальное значение рН среды для этих культур составляет 6,5—7,5, и нуждаемость в известковании наблюдается уже на слабокислых почвах.

К повышенной кислотности чувствительны огурец, лук, чеснок, салат, цветная капуста, кукуруза, подсолнечник, вика, клевер, донник, фасоль, горох, кормовые бобы, озимая и яровая пшеница, ячмень, райграс, ежа сборная, костер. Оптимальным для них является рН 6—7. Поэтому эти культуры хорошо отзываются на известкование среднекислых почв.

Устойчивы к повышенной кислотности почв тимopheевка, гречиха, рожь, овес, просо, томат, редис, морковь. Причем эти культуры хорошо растут при большом интервале кислотности — рН 5,0—7,5, но оптимальной для них является слабокислая среда (рН 5,5—6,0). Известкование почв для этих культур проводят на сильно- и даже среднекислых почвах. Это позволяет снизить кислотность почв и одновременно мобилизовать почвенные запасы питательных элементов.

Устойчивы к повышенной кислотности почв, но трудно переносят избыток кальция лен и особенно картофель, а также малина, земляника и крыжовник. Лен хорошо развивается при рН 5,5—6,0, а картофель и ягодные культуры — в более широком интервале (рН 4,5—6,5). При избытке кальция снижается не только урожайность, но и ухудшается качество продукции, например картофель поражается паршой, лен — бактериозом. Кроме того, при нейтрализации кислотности снижается доступность растениям бора, меди, цинка и других элементов, а избыток катионов кальция затрудняет усвоение растениями калия и магния. Известкование почвы под эти культуры эффективно при сильно- и очень сильнокислой реакции.

Максимально устойчивы к кислой среде люпин, чайный куст, шавель и сераделла, хорошо растущие на почвах с рН 4,0—6,0, оптимальным для них является рН 4,5—5,0. Для этих культур необходимость в известковании возникает только на очень сильнокислых почвах, так как катионы кальция могут отрицательно влиять на эти культуры, особенно при прорастании семян и в начале роста.

Следует подчеркнуть, что под влиянием антропогенной деятельности и других условий приведенные для культур интервалы оптимальных значений рН могут изменяться.

Почвенные микроорганизмы также неодинаково реагируют на кислотность и, следовательно, на эффективность известкования кислых почв. Плесневые грибы, среди которых немало паразитов и возбудителей различных болезней сельскохозяйственных культур, лучше развиваются в кислых (рН 3—6) средах. Положительно влияющие на питание растений микроорганизмы, например аммонификаторы, свободноживущие и симбиотические азотфиксаторы, нитрифицирующие бактерии, наиболее активно развиваются в близких к нейтральной (рН 6,5—7,5) средах. Таким образом, известкование кислых почв улучшает питание растений и за счет активации полезной и подавления нежелательной микрофлоры.

Отрицательное действие возрастающей кислотности почв на растения (и, вероятно, на микроорганизмы) обусловлено увеличением содержания подвижных форм алюминия и марганца, являющихся при высоких концентрациях токсичными. Многие культуры начинают испытывать токсичное действие, например, подвижного алюминия при концентрации 2 (и более) мг/100 г почвы,

причем наибольшая чувствительность наблюдается в первые периоды роста и во время перезимовки.

По чувствительности к подвижному алюминию Н. С. Авдонин выделил четыре группы культур:

1 — наиболее чувствительные — сахарная и столовая свекла, люцерна, клевер, озимая пшеница и озимая рожь (при перезимовке); угнетение, например, клевера наблюдается при содержании ионов алюминия более 2 мг/100 г почвы, а при 6—8 мг/100 г почвы клевер сильно выпадает;

2 — чувствительные — лен, горох, фасоль, гречиха, ячмень, яровая пшеница;

3 — устойчивые — люпин, картофель, кукуруза, просо;

4 — высокоустойчивые — овес, тимофеевка.

Следует отметить, что для ряда культур отсутствует прямая зависимость между чувствительностью к кислотности и подвижному алюминию. Например, кукуруза не переносит высокой кислотности, но устойчива к повышенному содержанию алюминия, а лен, наоборот, чувствителен к алюминию, но предпочитает кислую среду.

По чувствительности к высокому содержанию в почве подвижного марганца согласно рекомендациям ВИАУ (1992) выделяют три группы культур:

1 — очень чувствительные — озимая рожь и озимая пшеница, сахарная, столовая и кормовая свекла, лен, люцерна;

2 — чувствительные — яровая пшеница, ячмень, горох, вика, белокочанная, цветная и кормовая капуста, рапс, картофель, клевер луговой и гибридный, кукуруза, турнепс, брюква, морковь, огурец, томат, лук;

3 — относительно устойчивые — овес, клевер ползучий, тимофеевка, овсяница луговая.

Между чувствительностью культур к кислотности среды и к концентрации подвижного марганца также нет прямой зависимости. Например, лен предпочитает кислую среду, но очень чувствителен к содержанию подвижного марганца, а капуста белокочанная, напротив, имеет среднюю чувствительность к содержанию марганца, но не выносит высокой кислотности почвы.

Данные обстоятельства следует учитывать при определении нуждаемости почв в известковании, т. е. содержание подвижных форм алюминия и марганца является дополнительным показателем нуждаемости почв в известковании.

#### **4.2. КАЛЬЦИЙ И МАГНИЙ В ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ И ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПОЧВОЙ**

Кальций и магний играют непосредственную роль как необходимые питательные элементы для растений и одновременно косвенно влияют на их питание через почву, регулируя реакцию, со-

став поглощенных катионов, а также солевой и ионный состав почвенного раствора.

*Кальций* необходим для растений уже потому, что при его недостатке нарушается физиологическая уравновешенность почвенного раствора и, следовательно, сбалансированное потребление всех элементов. Непосредственно в растениях кальций усиливает фотосинтез и обмен веществ, регулирует кислотно-основное равновесие клеточного сока, влияет на построение оболочек клеток, передвижение углеводов, превращение азотистых веществ, в частности, ускоряет распад запасных белков семян при прорастании.

В растениях кальций может находиться в виде карбонатов, фосфатов, сульфатов, а также в форме солей пектиновой и щавелевой кислот. До 65 % кальция в растениях извлекается водой, а остальное количество можно извлечь обработкой слабой уксусной и соляной кислотами.

Растения потребляют разное количество кальция. Так, хозяйственный вынос  $\text{CaO}$  при урожайности зерна 2—3 т/га у зерновых колосовых составляет 20—40 кг/га, у зернобобовых — 40—60 кг/га. Картофель, сахарная свекла (20—30 т/га) выносят 60—120 кг  $\text{CaO}$ /га, клевер, люцерна (20—30 т/га), подсолнечник (2—3 т/га) — 120—250 кг  $\text{CaO}$ /га, капуста (50—70 т/га) — 300—500 кг  $\text{CaO}$ /га. Потребность некоторых культур в кальции и устойчивость их к кислотности не всегда совпадают. Например, все зерновые колосовые потребляют кальция мало, хотя рожь и овес устойчивы, а пшеница и ячмень чувствительны к кислотности почвы.

Картофель и люпин еще более устойчивы к кислотности, но потребляют кальция значительно больше, чем зерновые культуры.

Потери кальция из почвы происходят и в результате вымывания осадками. В зависимости от гранулометрического состава почв, количества осадков, вида растительности, доз и форм извести и минеральных удобрений потери кальция из пахотного слоя колеблются от нескольких десятков до 200—400 кг/га и более. Фильтрующиеся через почву осадки обогащены продуктами постоянно протекающих в ней физико-химических, химических и биологических процессов, а также водорастворимыми солями удобрений и мелиорантов, причем на долю кальция приходится по эквивалентам 50—65 % и магния 30—35 % всех вымываемых катионов.

Обработка почвы изменяет ее водно-воздушный режим, приводит к ускорению окислительных процессов, повышению содержания органических кислот, увеличению содержания в почвенном растворе анионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  и уменьшению концентрации  $\text{HCO}_3^-$ . Еще больше на состав и соотношение ионов в почвенном растворе влияют удобрения и мелиоранты. Известкование ускоряет процессы аммонификации и нитрификации азота почвы, орга-

нических и минеральных удобрений и, следовательно, концентрацию нитратов, а хлорсодержащие удобрения — и хлоридов. Эти одновалентные анионы не сорбируются почвой и мигрируют с вытесненными из ППК кальцием и магнием в эквивалентных соотношениях. Именно поэтому концентрация кальция и магния в почвенном растворе под влиянием высоких доз удобрений может возрастать в десятки раз.

Насыщенность фильтрационных вод кальцием и магнием возрастает в почвах с увеличением степени их окультуренности.

Вымывание кальция и магния уменьшается с увеличением глубины слоя почвы, причем часть вымытых из пахотного слоя почвы катионов в сухие периоды года возвращается с токами воды по капиллярам. По результатам опытов ВИУА с хроматографическими колонками, в пахотный слой поднималось 14—35 % кальция и 22—34 % магния.

Максимальные потери кальция и магния наблюдаются в чистых парах, под посевами они снижаются, достигая минимума под многолетними культурами сплошного посева. При прочих равных условиях наиболее значительно (в 1,5—2,0 раза и более) возрастает вымывание кальция при переходе от тяжелых к легким почвам. Поэтому на легких песчаных и супесчаных почвах при возделывании капусты, люцерны, клевера иногда возникает потребность во внесении кальция для улучшения питания им этих культур.

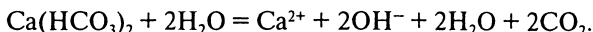
*Магний* входит в состав молекулы хлорофилла (до 10 %), а также фитина и пектиновых веществ. Он содержится в основном в растущих органах и семенах и в отличие от кальция может реутилизироваться (повторно использоваться) в растениях. В семенах его больше, а в листьях меньше, чем кальция, поэтому недостаток его сильнее сказывается на снижении товарной продукции возделываемых культур.

Магний в растениях участвует в передвижении фосфора, активирует некоторые ферменты (фосфатазы), ускоряет синтез углеводов, регулирует окислительно-восстановительные процессы, усиливая восстановление эфирных масел, жиров и других соединений, повышает содержание аскорбиновой кислоты и снижает активность пероксидазы.

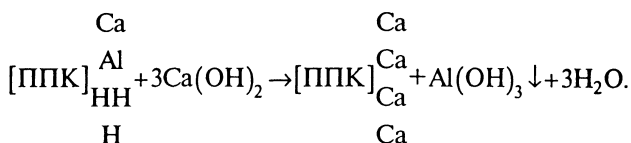
Хозяйственный вынос магния ( $MgO$ ) разными культурами колеблется от 10 до 80 кг/га. Максимальное количество магния выносится с увеличением урожайности картофеля, сахарной и кормовой свеклы, табака, зернобобовых и бобовых трав. Чувствительны к недостатку магния конопля, просо и кукуруза.

Известкование кислых почв повышает обеспеченность растений кальцием и магнием, а благодаря устранению кислотности — дополнительно почвенным азотом, фосфором и молибденом. Практически нерастворимые в воде карбонаты кальция и магния при взаимодействии с угольной кислотой почвенного раствора постепенно превращаются в растворимые бикарбонаты, являю-

щиеся гидролитически щелочными солями:



В почвенном растворе повышается концентрация катионов  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{Mg}^{2+}$ ), которые вытесняют из ППК катионы водорода, алюминия, железа, марганца и нейтрализуют почву:



Карбонаты кальция и магния непосредственно взаимодействуют с гуминовыми, фульвокислотами, аминокислотами и другими органическими и минеральными кислотами почвы и нейтрализуют их:



Таким образом, при внесении в кислую почву полной дозы извести устраняется актуальная и обменная кислотность, значительно снижается гидролитическая кислотность, уменьшается содержание токсичных для растений подвижных форм алюминия, железа и марганца, а также некоторых особо опасных тяжелых металлов (Cd, Pb, As и др.), которые переходят в нерастворимые формы.

Известкование, устраняя кислотность и повышая степень насыщенности основаниями, создает благоприятную среду для роста и питания растений и полезных микроорганизмов. Кальций, коагулируя коллоиды, улучшает структуру, водопрочность, водопроницаемость и аэрированность почвы, уменьшает возможность образования корки, облегчает обработку тяжелосуглинистых и глинистых почв.

Корреляционный анализ по материалам более 500 данных полевых опытов, обобщенных в ВИУА, позволил установить прямую связь в действии и последствии между дозами извести (т  $\text{CaCO}_3/\text{га}$ ) и сдвигами значений pH ( $\Delta\text{pH}$ ): с увеличением доз  $\text{CaCO}_3$  возрастает сдвиг pH. На этой основе разработаны соответствующие рекомендации (таблицы). Действие извести на сдвиг pH почвы достигает максимума в первые два года. В течение пятилетнего периода происходит постепенное подкисление и теряется 29 % достигнутого сдвига в нейтральную область. Через семь-восемь

лет эта потеря достигает 50 % полученного в первые два года уровня рН.

Структура кислотности известкованных почв резко отличается от неизвесткованных: при равных значениях рН в известкованных почвах (когда внесены дозы по полной гидролитической кислотности и выше) длительное время (до достижения исходного значения рН) на крайне низком уровне находятся обменная кислотность и содержание подвижного алюминия при высокой степени насыщенности основаниями. На кислых суглинистых и особенно тяжелосуглинистых по гранулометрическому составу почвах применение полных по гидролитической кислотности доз извести может оказаться недостаточным для достижения оптимальных значений рН, что часто наблюдается в полевых опытах и в производственных посевах.

Не только дозы, но и формы (виды) известковых удобрений неодинаково влияют на динамику величины и структуры кислотности, степень насыщенности ППК основаниями, содержание и подвижные формы кальция, магния и других элементов В длительных исследованиях ВИУА на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве максимальное действие известняковой муки на агрохимические показатели проявилось на второй-третий год, а доломитовой муки — на пятый-шестой год.

Динамика реакция почвы после известкования зависит не только от дозы и формы (вида) мелиоранта, но и от создающегося при этом уровня реакции почвы. Чем выше доза, тем более высоким будет значение рН почвы. Однако чем выше рН при известковании (особенно при  $\text{pH} > 6$ ), тем быстрее происходит последующее подкисление почвы, обусловленное увеличением потерь кальция и магния при внесении очень больших доз мелиорантов. Поэтому известкование чрезмерно большими дозами или «в запас» экономически разорительно, агрономически безрезультативно и экологически вредно, поскольку приводит к усилению потерь кальция, магния и других элементов вследствие вымывания.

#### **4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НУЖДАЕМОСТИ, ДОЗ И МЕСТА ВНЕСЕНИЯ ИЗВЕСТИ В АГРОЦЕНОЗАХ**

Ориентировочно необходимость известкования можно определить по белесому оттенку подзолистого горизонта сильнокислых почв, а также по состоянию роста и развития некоторых сельскохозяйственных культур и сорняков. Изреженные посевы плохо растущих клевера, люцерны, свеклы, озимой пшеницы и других чувствительных к кислотности культур при хорошей агротехнике, а также обилие на полях и лугах хорошо растущих щучки, лютика ползучего, шавелька, торицы полевой, пикульников, белоуса, сит-



ника, багульника и других растений свидетельствуют о повышенной кислотности почвы и необходимости известкования.

Наиболее точно нуждаемость в известковании почвы в агроценозах (севооборотах и при любом чередовании культур) определяется комплексом агрохимических показателей ( $pH_{\text{сол}}$ , степень насыщенности основаниями, содержание органического вещества, подвижных форм алюминия и марганца) с учетом гранулометрического состава почвы. Поскольку при достижении  $pH$  почвы выше 6,0 резко возрастают потери кальция с инфильтрационными водами, при классификации почв по пяти группам (от очень сильно нуждающихся до не нуждающихся в известковании) сотрудники ВИАУ выделили (табл. 36) еще и уровни возможного вредного действия реакции почв (резкого увеличения потерь кальция).

**36. Классификация пахотных почв по степени нуждаемости в известковании (по рекомендации ВИАУ, 1992)**

| Почвы                         | Содержание органического вещества, % | Уровни $pH_{\text{сол}}$ * |     |           |         |                  |     |
|-------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|-----|-----------|---------|------------------|-----|
|                               |                                      | не нуждаются               |     | нуждаются |         | сильно нуждаются |     |
|                               |                                      | 1                          | 1а* | 2         | 3       | 4                | 5   |
| Песчаные                      | < 4                                  | 6,2—5,5                    | 6,3 | 5,4—5,2   | 5,1—4,8 | 4,7—4,3          | 4,2 |
|                               | 4—8                                  | 5,8—5,1                    | 5,9 | 5,0—4,8   | 4,7—4,5 | 4,4—4,1          | 4,0 |
|                               | 8,1—15                               | 5,5—4,8                    | 5,6 | 4,7—4,5   | 4,4—4,2 | 4,1—3,9          | 3,8 |
| Супесчаные и легкосуглинистые | < 4                                  | 6,5—5,8                    | 6,6 | 5,7—5,4   | 5,3—4,9 | 4,8—4,4          | 4,3 |
|                               | 4—8                                  | 6,1—5,4                    | 6,2 | 5,3—5,0   | 4,9—4,6 | 4,5—4,2          | 4,1 |
|                               | 8,1—15                               | 5,7—5,0                    | 5,8 | 4,9—4,6   | 4,5—4,2 | 4,1—3,8          | 3,7 |
| Средние и тяжело-суглинистые  | < 4                                  | 6,8—6,1                    | 6,9 | 6,0—5,6   | 5,5—5,1 | 5,0—4,6          | 4,5 |
|                               | 4—8                                  | 6,3—5,6                    | 6,4 | 5,5—5,2   | 5,1—4,8 | 4,7—4,4          | 4,3 |
|                               | 8,1—15                               | 6,0—5,2                    | 6,1 | 5,1—4,8   | 4,7—4,4 | 4,3—4,0          | 3,9 |
| Глины тяжелые                 | < 4                                  | 7,2—6,4                    | 7,3 | 6,3—5,9   | 5,8—5,4 | 5,3—4,8          | 4,7 |
|                               | 4—8                                  | 6,9—5,9                    | 7,0 | 5,8—5,5   | 5,4—5,1 | 5,0—4,7          | 4,6 |
|                               | 8,1—15                               | 6,5—5,5                    | 6,6 | 5,4—5,1   | 5,0—4,7 | 4,6—4,3          | 4,2 |
| Торфяные                      | > 15                                 | 4,3                        | —   | 4,2—3,9   | 3,8—3,5 | 3,4—3,1          | 3,0 |

\* Уровень возможного вредного действия реакции почв.

По степени насыщенности основаниями ( $V$ ) дополнительно уточняют степень нуждаемости почв в известковании:  $V \leq 50\%$  — сильная,  $V = 51—70$  — средняя,  $V = 71—80$  — слабая,  $V > 80\%$  — отсутствует.

При наличии сведений о содержании в почве подвижных форм алюминия и марганца степень нуждаемости в известковании уточняют и по этим показателям.

Сведения о всех агрохимических показателях, определяющих степень нуждаемости почв в известковании, имеются в почвенных и агрохимических картах (картограммах) и паспортах по-

лей, которые по заявкам землепользователей периодически обновляют подразделения Агрохимической службы Российской Федерации.

В первую очередь известкуют сильно нуждающиеся почвы пятой группы (см. табл. 36). Как правило, это наименее плодородные почвы. Поэтому, если землепользователь по финансово-экономическим причинам не может сразу известковать все имеющиеся площади кислых почв, выгоднее известковать сначала средне- и слабокислые, как правило, более плодородные почвы. Это позволит с меньшими затратами (при меньших дозах извести и удобрений) получать высокие урожаи наиболее ценных (с учетом конъюнктуры рынка) овощных, пропашных, зерновых и других культур.

При определении места внесения извести на выбранной с учетом нуждаемости территории под конкретную культуру севооборота или существующего их чередования необходимо учитывать следующее:

- неодинаковую чувствительность возделываемых культур к кислой реакции почв и содержанию алюминия и марганца;

- период времени от внесения до проявления максимально нейтрализующей способности конкретного вида известковых удобрений;

- организационно-технические возможности своевременного и качественного проведения работ по известкованию.

Если, например, в севообороте или в принятом чередовании пять культур лучше растут и развиваются на близкой к нейтральной, а одна или две — на кислой почве, то известь следует вносить ежегодно только под одну (или две) из имеющихся, учитывая все перечисленные выше условия, чтобы максимально возможно удовлетворить требования всех культур с учетом наиболее подходящего вида извести и организационно-технических возможностей производителя.

Дозы известковых удобрений в России рассчитывают в большинстве случаев по результатам определения гидролитической кислотности почвы методом Каппена. Для нейтрализации 1 мг · экв кислотности в 100 г почвы ( $H_r$ ) нужен 1 мг · экв (или 50 мг)  $CaCO_3$ . Если эту величину умножить на массу пахотного слоя 1 га (в среднем для среднесуглинистых почв  $3 \cdot 10^6$  кг), а для пересчета из миллиграммов в тонны разделить на  $10^9$ , получим полную дозу  $CaCO_3$  ( $D_{CaCO_3}$ ):

$$D_{CaCO_3} = H_r \cdot 50 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 10^6 / 10^9 = 1,5 H_r \text{ т/га.}$$

Если содержание действующего вещества в известковых материалах указано не в виде  $CaCO_3$ , а в форме  $MgCO_3$ ,  $CaO$  и  $Ca(OH)_2$ , то полученную величину (с учетом эквивалентной массы

этих соединений) умножают соответственно на коэффициент 0,84; 0,56; 0,74 и вводят поправку на содержание действующего вещества  $D_{\text{ф}}$  (т/га) в конкретном удобрении:

$$D_{\text{ф}} = D_{\text{д.в.}} \cdot 100 / \%_{\text{д.в. удобрения}}$$

Для дерново-подзолистых и серых лесных почв России на основании математической обработки результатов многочисленных почвенных образцов установлена зависимость между величинами pH и гидролитической кислотности ( $H_r$ ). Это позволило разработать для каждого природного региона полные дозы известковых удобрений с учетом гранулометрического состава. В качестве примера приведем данные (табл. 37) для Московской области.

**37. Дозы извести (т  $\text{CaCO}_3$ /га) для почв Московской области с содержанием гумуса  $\leq 3$  % (по рекомендациям ВИУА, 1992)**

| Почвы             | Основное известкование |         |         | Поддерживающее известкование |         |         |         |
|-------------------|------------------------|---------|---------|------------------------------|---------|---------|---------|
|                   | первое                 |         |         | второе                       |         | третье* |         |
|                   | рН <sub>пол</sub>      |         |         |                              |         |         |         |
|                   | < 4,1                  | 4,1—4,2 | 4,5—4,6 | 4,9—5,0                      | 5,3—5,4 | 5,7—5,8 | 5,9—6,0 |
| Песчаные          | 5,5                    | 5,0     | 4,0     | 3,5                          | 2,5     | 2,0     | —       |
| Супесчаные        | 6,5                    | 6,0     | 5,0     | 4,0                          | 3,0     | 2,5     | —       |
| Легкосуглинистые  | 8,0                    | 7,5     | 6,5     | 6,0                          | 5,0     | 3,5     | 2,5     |
| Среднесуглинистые | 8,5                    | 8,0     | 7,0     | 6,5                          | 5,5     | 4,5     | 4,0     |
| Тяжелосуглинистые | 13,0                   | 11,0    | 9,0     | 7,5                          | 6,5     | 5,0     | 4,5     |
| Глинистые         | 14,0                   | 13,0    | 10,0    | 8,0                          | 7,0     | 6,0     | 5,5     |

\*Известкование почв с pH  $\geq 6,1$  запрещается.

Торфяно-болотные почвы, обладая высокой буферностью и, как правило, незначительным содержанием подвижного алюминия при pH<sub>сол</sub> 5,0, в известковании не нуждаются. Дозы извести ( $\text{CaCO}_3$ ) определяют с учетом обменной (pH<sub>сол</sub>), гидролитической ( $H_r$ ) кислотности и степени насыщенности основаниями (I), а также массы пахотного слоя (табл. 38).

**38. Дозы извести (т/га) в зависимости от кислотности торфяно-болотных почв (по рекомендациям ВИУА, 1992)**

| pH <sub>сол</sub> | $H_r$ , мг · экв/100 г |       | Дозы $\text{CaCO}_3$ при массе 20-сантиметрового пахотного слоя |            |
|-------------------|------------------------|-------|---|------------|
|                   |                        |       | < 500 т/га  | > 500 т/га |
| < 3,9             | > 100                  | < 25  | 10—12   | 12—16      |
| 3,9—4,3           | 100—60                 | 25—50 | 4,0—6,0   | 6,0—8,0    |
| 4,3—4,7           | 60—40                  | 55—65 | 2,5—4,0   | 3,5—5,0    |
| 4,7—5,0           | 40—30                  | 65—75 | 1,0—2,0   | 2,0—3,0    |
| > 5,0             | < 30                   | > 75  | Не нуждаются  |            |

В последние годы в России все чаще применяют (наряду с изложенными методами) метод расчета доз извести по нормативам ее затрат на смещение величины  $pH_{\text{кол}}$ . Этот же метод используется для определения потребности в известковых материалах по регионам и России в целом. Метод основан на зависимости изменения  $pH_{\text{кол}}$  от доз известковых удобрений в конкретных почвенно-климатических условиях. В ВИУА, например, при обобщении результатов 575 полевых опытов получены следующие зависимости для дерново-подзолистых и серых лесных почв с содержанием гумуса менее 3 % (табл. 39).

**39. Влияние возрастающих доз извести и затрат ее (т/га) на смещение реакции ( $pH_{\text{кол}}$ ) дерново-подзолистых и серых лесных почв (обобщение Шильникова)**

| Доза $CaCO_3$ ,<br>т/га | Почвы с содержанием гумуса менее 3 % |  |                   |  |                   |  |
|-------------------------|--------------------------------------|--|-------------------|--|-------------------|--|
|                         | супесчаные                           |  | суглинистые       |  | тяжелосуглинистые |  |
|                         | общий<br>сдвиг pH                    | затраты<br>$CaCO_3$ для<br>сдвига на<br>0,1 pH | общий<br>сдвиг pH | затраты<br>$CaCO_3$ для<br>сдвига на<br>0,1 pH | общий<br>сдвиг pH | затраты<br>$CaCO_3$ для<br>сдвига на<br>0,1 pH |
| 3                       | 0,75                                 | 0,40   | 0,57              | 0,53   | 0,32              | 0,94   |
| 4                       | 0,97                                 | 0,41   | 0,72              | 0,55   | 0,44              | 0,91   |
| 5                       | 1,16                                 | 0,43   | 0,85              | 0,59   | 0,55              | 0,91   |
| 6                       | 1,34                                 | 0,45   | 0,96              | 0,62   | 0,64              | 0,94   |
| 7                       | 1,50                                 | 0,47   | 1,07              | 0,65   | 0,73              | 0,96   |
| 8                       | 1,64                                 | 0,49   | 1,17              | 0,68   | 0,81              | 0,99   |
| 9                       | 1,76                                 | 0,51   | 1,26              | 0,71   | 0,89              | 1,01   |
| 10                      | 1,86                                 | 0,54   | 1,35              | 0,74   | 0,97              | 1,03   |
| 11                      | 1,95                                 | 0,56   | 1,43              | 0,77   | 1,03              | 1,07   |
| 12                      | 2,02                                 | 0,59   | 1,51              | 0,79   | 1,10              | 1,09   |

На практике дозы  $CaCO_3$  (т/га) рассчитывают по формуле

$$D_{CaCO_3} = \Delta pH \cdot A \cdot 10,$$

где  $\Delta pH$  — планируемый сдвиг pH;  $A$  — затраты  $CaCO_3$  для сдвига на 0,1 pH, т/га; 10 — коэффициент для пересчета в т/га.

Ориентировочные дозы извести можно определять и по величине  $pH_{\text{кол}}$  с учетом гранулометрического состава почв (табл. 40).

**40. Дозы  $CaCO_3$  (т/га) в зависимости от pH и гранулометрического состава почвы при содержании органического вещества менее 3 % (по рекомендациям ВИУА)**

| Почвы                         | $pH_{\text{кол}}$ |     |     |     |     |         |
|-------------------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|---------|
|                               | ≤4,5              | 4,6 | 4,8 | 5,0 | 5,2 | 5,2—5,4 |
| Супесчаные и легкосуглинистые | 4,0               | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 2,0     |
| Средне- и тяжелосуглинистые   | 6,0               | 5,5 | 5,0 | 4,5 | 4,0 | 3,5     |

Выбор того или иного метода для определения доз известковых удобрений зависит от уровня квалификации специалистов и материально-технической обеспеченности землепользователей в конкретных природно-экономических условиях.

#### 4.4. БАЛАНС КАЛЬЦИЯ И СПОСОБЫ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Баланс кальция служит теоретическим обоснованием степени удовлетворения (обеспеченности кальцием) потребностей растений и почв в известковых удобрениях, а также оценок интенсивности и результативности известкования почв и прогнозов возможных изменений реакции почвенной среды.

По анализу приходных и расходных статей баланса кальция известкование почв подразделяют на *основное (мелиоративное)*, обеспечивающее сдвиг реакции до оптимального уровня pH, и *поддерживающее*, компенсирующее потери кальция из почв и стабилизирующее достигнутый уровень реакции.

Даже в сильнокислых почвах содержание обменного кальция, как правило, значительно превышает потребности культур в этом элементе и при высоких урожаях, а рост и развитие их сильно угнетены неблагоприятной реакцией. Поэтому в статьях прихода баланса кальция следует учитывать прежде всего только влияющие на реакцию почвы его соединения: все известковые удобрения, фосфоритную муку, навоз и высокозольный низинный торф (и компосты на их основе), цианамид кальция, кальциевую селитру и др. В приходные статьи можно включать при наличии соответствующих многолетних данных и выпадающий из атмосферы с осадками и пылью кальций, количество которого в Московской и Калужской областях (по данным ВИУА) составляет 40—70 кг/га. Однако в анионном составе атмосферных осадков много сульфата, что и обуславливает в большинстве случаев кислую реакцию осадков, которые могут даже ускорить подкисление почв. В таких случаях следует учитывать и кальций, и кислоты или воздержаться от учета этой статьи баланса, особенно если соотношение кальция и кислот в осадках близко к эквивалентному, обеспечивающему взаимную нейтрализацию.

Среди статей расхода преобладают следующие: выщелачивание (вымывание) кальция осадками и хозяйственный вынос его возделываемыми культурами. Вымывание кальция из почвы значительно возрастает при внесении минеральных, особенно физиологически подкисляющих форм (азотные, калийные), удобрений. Поэтому при отсутствии данных об увеличении потерь кальция от количества и качества применяемых минеральных удобрений в статьи расхода следует включать количество кальция, необходимое для устранения подкисляющего (суммарного за ротацию сев-

оборота) действия конкретных форм азотных и калийных удобрений. Для нейтрализации 100 кг различных удобрений требуется следующее количество  $\text{CaCO}_3$  (кг):  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  — 75, жидкого аммиака — 150,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  — 120—170,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  — 140,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  — 80,  $\text{KCl}$  — 50. Применение кислых (верховых и переходных) торфов в качестве органических удобрений — дополнительная статья расхода в балансе кальция.

Результаты баланса кальция являются важнейшим показателем степени стабилизации почвенной кислотности на оптимальном уровне и указывают на необходимость и сроки проведения поддерживающего известкования в каждом конкретном агроценозе. Кроме того, они служат также теоретически обоснованным методом определения доз извести при поддерживающем известковании почв под отдельными культурами различных агроценозов.

Полные дозы извести (по гидролитической кислотности, желаемому балансу или на сдвиг pH) в зависимости от экономических возможностей вносят сразу под определенную культуру севооборота (или принятого их чередования) или в несколько приемов. При разовом внесении всей дозы достигается наиболее быстрая и полная нейтрализация кислотности пахотного горизонта почвы на длительный период (4—5 и более лет) и обеспечивается получение максимальных прибавок урожая возделываемых культур. Полные дозы извести особенно необходимы при возделывании чувствительных к кислотности культур на сильно-, средне- и слабокислых почвах, а также при углублении пахотного слоя слабокультуренных кислых почв.

По финансово-экономическим соображениям полные дозы можно уменьшить на 25 и 50 %, причем половинная доза позволит вдвое увеличить известкуемую площадь; прибавки урожаев культур при этом будут на 20—50 % ниже, но суммарный экономический эффект может быть не меньше, если не больше. В первые годы разница в эффективности полных и половинных доз относительно небольшая, однако через 3—5 лет на половинных дозах она снижается в 2 раза и более.

При очень ограниченных финансово-экономических ресурсах возможно внесение 20—25 % полной дозы извести (0,5—1,0 т/га), однако применять ее следует при посеве или посадке чувствительных к кислотности культур. Такие дозы снижают кислотность только прикорневой зоны почвы и обеспечивают прибавку урожая только той культуры, под которую вносятся, поэтому их приходится применять 4—5 раз за ротацию севооборота. При этом уменьшение кислотности всего пахотного слоя отодвигается на длительный период и, следовательно, работы по известкованию становятся более трудоемкими.

Полные и половинные по гидролитической кислотности дозы извести следует вносить под основную обработку почвы осенью или весной под перепахку зяби.

При сочетании под одной культурой известкования с фосфорированием почв фосфоритную муку лучше внести осенью под основную обработку, а известь — весной под перепаху или культивацию зяби.

В полевых севооборотах с зерновыми культурами и многолетними травами (клевер, смесь клевера со злаковыми травами) лучшей для внесения извести является покровная культура для подсева трав.

В севооборотах с картофелем снижение полных доз извести на 20—25 % целесообразно только на песчаных и супесчаных почвах при насыщенности посевов картофелем 40 % и более, причем преимущество имеют магнийсодержащие известковые материалы: доломитовая мука, доломитизированные и магнизальные известняки. Для предотвращения заболеваний клубней паршой известь следует вносить под картофель перед его посадкой.

В севооборотах со льном-долгунцом повышать pH почвы более 6,0 не рекомендуется, а оптимальные значения pH для него в супесчаных разностях 5,0—5,5, легко- и среднесуглинистых 5,3—5,8, тяжелосуглинистых и глинистых 5,5—6,0. При внесении полных доз извести под лен или под другие культуры нужно повышать дозы калийных удобрений, применять борные, а при необходимости и марганцевые удобрения.

В кормовых севооборотах, где обычно возделывают особенно чувствительные к кислотности культуры (кормовые корнеплоды, клевер, люцерна и др.), необходимо применять полные или полуторные по гидролитической кислотности дозы извести и периодически проводить поддерживающие известкования.

В овощных севооборотах следует также вносить полные или полуторные (на тяжелых почвах) по гидролитической кислотности дозы извести и систематически проводить поддерживающие известкования. Наиболее эффективны здесь известково-силикатные (сланцевая зола, цементная пыль) и магнизально-известковые (доломитовая мука и др.) материалы. При их отсутствии эффективна и известковая мука.

Луговые травы по чувствительности к кислотности подразделяют на три группы: наиболее чувствительные — люцерна, донник, эспарцет; чувствительные — клевер луговой, гибридный и ползучий; умеренно чувствительные — овсяница, лисохвост, костер безостый, тимopheевка.

Дозы извести на лугах и пастбищах при залужении или пересевах трав практически не отличаются от доз для пахотных почв полевых севооборотов, но вносить их следует послойно: одну половину под основную (плуг) обработку, другую — под предпосевную (дискование). На угодьях с дерниной небольшой мощности известь вносят поверхностно с последующей заделкой дисками или фрезами.

Несмотря на 25—40%-ное уменьшение вымывания кальция на

лугах и пастбищах (120—140 кг  $\text{CaCO}_3/\text{га}$ ) по сравнению с пахотными почвами, травы из-за ежегодно высокого хозяйственного выноса кальция (100—120 кг  $\text{CaCO}_3/\text{га}$ ) нуждаются в поддерживающем известковании.

Другой причиной быстрого восстановления кислотности известкованных почв на долголетних культурных лугах и пастбищах (ДКП) является применение под злаковые травы высоких (до 240—360 кг/га) доз азотных удобрений, для ежегодной нейтрализации которых требуется 500—700 кг  $\text{CaCO}_3/\text{га}$ .

При краткосрочной (пять-шесть лет) эксплуатации лугов и пастбищ поддерживающее известкование (как и фосфоритование, внесение органических удобрений) следует проводить в период их ремонтов (перезалужений). При более длительной (десять лет и более) интенсивной эксплуатации этих угодий повторное известкование (через пять-шесть лет) проводят после скашивания и стравливания в течение вегетационного периода с заделкой известки дисками или фрезами.

Известковать кислую почву нужно и при закладке садов и ягодников полными дозами известки с учетом углубления (до 35—40 см в садах) пахотного горизонта и требований высаживаемых культур. Под яблоню, грушу, сливу, вишню, смородину на суглинистых почвах с сильно- и среднекислым значением pH рекомендуется не менее 6—8 т  $\text{CaCO}_3/\text{га}$ , а на легких и слабокислых — 4—6 т  $\text{CaCO}_3/\text{га}$ , для малины и крыжовника — соответственно по 3—4 и 2—3 т  $\text{CaCO}_3/\text{га}$ .

Если перед закладкой садов и ягодников почву слабо или вообще не известковали, известь можно внести, смешивая с почвой, в посадочные ямы: под сливу и вишню — 3—5 кг, яблоню и грушу — 2—3 кг, крыжовник — 0,1—0,2 кг  $\text{CaCO}_3$ . Под взрослые плодовые культуры, если почву не известковали, известь можно внести под перекопку приствольных кругов в дозах, рекомендуемых при посадке.

#### 4.5. ИЗВЕСТКОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Известковые удобрения подразделяют на три группы: промышленного производства, получаемые размолом твердых карбонатных пород (известняковая и доломитовая мука); отходы промышленности, богатые известью (металлургические шлаки, цементная пыль, дефека́т, сланцевая зола и др.); местные удобрения из рыхлых (мягких) карбонатных пород (туф, гаж, мергель и др.), обычно не нуждающиеся в размолу.

Твердые карбонатные породы по содержанию кальция и магния называют известняком (50—56 %  $\text{CaO}$ , 0,9 %  $\text{MgO}$ ), доломитизированным известняком (42—55 %  $\text{CaO}$ , 0,9—9,0 %  $\text{MgO}$ ) или доломитом (30—32 %  $\text{CaO}$ , 18—20 %  $\text{MgO}$ ). По содержанию приме-



сей (глина, песок и др.) до 5 % породу (доломит, известняк) называют чистой, при 5—25 % — мергелистой или песчанистой, при 25—50 % — мергелевой или песчаной. Применение в качестве сырья и удобрений пород с примесями более 15—20 % целесообразно только при отсутствии более чистых материалов.

Известняки состоят в основном из карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$  и часто обогащены (до 10—15 %  $\text{MgO}$ ) карбонатом магния. Наличие  $\text{MgCO}_3$  уменьшает растворимость и повышает твердость доломитизированных известняков. Белый, серый, желтоватый и коричневый цвета известняков обусловлены составом и содержанием имеющихся примесей (органических веществ, различных форм железа, марганца и др.).

Доломиты (чистые) также состоят из карбоната кальция (54,4 %  $\text{CaCO}_3$ ) с наибольшей долей (45,6 %) карбоната магния.

Наиболее мягким из твердых карбонатных пород является мел, который содержит до 55 %  $\text{CaO}$  и только до 0,6 %  $\text{MgO}$ , наиболее легко размалывается и несколько более эффективен, чем известняк, особенно в первые годы после внесения.

**Известняковая (доломитизированная) и доломитовая мука.** Получается при дроблении и размоле известняков и доломитов. В России (в соответствии с ГОСТ 14050—78) производят известняковую муку двух классов и двух сортов, причем для каждого из них в пылящей (влажность до 1,5 %) и слабопылящей (4—6 % влаги) формах. Сорта различаются по нейтрализующей способности — I сорт не менее 88 %, II сорт не менее 85 %  $\text{CaCO}_3$ , и гранулометрическому составу — первый класс имеет более тонкий помол, чем второй. Классы в пределах сортов отличаются только по гранулометрическому составу — второй класс более тонкого помола, чем первый, по фракциям: < 0,25 мм на 5—10 %, < 1 мм на 3—10 %.

Данные полевых опытов в среднем за пять лет, обобщенные в ВИУА, показали, что наиболее эффективна тонко размолотая (менее 0,25 мм) фракция известняковой муки (табл. 41).

**41. Эффективность фракций известняковой муки различного гранулометрического состава (по рекомендациям ВИУА, 1992)**

| Фракция, мм | Средняя ежегодная прибавка урожая |     |
|-------------|-----------------------------------|-----|
|             | т корм. ед./га                    | %   |
| < 0,25      | 1,66                              | 100 |
| 0,25—1,0    | 1,48                              | 89  |
| 1,0—3,0     | 0,94                              | 57  |

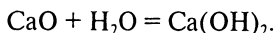
Снижение эффективности известняковой муки с изменением гранулометрического состава (увеличением содержания крупных частиц > 0,25 мм) значительно возрастает при переходе от чистых известняков к более доломитизированным, т. е. с повышением твердости размалываемых пород.

**Отходы промышленности.** В качестве известковых удобрений по общим объемам применения в России они занимают второе место, а по эффективности часто не уступают известняковой муке. Экономически использование отходов промышленности часто более выгодно (отсутствуют расходы на добычу, а иногда и на размол), а экологически более целесообразно (если они не содержат опасных примесей), чем промышленных известковых удобрений.

**Жженая известь.** Получается при обжиге карбонатных пород:



При длительном открытом хранении оксиды, взаимодействуя с водой, образуют гидроксиды — гашеную известь, пушонку:



Растворимость  $\text{Ca(OH)}_2$  в 100 раз больше, чем  $\text{CaCO}_3$  [ $\text{Mg(OH)}_2$  в воде практически нерастворим], поэтому в первые годы гашеная известь гораздо эффективнее, чем известняковая мука, но в последующем действие их выравнивается, а длительность последней короче в результате более быстрого вымывания кальция.

Гашеная известь как отход производства получается на известковых заводах и при производстве хлорной извести. По нейтрализующей способности 1 т  $\text{Ca(OH)}_2$  эквивалентна 1,35 т  $\text{CaCO}_3$ .

**Сланцевая зола.** Получается при сжигании горючих сланцев на предприятиях и электростанциях, содержит 30—40 %  $\text{CaO}$ , 1,5—3,8 %  $\text{MgO}$ , а также небольшое количество калия, натрия, фосфора, серы и некоторые микроэлементы. В соответствии с ТУ 46-7—71 сланцевая зола по нейтрализующей способности должна соответствовать не менее 60 %  $\text{CaCO}_3$ , содержать не более 2 % влаги, по гранулометрическому составу 97 % ее массы должны быть менее 1 мм. Большая часть кальция и магния в золе находится в виде менее растворимых, чем  $\text{CaCO}_3$ , кремнекислых формах, поэтому нейтрализация кислотности почв при ее внесении происходит медленнее. Даже в высоких дозах (20 т/га) зола положительно влияет на культуры, боящиеся избытка кальция (лен, картофель и др.).

**Дефекат.** Это отходы свеклосахарных заводов, содержащие  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Ca(OH)}_2$ , а также в небольших количествах органическое вещество, азот, фосфор, калий и микроэлементы. В соответствии с ТУ 570—74 дефекат первого класса по нейтрализующей способности соответствует содержанию  $\text{CaCO}_3$  не менее 60 % и влаги не более 20 %, второго класса — не менее 40 %  $\text{CaCO}_3$  и не более 30 % влаги. Сухой дефекат (20—30 % влажности) сыпучий и содержит 10—15 % органического вещества, 0,2—0,7 % азота, 0,2—0,9  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 0,3—1,0 %  $\text{K}_2\text{O}$ . Поэтому для всех культур при внесении в эквивалентных по  $\text{CaO}$  количествах дефекат значительно превосходит по эффективности известняковую муку.

**Шлаки сталеплавильные** (мартеновские, электросталеплавильные, доменные). В соответствии с ЧМТУ 11-37—69 по нейтрализующей способности они должны содержать не менее 80 %  $\text{CaCO}_3$ , иметь влажность не более 2 %, гранулометрический состав: 70 % массы имеет размер менее 0,25 мм, 90 % — менее 0,5 мм. Большая часть кальция в шлаках содержится в виде силикатов ( $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), менее растворимых, чем  $\text{CaCO}_3$ , поэтому тонина размола здесь еще более важна. Наряду с кальцием, магнием, кремнием шлаки содержат фосфор, марганец, серу и другие элементы. По этим причинам эффективность шлаков нередко оказывается даже выше эквивалентных доз по  $\text{CaO}(\text{CaCO}_3)$  известняковой и доломитовой муки. Кроме того, содержащаяся в шлаках кремниевая кислота усиливает химическое связывание подвижного алюминия, что косвенно способствует увеличению содержания подвижных форм фосфора в почве.

**Белитовая мука.** Это отходы (шлам) при производстве алюминия. Она содержит 45—50 %  $\text{CaO}$ , 25 ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ), до 30  $\text{SiO}_2$ , 3,4 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а также небольшое количество фосфора, серы и некоторых микроэлементов. По гранулометрическому составу 50 % массы имеет размер меньше 0,15 мм, а 90 % — меньше 1 мм. По эффективности не уступает другим шлакам.

Многие другие отходы различных производств (доломитовая мука и цементная пыль, отходы целлюлозно-бумажных комбинатов и фабрик, содовых, мыловаренных, кожевенных и других производств), содержащие кальций в форме оксидов, гидроксидов, солей слабых кислот, при отсутствии в них опасных примесей могут быть применены в качестве известковых удобрений.

**Местные известковые удобрения.** Состоят из рыхлых (мягких) карбонатных пород, по объемам применения в России занимают третье место. Они не требуют размола, быстрее действуют и более эффективны, чем молотые известняки. Многие местные залежи таких пород находятся в зонах распространения кислых почв, поэтому использование их для известкования близлежащих полей агрономически и экономически выгодно. Различия в эффективности крупных и мелких фракций гранулометрического состава мягких пород выражены гораздо слабее, чем твердых. По данным ВИУА, за 11 лет все фракции мельче 3 мм оказывали примерно одинаковое влияние на урожаи возделываемых культур.

**Известняковые туфы** (ключевая известь). Содержат от 70 до 90—98 %  $\text{CaCO}_3$  с органическими и минеральными примесями, встречаются в притеррасных поймах, в местах выхода ключей. По внешнему виду это рыхлая, пористая, легко рассыпающаяся масса обычно серого, нередко ржавого, бурого и темного цветов. Известняковые туфы, содержащие не более 30 % влаги, 85 % массы которых мельче 5 мм, разделяют по содержанию  $\text{CaCO}_3$  на первый (> 80 %) и второй (70—80 %) сорта.

**Озерная известь (гажа).** При влажности не более 30 % может содержать 60—95 %  $\text{CaCO}_3$  и примеси разных элементов, органических веществ. Залежи ее находят в высохших водоемах или собирают при очистке дна существующих водоемов и подсушивают. Гажа имеет мелкозернистое сложение, легко рассыпается и является высокоэффективным известковым удобрением.

**Торфотуфы.** Это богатые известью низинные торфа, содержат 10—20, иногда до 50 %  $\text{CaCO}_3$ . Ценное известково-органическое удобрение, наиболее эффективное на бедных органическими веществами, нуждающихся в известковании почвах. К сожалению, они малорентабельны, поэтому их лучше применять на близлежащих к месторождениям полях.

**Мергель.** Содержит 25—50 %  $\text{CaCO}_3$ , не менее 1  $\text{MgCO}_3$  и 25 % примесей песка, глины и др. Залежи его встречаются в виде рыхлых и плотных масс. Плотный мергель целесообразно на зиму вывозить на поля и размещать небольшими кучками, которые под влиянием смены температуры и влажности к весне рассыпаются на мелкие частицы и после заделки в почву по эффективности не уступают известняковой муке.

**Доломитовая природная мука.** При влажности не более 12 % содержит 80 % (и более) карбонатов в пересчете на  $\text{CaCO}_3$  и состоит из карбонатов кальция и магния с разными примесями. По гранулометрическому составу она обычно представляет массу 50—70 % < 0,25 мм и не менее 85 % < 5 мм. Это очень ценное известковое удобрение, которое благодаря содержащемуся магнию может быть гораздо эффективнее известняковой муки на почвах легкого гранулометрического состава.

#### 4.6. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПОЧВ

Качественное известкование нуждающихся в нем почв — первейший и обязательный элемент системы удобрения агроценозов. Его следует проводить на основании проектно-сметной документации, которая разрабатывается проектно-изыскательными центрами (станциями) химизации и другими организациями по заявкам землепользователей.

Специалисты Агрохимслужбы и хозяйств организуют и осуществляют контроль за качеством известковых материалов, их хранением и применением. Высокая эффективность известкования достигается только при строгом соблюдении (и соответствующем контроле) всесторонне обоснованных технологий известкования: места, дозы, сроков и способов внесения извести в каждом агроценозе с учетом агрохимических свойств почв, биологических особенностей и существующего чередования культур, качества и формы известковых материалов и материально-технической обеспеченности этих работ.

Эффективность известкования, по обобщенным ВИУА результатам 2300 учетов под отдельными культурами и в агроценозах, возрастает с переходом от слабо- к средне- и сильнокислым почвам и на почвах с одинаковой кислотностью с увеличением доз извести (табл. 42).

**42. Средние ежегодные прибавки урожайности (т/га) культур на разных по кислотности дерново-подзолистых почвах в зависимости от доз извести (по рекомендациям ВИУА, 1992)**

| Культура                           | pH <sub>сод</sub> | Дозы CaCO <sub>3</sub> , т/га |      |      |      |
|------------------------------------|-------------------|-------------------------------|------|------|------|
|                                    |                   | 2—4                           | 4—6  | 6—8  | > 8  |
| Озимая пшеница                     | < 4,5             | 0,39                          | 0,46 | 0,55 | 0,66 |
|                                    | 4,6—5,0           | 0,27                          | 0,40 | 0,46 | 0,50 |
|                                    | 5,1—5,5           | 0,10                          | 0,15 | 0,20 | 0,25 |
| Ячмень                             | < 4,5             | 0,36                          | 0,40 | 0,45 | 0,51 |
|                                    | 4,6—5,0           | 0,30                          | 0,36 | 0,41 | 0,44 |
|                                    | 5,1—5,5           | 0,14                          | 0,18 | 0,20 | 0,20 |
| Озимая рожь                        | < 4,5             | 0,20                          | 0,23 | 0,34 | 0,38 |
|                                    | 4,6—5,0           | 0,17                          | 0,20 | 0,24 | 0,28 |
|                                    | 5,1—5,5           | 0,05                          | 0,10 | 0,12 | 0,12 |
| Овес                               | < 4,5             | 0,20                          | 0,23 | 0,26 | 0,29 |
|                                    | 4,6—5,0           | 0,17                          | 0,20 | 0,22 | 0,25 |
|                                    | 5,1—5,5           | 0,05                          | 0,10 | 0,12 | 0,12 |
| Яровая пшеница                     | < 4,5             | 0,20                          | 0,24 | 0,26 | 0,28 |
|                                    | 4,6—5,0           | 0,10                          | 0,15 | 0,20 | 0,20 |
|                                    | 5,1—5,5           | 0,05                          | 0,08 | 0,08 | 0,10 |
| Многолетние травы (сено)           | < 4,5             | 1,8                           | 2,5  | 2,7  | 3,0  |
|                                    | 4,6—5,0           | 1,2                           | 1,5  | 1,8  | 2,0  |
|                                    | 5,1—5,5           | 0,9                           | 1,2  | 1,3  | 1,5  |
| Однолетние травы (сено)            | < 4,5             | 1,2                           | 1,4  | 1,6  | 1,6  |
|                                    | 4,6—5,0           | 0,6                           | 0,8  | 1,0  | 1,0  |
|                                    | 5,1—5,5           | 0,5                           | 0,8  | 0,8  | 0,8  |
| Кормовые корнеплоды                | ≤ 4,5             | 6,0                           | 9,0  | 2,0  | 14,0 |
|                                    | 4,6—5,0           | 2,0                           | 4,0  | 5,0  | 6,0  |
|                                    | 5,1—5,5           | 1,0                           | 1,5  | 1,5  | 1,5  |
| Картофель                          | ≤ 4,5             | 1,0                           | 1,4  | 1,8  | 2,0  |
|                                    | 4,6—5,0           | 1,3                           | 1,7  | 1,7  | 1,0  |
|                                    | 5,1—5,5           | 0,5                           | 0,5  | 0,5  | —    |
| Лен (соломка)                      | ≤ 4,5             | 0,14                          | 0,21 | 0,26 | 0,30 |
|                                    | 4,6—5,0           | 0,18                          | 0,20 | 0,22 | 0,22 |
| Капуста кочанная                   | 4,6—5,0           | 4,0                           | 4,4  | 4,1  | 3,9  |
| Бобово-злаковые сеяные луга (сено) | ≤ 4,5             | 1,0                           | 1,5  | 1,8  | 2,0  |
|                                    | 4,6—5,0           | 0,6                           | 0,8  | 1,3  | —    |
| Естественные луга (сено)           | ≤ 4,5             | 0,3                           | 0,4  | 0,4  | —    |
|                                    | 4,6—5,0           | 0,2                           | 0,2  | —    | —    |

Известкование улучшает и качество получаемой продукции: повышается содержание сахаров в корнеплодах, жира и белка в семенах, каротина и аскорбиновой кислоты в овощах и травах, улучшаются посевные качества семян.

Известкование должно предшествовать (или сочетаться) внесению органических и минеральных удобрений, так как это резко

повышает их взаимную эффективность. Под влиянием извести ускоряются процессы минерализации питательных элементов органических удобрений, использование их растениями и, следовательно, одновременно усиливается положительное влияние вносимой извести на свойства почвы и растения. Сочетание извести с органическими удобрениями нередко позволяет вдвое уменьшить их дозу без существенного снижения эффективности под первой культурой и тем самым вдвое увеличить удобряемую площадь. Эффективность минеральных удобрений (особенно их физиологически кислых форм) на фоне извести возрастает в 2—3 раза и более. Причем прибавки урожаев при совместном применении извести и минеральных удобрений, как правило, выше суммы прибавок при их раздельном применении.

Результаты многочисленных полевых опытов показывают, что известкование кислых почв экономически очень выгодно, а все затраты на известкование в зависимости от состава культур, доз извести и удобрений окупаются прибавками уже первых урожаев одной, двух или максимум трех культур.

Среднегодовая прибавка продуктивности культур на супесчаной почве в длительном опыте в зависимости от доз извести (0,5—2,5 Н<sub>2</sub>) составила 0,31—0,7 т зерновых единиц с 1 га. Чистый доход возрастал уменьшающимися темпами с увеличением доз извести и минеральных удобрений, а окупаемость каждого рубля затрат при этом снижалась, но максимальной была при дозах извести 0,5—1,5 Н<sub>2</sub>.

В другом длительном опыте на легкосуглинистой почве (по данным ВИУА) максимальную среднегодовую за 9 лет прибавку продуктивности (9,6 ц зерн. ед. с 1 га) обеспечила доза извести, равная 1,5 Н<sub>2</sub>, а окупаемость рубля затрат на известкование с увеличением доз (0,5—1,5 Н<sub>2</sub>) извести снижалась с 4,0 до 1,8 руб.

Поддерживающее известкование слабокислых почв также экономически выгодно. При возрастании доз извести с 2,1 до 6,3 т/га окупаемость каждого рубля затрат по севообороту в среднем за 11 лет составила 3,9—3,6 руб.

Доля участия отдельных культур в окупаемости поддерживающего (повторного) известкования показана в таблице 43.

**43. Окупаемость 1 руб. затрат поддерживающего известкования прибавками урожая отдельных культур (ВИУА, 1992), руб.**

| Культура                       | Дозы СаСО <sub>3</sub> , т/га |     |     |     |
|--------------------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|
|                                | 2,1                           | 4,2 | 6,3 | 8,4 |
| Ячмень                         | 4,9                           | 4,0 | 3,5 | 2,6 |
| Клевер (1-го года пользования) | 1,4                           | 1,6 | 1,7 | 1,5 |
| Клевер (2-го года пользования) | 0,9                           | 0,9 | 0,7 | 0,6 |
| Лен                            | 3,5                           | 3,5 | 3,4 | 3,1 |
| Овес                           | 4,1                           | 3,3 | 2,3 | 1,7 |
| Картофель                      | 5,3                           | 5,2 | 5,2 | 4,9 |
| Рожь озимая                    | 2,1                           | 0,5 | 2,5 | 1,5 |

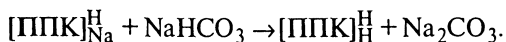
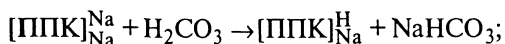
С учетом конъюнктуры рынка в новых экономических условиях в отдельных регионах России фактические величины чистого дохода, рентабельности, окупаемости затрат при известковании под отдельными культурами, естественно, могут сильно отличаться от приведенных ранее. Несомненно, одно — каждый производитель сельскохозяйственной продукции должен знать, что известкование почв, нуждающихся в этом мероприятии, — первейший и обязательный элемент системы удобрения при любых экономических условиях хозяйствования.

#### 4.7. ГИПСОВАНИЕ СОЛОНЦЕВАТЫХ И СОЛОНЦОВЫХ ПОЧВ

*Гипсование* — химическая мелиорация с помощью гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) солонцовых почв, имеющих высокую долю натрия в ППК и щелочную реакцию, что и обуславливает неблагоприятные физические, химические, физико-химические и биологические свойства и низкое плодородие почв. По доле натрия в ППК почвы подразделяют на слабосолонцеватые (5—10 %), солонцеватые (10—20 %) и солонцы (более 20 %); концентрация водорастворимых солей в солонцах обычно не более 0,25 % от их массы.

Пептизированные натрием органические и минеральные коллоиды вымываются из верхних в нижние слои почвы и образуют плотный солонцовый горизонт. По глубине залегания солонцового горизонта выделяют мелкие, или корковые (не более 7 см от поверхности почвы), среднестолбчатые (на глубине 7—15 см) и глубокостолбчатые (глубже 15 см) разности солонцов. Солонцы отличаются неблагоприятным водно-воздушным режимом: при увлажнении солонцовый горизонт набухает, становится практически водонепроницаемым, очень вязким, а при подсыхании превращается в твердую плотную массу. Все это служит серьезной преградой для корней растений и не поддается механической обработке.

Натрий, поглощенный ППК, вытесняется угольной кислотой или ее солями; при этом образуются карбонаты и гидрокарбонаты, гидrolитически щелочные соли натрия, которые и создают повышенную щелочность ( $\text{pH} \geq 9$ ) почвенного раствора:



Щелочная реакция неблагоприятна для большинства сельскохозяйственных культур и почвенных микроорганизмов и снижает растворимость и доступность растениям фосфора, железа, марганца, бора. Поэтому без нейтрализации щелочности урожаи культур на таких почвах очень низкие и плохого качества.

Солонцы размещаются пятнами различного размера (от не-

скольких до сотен метров в поперечнике) среди преобладающих зональных почв (каштановые, бурые почвы, черноземы) лесостепной, степной и полупустынной зон.

Коренное улучшение солонцов достигается заменой в ППК натрия на кальций, удалением образующихся солей натрия промывкой и разрушением солонцового горизонта.

В лесостепной зоне основное направление мелиорации солонцов — гипсование. В степной зоне эффективность гипсования значительно ниже; здесь следует ориентироваться на гипсование в первую очередь солонцовых пятен с участием их до 30 % в лугово-степных комплексах с залеганием грунтовых вод глубже 1,5–2,0 м. Основным же направлением мелиорации солонцов в степной зоне является обработка их плантажными трехъярусными или другими мелиоративными плугами (*самомелиорация*) с целью вовлечения в процесс мелиорации имеющегося в почве кальция ( $\text{CaCO}_3$  или  $\text{CaSO}_4$ ), расположенного под солонцовым горизонтом.

На некоторых солонцах нужно проводить комплексную мелиорацию, сочетающую мелиоративную обработку с поверхностным внесением стартовых доз гипса для устранения почвенной корки и фитомелиорацию для дополнительной активации самомелиорации за счет внутрпочвенных запасов кальция.

#### 4.8. НУЖДАЕМОСТЬ В ГИПСОВАНИИ, ДОЗЫ, СРОКИ И СПОСОБЫ ВНЕСЕНИЯ ГИПСА

Нуждаемость в химической мелиорации солонцовых почв возрастает (от слабой к средней и сильной) при переходе от слабосолонцеватых к солонцеватым почвам и солонцам, т. е. с увеличением доли в ЕКО натрия от 5–10 до 20 % и более. Гипсование необходимо для солонцовых почв (10–20 % натрия) и солонцов (более 20 % натрия в ЕКО).

Улучшение свойств слабосолонцеватых почв, как правило, достигается самомелиорацией, землеванием и фитомелиорацией.

*Землевание* — перемещение скрепером (бульдозером) на солонцеватые (солонцовые) пятна плодородной почвы прилегающего основного зонального типа (как правило, черноземов) слоем 15–20 см. При этом в расчете на 1 га попадает около 10 т кальция, часть которого с почвенной влагой вовлекается в мелиорацию лежащего ниже солонцеватого (солонцового) горизонта.

*Фитомелиорация* эффективна при любых видах мелиорации только при рациональном подборе культур и оптимальных технологиях их выращивания. В России разработаны региональные группировки культур по соле- и солонцеустойчивости, устойчивости к засухе, переувлажнению и другим неблагоприятным условиям. Нужно только подобрать оптимальные для конкретных условий сочетания культур и чередование их в севообороте. Например, в структуре мелиоративного севооборота доли пара и имеющихся



видов культур (однолетние, донник, люцерна, многолетние злаки и др.) должны способствовать интенсивному рассолению и рассолонцеванию с применяемыми видами мелиорации (гипсование, кислование, саомгипсование, землевание).

Перекус в структуре мелиоративных севооборотов, например в преобладании многолетних трав в богарных условиях степной зоны, снизит интенсивность рассоления, а при господстве зернопаровых звеньев (севооборотов) приведет к дефициту органического вещества в почве. Следовательно, фитомелиорация в комплексе с другими видами мелиорации должна обеспечивать оптимальный режим органического вещества в почве для улучшения водопроходной структуры, повышения биологической активности и интенсификации взаимодействия каждого мелиоранта с ППК.

Дозы гипса определяют по эквивалентным количествам натрия в ППК, которые должны быть заменены на кальций. Разница между общим количеством обменного натрия (Na) и безопасным его содержанием ( $Na - KT$ ) в почве (обычно 5—10 % от ЕКО, т. е.  $K = 0,05 - 0,1$ ) и составляет количество натрия, подлежащее замене на кальций. Для замещения 1 г натрия по эквивалентной массе необходимо  $0,086 \text{ г } \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , а для замещения его избытка в 1 г почвы до безопасного содержания —  $0,086 (Na - KT)/100 \text{ г } (\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ . Тогда для слоя почвы толщиной 1 см на площади в  $1 \text{ га} (10^8 \text{ см}^2)$  доза гипса  $D$  (т/га) составит:

$$D = 0,086(Na - KT) \cdot 10^8 / (100 \cdot 10^6) = 0,086 (Na - KT),$$

а из всего мелиорируемого слоя ( $H$ , см) почвы при объемной массе  $d$  (г/см<sup>3</sup>) эквивалентная доза гипса  $D$  (т/га) составит:

$$D = 0,086(Na - KT) Hd,$$

где 0,086 — 1 мг · экв  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (г); Na — содержание натрия;  $K$  — допустимое содержание натрия в долях ЕКО (0,05 — 0,1);  $T$  — ЕКО в мг · экв/100 г почвы;  $H$  — мощность мелиорируемого слоя, см;  $d$  — объемная масса мелиорируемого слоя, г/см<sup>3</sup>.

Например, в массиве южного чернозема солонец характеризуется ЕКО —  $T = 20$ , содержание натрия (Na) = 5 мг · экв/100 г почвы, мощность мелиорируемого слоя  $H = 20$  см и объемная масса мелиорируемого слоя  $d = 1,7 \text{ г/см}^3$ . Тогда доза гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  составит:

$$D = 0,086(5 - 0,1 \cdot 20) \cdot 20 \cdot 1,7 = 8,8 \text{ т/га}.$$

С учетом содержания действующего вещества в применяемых для гипсования материалах дозу конкретного из них ( $D_{\text{ф}}$ , т/га) рассчитывают по формуле

$$D_{\text{ф}} = D_{\text{д.в.}} \cdot 100 / \%_{\text{д.в.}}$$

Для определения ориентировочных доз гипса можно пользоваться рекомендациями зональных научно-исследовательских и проектно-изыскательских учреждений: в зоне черноземов — на корковых содовых солонцах 8—10 (и более) т/га, а при слабой щелочности 3—4 т/га, на средне- и глубокостолбчатых солонцах — 3—4 т/га, а при наличии соды 5—10 т/га; в зонах каштановых и бурых почв — на солонцеватых почвах 1—3 т/га, на средне- и глубокостолбчатых солонцах 3—5 т/га, на корковых хлоридно-сульфатных солонцах 5—8 т/га.

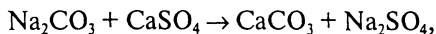
Существуют и другие методы определения доз гипса.

Мелиорирующее действие материалов, содержащих гипс, зависит от скорости его растворения, которая определяется влажностью почвы, гранулометрическим составом мелиоранта и степенью перемешивания его с солонцовым слоем. Поэтому при орошении дозы гипса могут быть снижены на 25—30 %, а в богарных условиях его лучше вносить под чистые пары, в отсутствие паров — при основной обработке под однолетние травы, пропашные культуры и яровые зерновые.

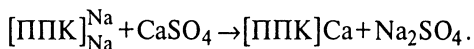
На корковых солонцах большую часть дозы вносят после вспашки под культивацию. На средне- и глубокостолбчатых солонцах с мощным гумусовым горизонтом не менее 20 см гипс вносят под основную обработку плугами с предплужниками, при меньшей мощности гумусового горизонта — в два приема: под вспашку и после нее — под культивацию. Причем соотношение первой и второй частей дозы определяется количеством выворачиваемого плугами на поверхность солонцового горизонта: чем его больше, тем большая часть дозы вносится после вспашки. Большие дозы гипса можно давать постепенно, в течение двух-трех лет.

#### 4.9. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИПСА С ПОЧВОЙ И РАСТЕНИЯМИ

Гипс, попадая в щелочную среду, устраняет из почвенного раствора соду:



а кальций постепенно вытесняет натрий из ППК:



Образующийся сульфат натрия — нейтральная соль — в небольших количествах не вредит растениям, но при гипсовании солонцов (содержание натрия более 20 % ЕКО) его следует удалять вымыванием из корнеобитаемого слоя.

Устранение соды из почвенного раствора и замена в ППК натрия на кальций если не ликвидируют, то снижают щелочность среды. Это сопровождается коагуляцией почвенных коллоидов, что улучшает физические, физико-химические и биологические свойства солонцовых почв, следовательно, облегчается их обработка, улучшаются аэрация и водопроницаемость. Благодаря комплексной мелиорации создаются благоприятные условия для возделываемых культур и почвенных микроорганизмов, остатки которых, пополняя запасы лабильных органических веществ (ЛОВ), взаимодействуют с возросшим количеством кальция и образуют прочную комковатую структуру.

Взаимодействуя с почвой, гипс одновременно действует на растения, так как является дополнительным источником кальция и серы и может быть эффективным удобрением для кальций- и серолюбивых культур на любых (а не только на щелочных) почвах.

Теперь рассмотрим роль и значение серы для растений и почв.

*Сера* — необходимый для роста и развития растений элемент, влияющий не только на величину, но и на качество получаемой продукции. Растения поглощают серу из почвы в виде аниона  $\text{SO}_4^{2-}$ , источником, которого являются соли серной кислоты ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и др.), но могут поглощать ее листьями из воздуха в виде сернистого газа  $\text{SO}_2$ .

В растениях основная часть серы находится в органической форме в составе белков, аминокислот, жиров, витаминов, ферментов и других соединений, а небольшая часть — в минеральной (преимущественно в виде  $\text{CaSO}_4$ ) форме.

По органам растений содержание серы снижается с переходом от семян к листьям, стеблям и корням. Например, в зерновых колосовых содержание серы (в процентах  $\text{SO}_2$  на сухое вещество) в зерне составляет 0,30—0,45, в соломе — 0,12; в семенах бобовых культур ее больше (0,60—0,80), чем злаковых; у картофеля в клубнях около 0,35, в ботве 0,55; в корнях сахарной свеклы около 0,2, в ботве до 1,0.

Максимальное содержание серы наблюдается в растениях семейств бобовых и капустных, значительное — лилейных и минимальное — злаковых. Хозяйственный вынос со средними урожаями (2 т/га) зерновых колосовых составляет 7—15 кг/га, бобовых трав — 20—30, корнеплодов свеклы — 30—40, капусты — 50—80 кг/га.

В почвах общие запасы серы достаточны, но 70—90 % ее находится в органической, недоступной для растений форме и становится доступной только после разложения и минерализации органического вещества. Серобактерии окисляют органическую серу до серной кислоты, ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  которой образуют соли с различными металлами.

Доступных (усвояемых) для растений минеральных форм серы

в почвах обычно немного, однако выбросы  $\text{SO}_2$  промышленных и бытовых предприятий попадают с осадками в почву. Внесение органических и некоторых минеральных  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, \text{K}_2\text{SO}_4, \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaSO}_4 \text{ и др.}]$  удобрений компенсируют возможный дефицит усвояемой серы. Поэтому возделываемые культуры на большинстве почв не испытывают недостатка в сере.

На бедных органическим веществом почвах при недостатке органических и минеральных удобрений, а также на более окультуренных почвах с ростом интенсификации производства может возникнуть дефицит усвояемых форм серы.

По данным полевых опытов, при внесении гипса в качестве удобрения в дозе 300—500 кг/га под клевер на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах средняя прибавка урожая сена составила 1,62 т/га, на средних и легких суглинистых почвах — 1,11, на супесях — 0,72, на серых лесных почвах и выщелоченных черноземах — 0,65 т/га. Действие гипса на урожайность клевера и других культур на кислых почвах обусловлено не только повышением обеспеченности кальцием и серой, но и тем, что при повышении в растворе концентрации кальция растения легче переносят кислую реакцию и получают больше калия, так как его больше вытесняется при этом из ППК.

#### 4.10. МАТЕРИАЛЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИПСОВАНИЯ

**Гипс сыромолотый** ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Серый или белый порошок, содержащий 71—73 %  $\text{CaSO}_4$ . Его получают при размоле природного гипса. В воде растворяется слабо, однако лучше известняка, поэтому очень важна тонина помола. Стандартный гранулометрический состав следующий: все частицы имеют размер  $<1$  мм, в том числе не менее 70 % частиц размером  $<0,25$  мм при влажности не более 8 %. При большей влажности гипс слеживается и превращается в глыбы и комки.

**Фосфогипс.** Это отходы производства двойного суперфосфата и преципитата — серый или белый порошок (мука), содержит 70—75 %  $\text{CaSO}_4$  и 2—3 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Более эффективен, чем гипс, при внесении в эквивалентных дозах. При увлажнении слеживается, поэтому его, как и гипс сыромолотый, содержат в сухих хранилищах.

**Глиногипс.** Это природные залежи рыхлой, не требующей размола породы, содержащей 60—90 %  $\text{CaSO}_4$  и 1—11 % глины.

**Пиритные огарки, технические кислоты** ( $\text{H}_2\text{SO}_4, \text{HNO}_3, \text{H}_3\text{PO}_4$ ). Их также можно использовать для кислования щелочных почв. Это более быстрый и эффективный, но экономически значительно более дорогой способ (путь) устранения щелочности почвенного раствора и замены в ППК натрия на водород, хотя при этом улучшаются питание растений и обеспеченность почвы азотом, фосфором и другими питательными элементами.

Эффективность гипсования солонцов лесостепной зоны доказана не только в опытных, но и в производственных условиях. Прибавка урожаев зерна колосовых культур ежегодно в течение 7—8 лет после однократного внесения гипса в дозе около 10 т/га составляет 0,5 т/га. В степной зоне эффективность гипсования ниже: на лугово-степных солонцах ежегодная прибавка урожайности зерновых в среднем за 8—10 лет составляет 0,3—0,4 т/га.

*Самомелиорация* — обработка степных и лугово-степных солонцов плантажными трехъярусными и другими мелиоративными плугами. В степной зоне при однократном ее применении получают устойчивые прибавки урожаев зерновых культур (0,4—0,6 т/га) и сена трав (0,7—0,8 т/га).

В богарных (неорошаемых) условиях вследствие медленного взаимодействия мелиорантов с почвой положительное действие продолжается долго, а полный эффект достигается через 4—5 лет и более. Для повышения эффективности гипсования важно улучшить влагообеспеченность богарных почв (различные приемы снегозадержания, глубокая заделка мелиоранта и др.) и прежде всего гипсовать орошаемые комплексы почв с солонцами. При орошении возникает опасность вторичного засоления солонцовых почв, поэтому необходимо принять нужные меры для его предотвращения.

Эффективность гипсования почв возрастает при сочетании этого приема с применением органических и минеральных удобрений. Среди минеральных удобрений наиболее эффективны их физиологически и гидролитически кислые формы.

Изменения агрохимических и физических свойств солонцовых почв, хотя и происходят медленно, сохраняются длительное время, поэтому повторные мелиорации в случае необходимости осуществляют не ранее чем через 10 лет и более.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Назовите группы культур по отношению к реакции почв. 2. В чем проявляется отрицательное действие кислотности почв на растения? 3. Каковы роль и значение кальция и магния в питании растений? 4. Каково влияние кальция и магния на агрохимические и физические свойства почв? 5. Каковы критерии нуждемости почв в известковании? 6. Расскажите о методах определения доз извести и способах ее внесения. 7. Что вы знаете о реакциях взаимодействия извести с почвой? 8. Каковы статьи прихода и расхода в балансе кальция? 9. Что можно определить по результатам баланса кальция? 10. Чем отличаются мелиоративное и поддерживающее известкования? 11. Назовите виды и формы известковых удобрений. 12. Каковы требования к качеству удобрений и известкованию почв? 13. Как определить эффективность известкования почв? 14. Есть ли способы и приемы повышения эффективности известкования? 15. В чем особенности известкования почв в севооборотах со льном и картофелем? 16. Какие почвы и по каким показателям нуждаются в гипсовании? 17. Как определить нуждемость в мелиорации и дозу гипса? 18. Назовите материалы и приемы для гипсования почв. 19. Какие процессы происходят в почве при гипсовании? 20. Каковы приемы повышения эффективности гипсования? 21. Что вы знаете о применении гипса на кислых и нейтральных почвах?

---

## Глава 5

# МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ И ИХ СВОЙСТВА

●

Слово «удобрение» в русском языке имеет двоякий смысл. Во-первых, им обозначают сам технологический процесс удобрения почвы и, во-вторых, его используют для обозначения применяемых для этой цели веществ (навоз, минеральные удобрения, известь и т. д.). Под *удобрениями* понимают вещества, предназначенные для улучшения питания растений и повышения плодородия почв в целях увеличения урожая сельскохозяйственных растений и улучшения качества получаемой продукции. По характеру воздействия на почву и питательный режим растений удобрения можно разделить на прямые и косвенные. Внесение *прямых удобрений* улучшает питание растений различными питательными элементами (азотом, фосфором, калием, микроэлементами и т. д.). К этой группе относятся соответственно азотные, фосфорные, калийные и другие удобрения. *Косвенные удобрения* вносят для улучшения свойств почвы, мобилизации имеющихся в ней питательных веществ. Сюда относятся средства химической мелиорации почв (известь, гипс и др.), бактериальные удобрения, способствующие усилению биологических процессов в почвах.

По способу производства удобрения подразделяются на промышленные и местные. К *промышленным* относятся почти все минеральные удобрения, получаемые на специальных химических туковых заводах. К *местным* относятся удобрения, получаемые в местах их использования, непосредственно в хозяйствах или вблизи них — навоз, навозная жижа, птичий помет, компосты, торф, зола, известковые туфы, зеленое удобрение и др.

По химическому составу удобрения подразделяются на минеральные и органические.

*Минеральные удобрения* — это промышленные или ископаемые продукты, содержащие элементы, необходимые для питания растений и повышения плодородия почв. Их получают из минеральных веществ путем химической или механической переработки. Это главным образом минеральные соли, однако к ним относятся и некоторые органические вещества, например мочевины.

Минеральные удобрения бывают *простые* (или односторонние), содержащие только один питательный элемент (азотные, фосфорные, калийные, микроудобрения), и *комплексные* (или

многосторонние), содержащие одновременно два или несколько элементов питания (калийная селитра, нитрофоски, диаммофоски и др.).

*Органические удобрения* содержат питательные вещества, главным образом в составе органических соединений, и являются обычно продуктами естественного происхождения (навоз, торф, солома, фекалии и др.). В отдельную группу выделяют *бактериальные удобрения*, которые содержат культуры микроорганизмов, способствующих при их внесении в почву накоплению в ней усвояемых форм питательных элементов.

Минеральные удобрения разделяют по видам питательных элементов на азотные, фосфорные, калийные, цинковые и т. д. Каждый вид удобрения представлен целым набором его различных форм. Например, ассортимент азотных удобрений включает нитратные (натриевая и кальциевая селитры), аммонийные (хлорид и сульфат аммония), аммонийно-нитратные (нитрат аммония), амидные (карбамид) формы и ряд других.

Содержание питательных веществ (или количество действующих веществ) в удобрениях выражают в процентах: для азотных удобрений в пересчете на элементарный азот (N), а для фосфорных и калийных в пересчете на их оксиды (соответственно  $P_2O_5$  и  $K_2O$ ).

Комплекс последовательно производимых операций по внесению удобрений составляет технологию внесения удобрения. Она предусматривает дозы удобрений, приемы, сроки и способы их внесения и заделки.

*Доза удобрения* — его количество, вносимое под сельскохозяйственную культуру за один прием или за весь вегетационный период.

Различают три приема внесения удобрений: основное (вносимое до посева), припосевное (вносимое во время посева) и подкормки (вносимые в период вегетации растений). *Основное* удобрение обеспечивает питание растений на протяжении всей вегетации, в том числе и в период интенсивного роста, когда отмечается максимальное потребление растениями питательных веществ. Оно включает большую часть (80—100 %) питательных веществ от общей дозы. *Припосевное* (припосадочное) удобрение предназначено для улучшения питания молодых растений в начальные критические периоды их роста. Слабая корневая система молодых растений не может в полной мере обеспечить их элементами питания, а их недостаток в этот период оказывает существенное влияние на величину будущего урожая. *Подкормки* в течение вегетации растений используют для улучшения их питания в периоды максимального потребления ими питательных элементов. Обычно их применяют, когда по разным причинам полную норму питательных элементов нецелесообразно вносить в основное удобрение.

*Сроки внесения* удобрений могут быть осенние, весенние и летние в определенные фазы развития растений.

*Способы внесения удобрений* — сплошной (разбросной), местный (рядковый, гнездовой), ленточный и др.

*Способы заделки удобрений* — под плуг, культиватор, борону и др.

Эффективность использования удобрения во многом зависит от обоснованности выбора его вида и формы, определения оптимальной дозы и соотношения между вносимыми элементами питания, а также сроков и способов применения. Удобрение выбирают с учетом свойств почв и климатических условий, биологических и сортовых особенностей выращиваемых культур. При выборе форм удобрения необходимо учитывать отношение растений к его ионному составу, реакцию удобрения, способность корневой системы усваивать питательные вещества из труднорастворимых удобрений.

Необходимо знать и характер взаимодействия удобрения в системе почва — растение — удобрение — окружающая среда.

Существенное значение для эффективного использования удобрений имеет правильная организация их транспортировки, хранения, подготовки для внесения в почву. Такая организация невозможна без знания основных физико-механических и химических свойств удобрений, таких как растворимость в воде, гигроскопичность, слеживаемость, влагоемкость, рассеиваемость, гранулометрический состав и прочность гранул и др.

Для предотвращения потерь удобрений при их транспортировке и хранении нужно знать их способность к расслоению — сегрегации (для смешанных удобрений), упругость паров и вязкость (для жидких удобрений), насыпную плотность и угол естественного откоса (для порошковидных форм удобрений). При организации хранения удобрений следует знать и такие их свойства, как огне- и взрывоопасность, наличие свободной кислотности, скорость и условия распада удобрений с выделением аммиака и др.

По агрегатному состоянию удобрения разделяют на *твердые*, *жидкие* (например, безводный аммиак) и *газообразные*, применяемые в теплицах ( $\text{CO}_2$ ). Твердые удобрения бывают *порошковидные* (с размерами частиц меньше 1 мм), *кристаллические* (с размером кристаллов больше 0,5 мм) и *гранулированные* (с размером гранул больше 1 мм).

*Влажность* удобрений может варьировать в широких пределах в зависимости от технических особенностей производства, исходного сырья и компонентного состава. Для каждого удобрения определены ГОСТы и технические условия, регламентирующие, в частности, содержание влаги. Например, для мочевины влажность должна быть 0,2—0,3 %, кальциевой селитры — не более 14 %, порошковидного суперфосфата — не более 12 %, для калийных удобрений — от 1—4 до 5—6 % и т. д. Отклонение от этих показателей влечет за собой значительные изменения физико-механических свойств удобрений, что делает их малопригодными для дальнейшего применения.



Большое значение для практики использования удобрений имеет и их *гигроскопичность* — способность поглощать влагу из воздуха. Оценка гигроскопичности минеральных удобрений проводят по 10-балльной системе. К сильногигроскопичным удобрениям относят кальциевую (9,5 балла) и аммонийную (9,3 балла) селитры. Гигроскопичность калийных удобрений значительно ниже: хлорид калия 3,2—4,4 балла, сульфат калия 0,2 балла и т. д. Условия хранения, транспортировки и упаковки удобрений во многом определяются их гигроскопичностью. Сильногигроскопичные удобрения (7—10 баллов) хранят и перевозят только в герметичной таре — полиэтиленовых мешках.

Сыпучесть удобрений, пригодность их для механического внесения туковывсевающими агрегатами зависит от их *влагоемкости*. Предельная влагоемкость минеральных удобрений соответствует их максимальной влажности, при которой они сохраняют способность удовлетворительно рассеиваться туковыми сеялками.

В процессе хранения или длительной транспортировки удобрения могут слеживаться. Дальнейшее их использование в таком виде связано с большими затратами на измельчение удобрений перед внесением в почву. *Слеживаемость* минеральных удобрений зависит от ряда показателей — гигроскопичности, влажности, гранулометрического состава, а также условий и длительности хранения удобрений. Степень слеживаемости оценивается по 7-балльной системе и определяется по сопротивлению к разрушению слежавшегося удобрения. Сильно слеживается, например, простой порошковидный суперфосфат (7 баллов), мелкокристаллический хлорид калия (6 баллов), слабо слеживается сульфат аммония (2—3 балла), практически не слеживаются сульфат калия, калимагnezия (1 балл).

Перечисленные физико-механические свойства минеральных удобрений в значительной мере связаны с их *гранулометрическим составом*, то есть с размером частиц. Определяют гранулометрический состав при механическом ситовом анализе удобрений. Этот показатель оказывает существенное влияние и на равномерность внесения удобрений по площади поля. При внесении удобрений с однородным гранулометрическим составом центробежными разбрасывателями обеспечивается достаточная равномерность распределения удобрения по ширине захвата агрегата. В случае внесения такими разбрасывателями удобрения с неоднородным гранулометрическим составом наблюдается процесс *сепарации* — т. е. разбрасывания частиц удобрения различных размеров и массы на разное расстояние от туковывсевающего агрегата. Более крупные тяжелые частицы отлетают на большее расстояние, а мелкие — на меньшее, что создает сильную неравномерность распределения удобрения по площади поля.

Сохранность гранулометрического состава удобрений при хранении, транспортировке и внесении в почву в значительной мере

зависит от *прочности гранул*. Характеризуется этот показатель механической прочностью на раздавливание (в кгс/см<sup>3</sup>) и истирание (в %), которые определяются на специальных приборах. Прочность гранул зависит от влажности, размера и формы частиц, наличия и качества гидрофобных добавок, плотности упаковки удобрений, длительности их хранения.

В прямой зависимости от гранулометрического состава, прочности гранул, их влажности и гигроскопичности находится и такой важный физико-механический показатель удобрений, как *рассеиваемость*, или сыпучесть, — подвижность гранулометрических частиц удобрений при их внесении туковыми сеялками. Оценку рассеиваемости проводят по 12-балльной системе (чем лучше рассеиваемость удобрений, тем выше балл ее оценки). Этот показатель имеет существенное значение для равномерного распределения удобрений по площади поля.

При транспортировке удобрений, расчетах необходимых размеров складских помещений необходимо учитывать и *плотность* удобрений — объем единицы их массы (1 т в м<sup>3</sup>) и *массу* единицы их объема. Наиболее легкими из твердых минеральных удобрений являются хлорид аммония и мочевины (0,58—0,65 т/м<sup>3</sup>), наиболее тяжелыми — томасшлак, известняковая и фосфоритная мука (2,01—1,62 т/м<sup>3</sup>).

Некоторые удобрения, обладающие хорошими физико-механическими свойствами (сульфат аммония, сульфат калия), можно транспортировать и хранить бестарным способом — насыпью. При хранении этих удобрений учитывают такой показатель, как *угол естественного откоса* (покоя), который образуется горизонтальной плоскостью с линией откоса кучи удобрения.

## 5.1. АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

### 5.1.1. РОЛЬ АЗОТА В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ

Азот как химический элемент был открыт французским химиком Лавуазье во второй половине XVIII в. Этот газ, который составляет 78,08 % атмосферного воздуха, называли азотом, что в переводе означает «нежизненный», т. е. не поддерживающий горение и дыхание. Последующие исследования показали, что именно азот играет главнейшую роль в жизни не только растений, но и всего органического мира.

Он входит в состав всех простых и сложных белков, составляя 16—18 % их массы. А белки являются главной составной частью протоплазмы и ядра растительных клеток. Азот входит в состав нуклеиновых кислот (ДНК и РНК), являющихся носителями наследственных свойств живых организмов и играющих большую роль в обмене веществ. Наконец, азот входит в состав ряда таких

жизненно важных для растений органических соединений, как хлорофилл, ферменты, фосфатиды, гормоны и большинство витаминов.

Все ферменты, катализирующие многочисленные биохимические процессы в растениях, — белковые вещества. При недостаточном снабжении растений азотом образование ферментов замедляется, что ведет к ослаблению процессов биосинтеза, обмена всех групп химических соединений и в конечном счете неизбежно к снижению урожая.

Регулируя азотное питание растений, можно в значительной мере корректировать уровень урожая сельскохозяйственных культур. При этом, конечно, нельзя забывать и о других факторах, необходимых для роста и развития растений (обеспеченность всеми другими макро- и микроэлементами, влагообеспеченность, тепловые ресурсы и т. д.). Максимальный урожай можно получить только при достаточной обеспеченности растений всеми необходимыми условиями для их роста. Однако азот является ведущим фактором в повышении урожая сельскохозяйственных культур.

Здесь уместно вспомнить слова академика Д. Н. Прянишникова о том, что вся история земледелия в Западной Европе свидетельствует о том, что главным условием, определяющим среднюю высоту урожаев в разные эпохи, была степень обеспеченности сельскохозяйственных растений азотом.

При хорошем азотном питании растений повышается синтез белковых веществ. Растения образуют мощные стебли и листья, имеющие интенсивно-зеленую окраску. Мощный ассимиляционный аппарат позволяет растениям накапливать большое количество продуктов фотосинтеза. В результате значительно повышается урожай растений и, как правило, его качество.

Однако одностороннее избыточное азотное питание, особенно во второй половине вегетации, задерживает созревание растений; они образуют большую вегетативную массу, но не успевают сформировать хороший урожай репродуктивных органов.

При недостатке азота рост растений сильно ухудшается. В первую очередь дефицит азота сказывается на развитии вегетативной массы: листья бывают мелкие, светло-зеленой окраски, преждевременно желтеют, стебли становятся тонкими и слабо ветвятся. Ухудшается формирование репродуктивных органов. Урожай растений резко снижается. У злаков азотное голодание ведет к ослаблению кущения, колосья образуются с небольшим количеством зерен, снижается содержание белка в зерне.

Среднее содержание азота в растениях находится в пределах 0,5—5,0 % воздушно-сухой массы. Больше всего азота в семенах. Прослеживается четкая корреляция между величиной содержания белка и количеством азота в растениях (табл. 44). В вегетативных органах азота меньше: в соломе бобовых 1,0—1,4 %, в соломе злаковых 0,45—0,65 %. Еще меньше содержится азота в корне-, клуб-

неплодах и овощных растениях: картофель (клубни) 0,32 %, сахарная свекла (корни) 0,24, капуста 0,33 % (на сырое вещество).

#### 44. Содержание белка и азота в семенах различных культур, %

| Культура | Белок | Азот |
|----------|-------|------|
| Соя      | 29    | 5,8  |
| Горох    | 20    | 4,5  |
| Пшеница  | 14    | 2,5  |
| Рис      | 7     | 1,2  |

Содержание азота в растениях может существенно изменяться в зависимости от их возраста, почвенно-климатических условий, обеспеченности питательными элементами.

В молодом возрасте вегетативные органы растений наиболее богаты азотом. По мере их старения азотистые вещества передвигаются во вновь появляющиеся листья и побеги (табл. 45).

#### 45. Содержание азота в вегетативной массе зерновых культур по фазам развития, % на воздушно-сухое вещество

| Культура       | Фаза развития |             |           |          |
|----------------|---------------|-------------|-----------|----------|
|                | кущение       | трубкование | колошение | цветение |
| Озимая пшеница | 5,0—5,4       | 3,0—4,5     | 2,1—2,5   | 2,0—2,4  |
| Яровая пшеница | 4,5—5,5       | 3,0—4,4     | 2,5—3,0   | 1,8—2,5  |
| Овес           | 5,5—5,9       | 2,9—3,9     | 2,2       | 1,3—1,7  |

Темпы накопления органических веществ растениями опережают темпы поступления азота и других питательных веществ в них. Происходит «ростовое разбавление» содержания питательных элементов, в том числе и азота. В дальнейшем при созревании растений наблюдается все более выраженное передвижение азота в репродуктивные органы, где они и накапливаются в виде запасных белков.

**Поступление азота в растения и его трансформация в белковые соединения.** Основными источниками азота для питания растений являются соли азотной кислоты и аммония. Доказано также, что растения способны усваивать и некоторые растворимые в воде органические соединения азота: мочевины, аминокислоты, аспарагин.

Поступившие в растение азотистые соединения подвергаются в его тканях сложным превращениям, в результате которых образуются сначала аминокислоты, а затем белки.

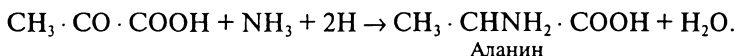
Из всех поступивших из почвы в растения соединений азота только один аммиак может быть непосредственно использован для биосинтеза аминокислот. Нитраты и нитриты могут вовлекаться в синтез аминокислот только после их восстановления в тканях растений.

Редукция нитратов до аммиака может происходить уже в корнях. Она осуществляется с помощью флавиновых металлоферментов и сопровождается изменением валентности атомов азота:



Если нитратный азот поступает в растения в избытке, то часть его в неизменном состоянии доходит до листьев, где продолжается восстановление нитратов по указанной схеме.

Синтез аминокислот происходит в результате взаимодействия аммиака с кетокислотами (пировиноградной, щавелевоуксусной, кетоглутаровой и др.), которые образуются при окислении углеводов в процессе дыхания. Реакция биосинтеза аминокислот называется *аминированием*. Осуществляется она с помощью ферментов. Например, при взаимодействии пировиноградной кислоты с аммиаком образуется аминокислота аланин:



Подобным образом при взаимодействии аммиака с щавелевоуксусной кислотой образуется аспарагиновая кислота ( $\text{COOH} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CHNH}_2 \cdot \text{COOH}$ ), а при взаимодействии с кетоглутаровой кислотой — глутаминовая кислота ( $\text{COOH} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CHNH}_2 \cdot \text{COOH}$ ).

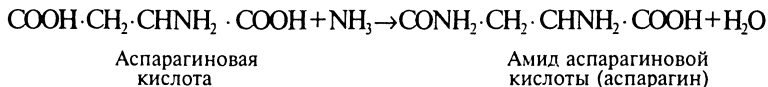
Азот в аминокислотах находится в виде аминогруппы —  $\text{NH}_2$ . Образование аминокислот происходит как в корнях, так и в надземной части растений.

Опыты, проведенные с применением меченых атомов, показали, что уже через несколько минут после подкормки растений аммиачными удобрениями в их тканях могут быть обнаружены аминокислоты, синтезированные за счет внесенного в подкормку аммиака. При этом первыми образующимися в растениях аминокислотами является аланин, затем аспарагиновая и глутаминовая кислоты.

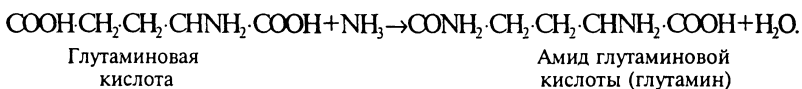
Нитратный азот может накапливаться в растениях в значительных количествах, не причиняя им вреда. Аммиак в свободном виде содержится в тканях растений в незначительных количествах. Накопление его, особенно при недостатке углеводов

(источника кетокислот), ведет к аммиачному отравлению растений.

Однако растения способны связывать избыток свободного аммиака. Значительная часть его вступает во взаимодействие с ранее синтезированными аспарагиновой и глутаминовой аминокислотами с образованием соответствующих амидов — аспарагина и глутамина:



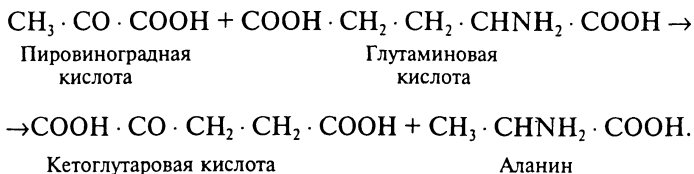
Аналогично образуется и глутамин:



Итак, процесс образования аспарагина и глутамина позволяет растениям, во-первых, защитить себя от аммиачного отравления и, во-вторых, создать резерв аммиака, который может быть использован ими в дальнейшем по мере необходимости. Кроме того, амиды играют важную роль в синтезе белков.

В 1937 г. отечественные биохимики А. Е. Браунштейн и М. Г. Крицман открыли реакцию *переаминирования*, которая заключается в переносе аминогруппы с аминокислоты на кетокислоту. При этом образуются другие amino- и кетокислоты. Эта реакция катализируется ферментами трансминазами или аминотрансферазами.

Например, пировиноградная кислота, присоединяя аминную группу от глутаминовой кислоты, образует аланин и кетоглутаровую кислоту:



Путем переаминирования может синтезироваться значительное число аминокислот. В растениях наиболее легко подвергаются переаминированию глутаминовая и аспарагиновая кислоты, что указывает на большую роль этих соединений в процессах обмена азотистых веществ.

Аминокислоты представляют собой основные структурные единицы, из которых построены полипептиды и белки. Белки об-

разуются из синтезированных в полипептидные цепи аминокислот. Белковая молекула состоит из 20 аминокислот и двух амидов (аспарагина и глутамина). Различные набор и пространственное расположение аминокислот в полипептидных цепях позволяют синтезировать из них огромное разнообразие белков. В настоящее время известно свыше 90 аминокислот. Значительная часть их (до 70) присутствует в растениях в свободном состоянии и не входит в состав белков.

В составе белков различных растений есть незаменимые аминокислоты: лизин, гистидин, фенилаланин, триптофан, валин, лейцин, изолейцин, треонин и метионин. Организм человека и высших животных не может синтезировать эти аминокислоты, которые играют важную роль для нормальной жизнедеятельности.

Содержание небелкового органического азота в растениях обычно составляет 20—26 % общего его количества. В неблагоприятных условиях питания, в частности при дефиците калия, а также при недостаточном освещении количество небелковых азотистых соединений в растениях повышается.

Белки в тканях растений находятся в подвижном равновесии с небелковыми азотистыми соединениями. Наряду с синтезом белков и аминокислот постоянно идет процесс их распада. Отщепление аминокруппы от аминокислоты, в результате которого образуются кетокислота и аммиак, называется реакцией *дезаминирования*. Освободившаяся кетокислота используется растениями для биосинтеза углеводов, жиров и других веществ; аммиак же снова вступает в реакцию аминирования других кетокислот с образованием соответствующих аминокислот, а при его избытке также образуются аспарагин и глутамин.

Таким образом, весь сложный цикл трансформации азотистых соединений в растениях начинается, как показано ранее, с аммиака (аминирование) и завершается аммиаком (дезаминирование). Это дало основание Д. Н. Прянишникову сказать, что «аммиак есть альфа и омега в обмене азотистых веществ у растений».

За время вегетации растений в них синтезируется большое количество разнообразных белков. В разные периоды роста растений ход процесса обмена азотистых веществ неодинаков.

При прорастании семян, клубней, луковиц и т. д. наблюдается распад запасных белков. Продукты распада используются для синтеза аминокислот, амидов и белков в тканях проростков, пока они не вышли на поверхность почвы. В дальнейшем, по мере образования корневой системы и листового аппарата, синтез белков идет за счет минерального азота, поглощаемого из почвы.

В молодых растениях и их органах преобладает синтез белков. В процессе старения растений и их органов распад (гидролиз) белков преобладает над синтезом. Из стареющих органов растений продукты гидролиза белков передвигаются в молодые, интенсивно растущие органы, где используются для синтеза белков в точках

роста. По мере созревания растений, при формировании репродуктивных органов, происходит распад белковых веществ вегетативных частей растений, продукты которого передвигаются в репродуктивные органы, где используются для синтеза запасных белков. К этому времени потребление растениями азота почвы значительно ограничивается или совсем прекращается.

**Особенности аммонийного и нитратного питания растений.** В конце XIX в. в агрономической науке господствовала теория нитратного питания растений, роль аммиака как источника минерального питания растений отрицалась.

Основанием для этой теории служили следующие обстоятельства:

опыты в водных культурах, как правило, обнаруживали хорошее развитие растений по фону нитратных солей и плохое — по фону аммонийных солей;

был открыт процесс нитрификации в почве; это дало основание полагать, что при внесении в почву аммонийных удобрений они все равно переходят в процессе нитрификации в нитратную форму азота, которая и потребляется растениями;

применение чилийской селитры ( $\text{NaNO}_3$ ) заметно повышало урожай сельскохозяйственных культур.

Однако уже в конце века П. С. Коссович в опытах со стерильными культурами доказал, что растения могут непосредственно усваивать аммиачный азот без предварительного окисления его в нитратную форму. К таким же выводам в 1900 г. пришел и французский исследователь Мазе. После установления этого положения возникла необходимость изучения условий и особенностей использования растениями аммонийной и нитратной форм азота. Обширные фундаментальные исследования по этому вопросу были проведены Д. Н. Прянишниковым и его учениками. Они показали, что эффективность использования различных форм азота зависит от ряда факторов. Существенное значение при этом имеет реакция среды: при нейтральной реакции лучше усваивается аммонийный азот, а при кислой — нитратный.

В начале роста растений существенное значение имеют и их биологические особенности. При прорастании семян растений, имеющих небольшой запас углеводов, а следовательно, и органических кетокислот (например, сахарная свекла), избыточное поступление аммонийного азота в растения оказывает на них негативное воздействие. В этом случае аммонийный азот не успевает использоваться для синтеза аминокислот, накапливается в тканях растений, вызывая их отравление. При данных обстоятельствах необходимо использовать нитратные формы азота, так как они могут накапливаться в тканях растений в больших количествах, не причиняя вреда. Растения, в посевном (посадочном) материале которых имеется большой запас углеводов (например, картофель), используют поступающий аммонийный азот для синтеза амино-



кислот без ограничений. Для таких культур аммонийная и нитратная формы азота в начале их роста практически равноценны.

На поглощение растениями нитратного и аммонийного азота оказывает влияние и обеспеченность их сопутствующими элементами питания. Повышенное содержание в почве калия, кальция и магния создает более благоприятные условия для поглощения аммонийного азота. При нитратном питании важное значение имеет недостаточная обеспеченность растений фосфором и молибденом. Недостаток молибдена задерживает восстановление нитратов до аммиака и способствует их накоплению в тканях растений.

Следует напомнить, что аммонийная (аммиачная) форма азота при поступлении в растения сразу и непосредственно может быть использована для синтеза аминокислот, в то время как нитратный азот должен еще пройти процесс восстановления до аммиака. При этом расходуется определенное количество энергии. С этой точки зрения аммиачный азот является более экономной формой, чем нитратный азот.

#### 5.1.2. КРУГОВОРОТ И БАЛАНС АЗОТА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Соединения минерального азота в почве очень подвижны и динамичны. Их содержание и трансформация являются результатом многочисленных, подчас взаимонаправленных физических, физико-химических и биологических процессов круговорота азота.

В целинных почвах в естественных биоценозах происходит замкнутый цикл круговорота азота (как и других биогенных элементов). Он включает, с одной стороны, приходные статьи: поступление азота с растительным опадом, остатками корней, экскрементами и останками животных (входящих в состав биоценоза); биологическую фиксацию атмосферного (молекулярного) азота микроорганизмами (симбионтами и свободноживущими); поступление с атмосферными осадками ( $\text{NO}_3$  и  $\text{NH}_4$ , образовавшимися за счет грозových разрядов и промышленных выбросов). С другой стороны, расходные статьи: использование азота растениями, инфильтрация и денитрификация, потери в результате водной и ветровой эрозии. Содержание в почве минеральных форм азота уменьшается и в результате процесса *иммобилизации* — превращения минерального азота в органическую форму. Правда, в этом случае азот из почвы не теряется, а переходит в недоступную для растений форму.

Наиболее отрицательное значение имеют безвозвратные потери азота из почвы вследствие улетучивания его газообразных форм, в результате денитрификации, инфильтрации нитратов, а также эрозии. Соотношение приходных и расходных величин в круговороте азота (или другого элемента) и составляет баланс этого элемента. Он может быть отрицательным (в случае превышения

расхода над накоплением), положительным (в обратном случае) и уравновешенным, или нулевым, — при равенстве расходных и приходных статей баланса.

Для природных биоценозов характерен, как правило, уравновешенный баланс азота (как и других биогенных элементов). При этом потери азота за счет вымывания и денитрификации уравновешиваются поступлением этого элемента с атмосферными осадками и биологической азотфиксацией.

В процессе распашки почвы азотный режим ее претерпевает существенные изменения. Расходные статьи азотного баланса начинают резко возрастать. Значительное количество азота отчуждается за пределы хозяйства с сельскохозяйственной продукцией (как растениеводческой, так и животноводческой). Интенсивная обработка почвы ведет к усилению минерализации органического вещества и как следствие к увеличению потерь азота за счет инфильтрации, денитрификации и эрозии. Потери азота в результате водной и ветровой эрозии могут достигать значительных величин. Вместе с почвенными частицами в результате эрозии выносятся гумус и другие азотсодержащие вещества.

Вымывание нитратов из корнеобитаемого слоя в дренажные воды играет существенную роль в балансе азота в увлажненных районах в условиях промывного режима почв, а также на орошаемых землях, в особенности на легких почвах.

Более связанные суглинистые и глинистые почвы, особенно богатые гумусом, способны лучше поглощать и удерживать воду, а следовательно, и растворенные в ней нитраты. Из таких почв, занятых растениями, вымывание нитратов незначительное — не превышает 3—5 кг/га нитратного азота в год. Но на почвах легкого гранулометрического состава, особенно в отсутствие растений (паровое поле), потери нитратного азота за счет вымывания могут достигать значительных размеров — 20—30 кг/га и более в год.

Потери газообразных форм азота в результате денитрификации составляют одну из основных статей непроизводительных затрат азота. Как уже отмечалось, процесс денитрификации происходит в анаэробных условиях. Казалось бы, при распашке почв устраняются условия, необходимые для этого процесса, но на самом деле это не так. Разрыхленная почва состоит из множества отдельных структурных агрегатов (комков) разной величины. И внутри каждого почвенного агрегата создаются анаэробные условия, необходимые для денитрификации, т. е. этот процесс происходит постоянно во всех почвах. И тем интенсивнее, чем больше неиспользованных растениями нитратов накапливается в почве.

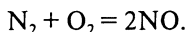
Таким образом, в процессе освоения земельных участков естественный уравновешенный баланс питательных элементов нарушается. Потери азота значительно превышают его поступление, что неизбежно обедняет почву этим элементом. В такой ситуации внесение азотных удобрений и навоза может ликвидировать дефи-

цит в азотном балансе почвы и создать условия для сохранения и повышения ее плодородия. Это одно из важнейших условий интенсивного земледелия.

### 5.1.3. ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

**Источники получения азотных удобрений.** В течение длительного времени (с 1830 до 1914 г.) снабжение мирового рынка азотными удобрениями было в основном за счет природных залежей чилийской селитры в Южной Америке. Другим источником был аммиак отходящих газов коксовых печей металлургической промышленности. Но этот источник был ограниченным и не мог удовлетворить возрастающего спроса на азотные удобрения. Уже в начале XX в. природные источники чилийской селитры были практически исчерпаны и вопрос об азотных удобрениях встал со всей остротой. Его решение стали искать в использовании практически неисчерпаемых запасов азота в атмосферном воздухе. Известно, что в слое воздуха в 15 км высотой над площадью в 1 га содержится около 78 тыс. т молекулярного азота.

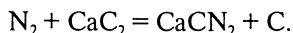
В конце XIX в. в лабораторных условиях впервые были успешно проведены опыты по связыванию молекулярного азота с кислородом путем пропускания воздуха через пламя вольтовой дуги (температура около 3000 °C):



Оксид азота окисляли до двуоксида ( $\text{NO}_2$ ), которая, соединяясь с водой, давала азотную кислоту.

Вскоре в Норвегии, богатой водопадами и дешевой электроэнергией, был построен первый в мире завод по производству в промышленных масштабах первого синтетического азотного удобрения —  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Отсюда кальциевая селитра стала называться «норвежской селитрой». Получение азотного удобрения таким способом требовало огромного количества энергии. Кроме того, кальциевая селитра очень гигроскопична. Поэтому такой способ производства не получил дальнейшего распространения.

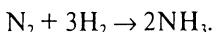
В то же время был предложен другой способ связывания атмосферного азота, основанный на свойстве азота соединяться при определенных условиях (температура около 700—800 °C) с карбидом кальция:



Метод производства цианамиды кальция проще и дешевле предыдущего способа, но и он не получил широкого распространения, так как к этому времени был разработан метод получения синтетического аммиака из молекулярного азота и водорода.

Возможность получения синтетического аммиака была доказана работами немецкого химика Габера. Из всех способов связывания молекулярного азота этот способ оказался наиболее дешевым, и в настоящее время он является основным при производстве азотных удобрений.

**Получение аммиака.** Синтетический аммиак получают при взаимодействии химически чистых азота и водорода. Для этого смесь указанных газов в соотношении 1 : 3 вначале подвергают сжатию под высоким давлением, а потом подают в контактную печь (камеру синтеза), где при высоких температуре (400—500 °С) и давлении в присутствии катализаторов (железа с добавками оксидов алюминия и калия) осуществляется синтез аммиака:



Затем аммиак поступает в холодильник и сжижается.

Источником молекулярного азота является воздух. Выделить азот из воздуха можно следующими способами.

1. Атмосферный воздух пропускают через генератор, наполненный горящим коксом. Кислород полностью сгорает. Из генератора поступает смесь азота с диоксидом углерода.  $\text{CO}_2$  под давлением в 25 атмосфер поглощается водой.

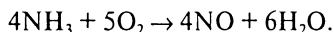
2. Воздух сжижается с последующим фракционированием его перегонкой при разных температурах. Кислород кипит при температуре  $-183^\circ\text{C}$ , а азот — при  $-196^\circ\text{C}$ . Разница в температурах кипения позволяет разделить кислород и азот.

До 50 % затрат при производстве аммиака приходится на получение чистого водорода. В качестве источников водорода чаще всего используют природные и попутные нефтяные газы, а также отходящие газы коксовых печей.

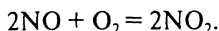
Возможно получение водорода из воды путем электролиза. Этим способом водород получают чистым, без примесей, но он требует очень большого расхода электроэнергии. Поэтому такой способ может быть рентабельным только в районах производства дешевой электроэнергии.

Полученный вышеуказанным способом аммиак может быть использован непосредственно в качестве удобрения (жидкий безводный аммиак), для производства аммонийных удобрений, для получения азотной кислоты.

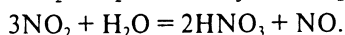
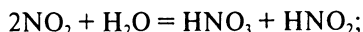
**Получение азотной кислоты.** Азотную кислоту получают каталитическим окислением синтетического аммиака кислородом воздуха. Это основной способ для производства азотной кислоты и ее солей. Реакция идет в несколько этапов. Вначале аммиак окисляется до оксида азота (реакция идет с выделением теплоты):



Оксид азота после охлаждения поступает в окислительные башни, где переводится в диоксид азота:



Далее  $\text{NO}_2$  поступает в поглотительные башни, где поглощается водой с образованием азотной и азотистой кислот:



Азотистая кислота неустойчива. Ее ангидрид ( $\text{N}_2\text{O}_3$ ) быстро распадается:



Оксиды азота  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  возвращают вновь в ту же систему окислительных и поглотительных установок, добываясь в конечном итоге их доокисления до азотной кислоты.

Синтетический аммиак и азотная кислота являются основными исходными продуктами для производства как азотных удобрений, так и комплексных удобрений, содержащих азот.

**Классификация азотных удобрений.** Азотные удобрения в зависимости от формы соединения азота подразделяются в основном на следующие виды:

*нитратные* — натриевая ( $\text{NaNO}_3$ ) и кальциевая [ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ] селитры;

*аммонийные* — сульфат  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  и хлорид аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), карбонат  $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$  и бикарбонат аммония ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ );

*аммонийно-нитратные* — аммонийная селитра ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), сульфонитрат аммония  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{NH}_4\text{NO}_3]$ ;

*аммиачные* — безводный аммиак, аммиачная вода;

*амидные* — мочевины  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$  и цианамид кальция ( $\text{CaCN}_2$ ).

Кроме того, азотные удобрения могут быть представлены смешанными формами (аммиакаты). В отдельную группу выделяют медленнодействующие формы азотных удобрений (мочевиноформальдегидные и капсулированные). Однако их применение пока весьма ограничено.

#### 5.1.3.1. НИТРАТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

К этой группе относятся удобрения, содержащие азот в нитратной форме —  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . В ассортименте азотных удобрений, применяемых в нашей стране, нитратные удобрения имеют небольшой удельный вес (менее 1 %). Однако рассмотрение их свойств, особенностей трансформации в почве и применения представляет интерес с точки зрения лучшего понимания особен-

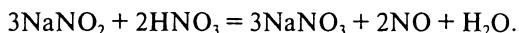
ностей применения других удобрений, в том числе аммонийной селитры.

**Натриевая селитра** (нитрат натрия, азотнокислый натрий, чилийская селитра) —  $\text{NaNO}_3$ . Содержит 15—16 % азота и 26 % натрия.

Чилийская селитра была первым минеральным азотным удобрением. Самое большое месторождение этой соли находилось в Чили. Значительные залежи селитры были обнаружены также в Калифорнии, на юго-западе Африки и в других местах. В настоящее время натриевую селитру получают как побочный продукт при производстве азотной кислоты из аммиака. Не поглощенные водой в окислительных башнях оксиды азота  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  (так называемые «хвостовые газы») пропускают через поглотительные башни, орошаемые раствором соды или  $\text{NaOH}$ . При взаимодействии образуется смесь нитрата и нитрита натрия:



Для перевода нитрита в нитрат смесь подкисляют слабой азотной кислотой:



Оксиды азота вновь возвращают в окислительные башни для окисления в  $\text{NO}_2$ . Подкисленный раствор нейтрализуют, затем выпаривают и центрифугированием отделяют осадок  $\text{NaNO}_3$  от маточного раствора.  $\text{NaNO}_3$  — мелкокристаллическая соль белого, серого или буровато-желтого цвета, хорошо растворяется в воде. Она обладает заметной гигроскопичностью, при повышенной влажности перекристаллизовывается в более крупные кристаллы. В сухом состоянии при правильном хранении не слеживается, сохраняет рассыпчатость и удобна для внесения в почву.

**Кальциевая селитра** (нитрат кальция, азотнокислый кальций, норвежская селитра) —  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Содержит 13—15 % азота.

Как уже упоминалось, кальциевая селитра была первым синтетическим азотным удобрением. Производство ее в промышленных масштабах было начато в 1905 г. в Норвегии.

В наше время кальциевую селитру производят как побочный продукт при получении азотной кислоты из аммиака (в результате насыщения известнякового молока отходящими нитрозными газами —  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ ), а также при производстве комплексных удобрений по методу азотнокислого разложения фосфатного сырья.

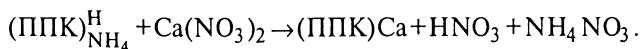
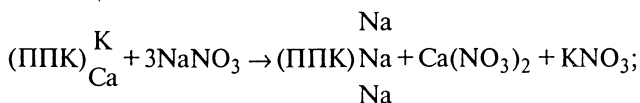
Кальциевая селитра относится к сильногигроскопичным удобрениям. По этому показателю ее балл 9,5 по 10-балльной системе. При обычных условиях хранения она сильно отсыревает, расплывается и слеживается. Поэтому ее перевозят и хранят во влагонепроницаемых мешках. Для уменьшения гигроскопичности каль-

циевую селитру смешивают с гидрофобными добавками (гипс, парафинистый мазут). Для улучшения физических свойств продукта к его раствору в процессе производства добавляют 4—7 % аммиачной селитры. Выпускают также гранулированную кальциевую селитру (15—16 % азота), которую получают путем добавления небольшого количества (4—7 %) нитрата аммония к упаренному сильноконцентрированному раствору кальциевой селитры с последующей ее грануляцией.

**Использование натриевой и кальциевой селитр.** Нитратные удобрения можно применять повсеместно на разных почвах и под все сельскохозяйственные культуры. Однако из-за низкого содержания азота в натриевой и кальциевой селитрах перевозить их на большие расстояния экономически невыгодно. Эти селитры лучше использовать в районах, прилегающих к месту их производства.

Кальциевая селитра для большинства растений совершенно равноценна натриевой селитре. Только при внесении под сахарную свеклу и другие корнеплоды она уступает по эффективности натриевой селитре вследствие положительного действия натрия на эти культуры. Последнее объясняется положительным влиянием Na на отток углеводов из листьев в корни, в результате чего урожай корней и содержание в них сахаров повышаются.

Селитры при внесении в почву быстро растворяются в почвенном растворе. Катионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$  вступают в обменные реакции с почвенным поглощающим комплексом и переходят в обменно-поглощенное состояние:



Анион  $\text{NO}_3^-$  образует с вытесненными из почвенного поглощающего комплекса катионами растворимые соли или азотную кислоту.

Анион  $\text{NO}_3^-$  не подвергается в почве ни физико-химическому, ни химическому поглощению. Он может связываться в почве только путем биологического поглощения, что наблюдается в основном в теплый период года. В осенне-зимний период биологическое поглощение практически отсутствует. Поэтому нитратные формы удобрений не следует вносить осенью, особенно в районах с промывным водным режимом.

Натриевую и кальциевую селитры предпочтительнее применять весной под предпосевную культивацию и в подкормки растений во время их вегетации. И в летний период нитраты из-за их

высокой подвижности на легкодренируемых почвах в условиях влажного климата или при обильном орошении могут вымываться. Поэтому в зонах с влажным климатом и в орошаемых районах под рис и другие культуры предпочтительнее вносить аммиачные, а не нитратные удобрения.

Натриевую селитру можно вносить и в рядки с семенами: кальциевая селитра для этих целей малопригодна ввиду ее высокой гигроскопичности.

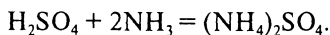
Натриевая и кальциевая селитры — физиологически щелочные удобрения, так как растения в большем количестве используют анион  $\text{NO}_3^-$ , чем катионы  $\text{Na}^+$  или  $\text{Ca}^{2+}$ . Часть катионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$  будет оставаться в почве и подщелачивать ее. Длительное применение нитратных удобрений на кислых дерново-подзолистых почвах оказывает нейтрализующее действие. Систематическое внесение селитр, особенно на легких малобуферных почвах, заметно снижает их кислотность. Поэтому на дерново-подзолистых почвах селитры более эффективны, чем физиологически кислые аммиачные удобрения. Но на черноземных почвах они теряют свое преимущество. Натриевую селитру не рекомендуют вносить на засоленных почвах и солонцах.

#### 5.1.3.2. АММОНИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

К аммонийным удобрениям относят сульфат аммония, хлорид аммония, углекислые соли аммония. Производство их значительно проще, чем нитратных удобрений, так как не требуется окислять аммиак в азотную кислоту.

**Сульфат аммония (сернокислый аммоний)** —  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Химически чистая соль содержит 21,2 % азота, а в техническом продукте, идущем на удобрение, его содержание 20,5 %. В мировом производстве азотных удобрений на долю сульфата аммония приходится около 25 %, а в нашей стране — менее 6 %. Значительный удельный вес сульфата аммония в мировом производстве азотных удобрений объясняется широким применением его в орошаемом земледелии (под рис, хлопчатник) и в районах избыточного увлажнения (тропики).

В России производство сульфата аммония впервые было начато в Донбассе на Шербинском руднике в 1899 г. путем улавливания и нейтрализации серной кислотой аммиака, образующегося в процессе коксования каменного угля (в каменном угле содержится от 0,5 до 1,5 % азота). Принципиальную схему этого способа получения сульфата аммония успешно используют и в настоящее время. Это удобрение можно получать и путем поглощения серной кислотой газообразного синтетического аммиака (синтетический сульфат аммония):





Вследствие экзотермичности этой реакции раствор упаривается, сульфат аммония выпадает из насыщенного раствора в осадок в виде кристаллов, которые отделяют центрифугированием и высушивают. Для производства сульфата аммония серную кислоту можно заменить более дешевыми продуктами — природными минералами: гипсом, мирабилитом (глауберовой солью) или отходом фосфатно-тукового производства — фосфогипсом.

Благодаря низкой стоимости аммиака, получаемого из отходящих коксовых газов, коксохимический сульфат аммония дешевле синтетического. В нашей стране производят в основном коксохимический сульфат аммония.

Сульфат аммония хорошо растворяется в воде. При 20 °С в 100 см<sup>3</sup> воды растворяется 76,3 г (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. В сухом состоянии удобрение обладает хорошими физическими свойствами: гигроскопичность его невелика, оно мало слеживается при хранении, не распыляется на воздухе, сохраняет рассыпчатость и хорошо рассеивается туковой сеялкой.

Сульфат аммония — кристаллическое вещество разной окраски (в зависимости от способа производства). Синтетический сульфат аммония белого цвета, содержит 0,2—0,3 % влаги, а также 0,025—0,05 % свободной серной кислоты, которая придает удобрению слабокислую реакцию. Коксохимический сульфат аммония содержит также небольшое количество органических примесей — смоляных кислот, фенола и немного (не более 0,1 %) роданистого аммония (NH<sub>4</sub>CNS). Эти примеси придают коксохимическому сульфату аммония серую, иногда синеватую и красноватую окраски.

Роданистый аммоний токсичен для растений и при повышенном содержании (более 0,1 %) может оказывать на них вредное воздействие, особенно на почвах с малым количеством гумуса и кальция. Сульфат аммония содержит 23—24 % серы, поэтому является важным источником этого элемента для питания растений.

**Сульфат аммония-натрия** — (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Содержит не менее 16 % азота, около 9 N<sub>2</sub>O и до 2,5 % органических примесей. Он является отходом промышленности. Это кристаллическая соль желтоватого цвета. Является хорошим удобрением для сахарной свеклы и для растений семейства крестоцветных, отзывчивых на серу и натрий. Используется также для подкормки сенокосов и пастбищ.

**Хлорид аммония** — NH<sub>4</sub>Cl. Побочный продукт при производстве соды:



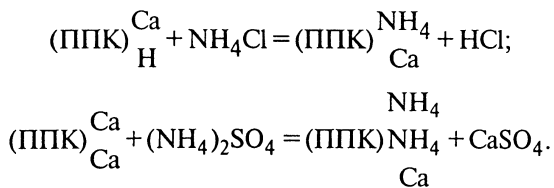
Содержит 24—25 % азота. Хлорид аммония — мелкокристаллический белый или желтоватый порошок. В 100 см<sup>3</sup> воды при 20 °С растворяется 37,2 г NH<sub>4</sub>Cl. Это удобрение обладает хорошими физическими свойствами, малогигроскопично, при хранении не сле-

живается. Имеет высокую физиологическую кислотность и содержит много хлора (66,6 %), который может снизить урожай и качество хлорофобных культур (картофель, табак, виноград, лук, капуста, конопля, лен). Поэтому вносить  $\text{NH}_4\text{Cl}$  удобрение надо заблаговременно, осенью. В этом случае ионы хлора вымываются из корнеобитаемого слоя атмосферными осадками.

**Карбонат  $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$  и бикарбонат аммония  $(\text{NH}_4\text{HCO}_3)$ .** Эти удобрения применяют в сельском хозяйстве в небольших количествах. Карбонат аммония — кристаллическое вещество белого цвета. Получают его насыщением аммиачной воды диоксидом углерода с последующей отгонкой карбоната аммония. Карбонат аммония очень нестойк, на открытом воздухе разлагается с выделением аммиака и переходит в бикарбонат аммония. Технический продукт содержит 21—24 % азота и представляет собой смесь карбоната, бикарбоната и карбамата аммония.

Бикарбонат аммония получают на основе адсорбции газообразного аммиака и диоксида углерода раствором карбоната аммония. Удобрение содержит около 17 % азота. Обладает несколько большей стойкостью по сравнению с карбонатом аммония, но все же при хранении, перевозках и внесении не исключены потери аммиака. При поверхностном внесении бикарбоната аммония его следует немедленно заделывать в почву.

**Использование аммонийных удобрений.** Внесенные в почву аммонийные удобрения быстро растворяются и ион  $\text{NH}_4$  вступает в обменные реакции с катионами твердой фазы почвы. Значительная часть растворенных катионов  $\text{NH}_4^+$  входит в почвенный поглощающий комплекс, а в раствор переходит эквивалентное количество вытесненных катионов:



Переходя в обменно-поглощенное состояние, ион аммония теряет подвижность. Вследствие этого устраняется опасность его вымывания в условиях промывного режима почв.

В то же время, находясь в обменно-поглощенном состоянии, ионы аммония хорошо усваиваются растениями.

В дальнейшем вследствие процесса нитрификации аммонийный азот переходит в нитратную форму. Скорость перехода аммонийного азота в нитратный зависит от наличия необходимых для нитрификации условий (температура, влажность, аэрация, биоло-

гическая активность и реакция почвы). На интенсивность процессов нитрификации заметное влияние оказывает степень окультуренности почв. Например, в микрополевом опыте, проведенном на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве, на 15-й день опыта нитрифицировалось 12 % внесенного сульфата аммония, а на 30-й день — 24 %, в то время как на хорошо окультуренной почве в эти сроки нитрифицировалось соответственно 79 и 96 % внесенного количества удобрения.

Переувлажнение и повышенная кислотность почв заметно тормозят процессы нитрификации аммонийных удобрений. Известкование кислых почв существенно ускоряет этот процесс.

Хлорид аммония нитрифицируется в почве значительно медленнее, чем сульфат аммония, что связано с угнетающим влиянием хлора на деятельность нитрифицирующих бактерий.

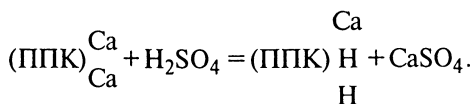
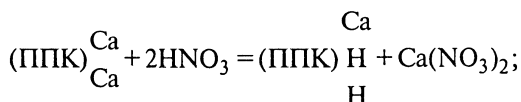
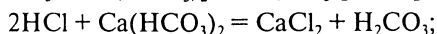
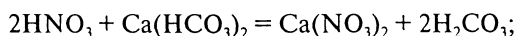
После превращения аммонийного азота в нитратный он приобретает все свойства нитратных удобрений. В результате процесса нитрификации в почве образуется азотная кислота и освобождается соляная или серная кислота:



или



В почве эти кислоты нейтрализуются, вступая во взаимодействие с бикарбонатами почвенного раствора и катионами почвенного поглощающего комплекса:



Нейтрализация минеральных кислот сопровождается использованием бикарбонатов почвенного раствора и вытеснением оснований из почвенного поглощающего комплекса водородом. Это несколько ослабляет буферную способность почвы и повышает ее кислотность.

Изменение реакции почвы при внесении аммонийных удобрений вызывается и их физиологической кислотностью. Из  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и  $\text{NH}_4\text{Cl}$  растения быстрее поглощают катион, чем ани-

он, так как потребность их в азоте больше, чем в сере и хлоре. В почве накапливаются кислотные остатки, которые подкисляют ее.

Однократное внесение аммонийных удобрений может не повлиять на реакцию почвы. Однако систематическое, в течение ряда лет, их применение сопровождается заметным подкислением почвенной среды. Степень подкисления будет тем больше, чем меньше буферная способность почв.

На дерново-подзолистых и серых лесных почвах с невысоким содержанием суммы поглощенных оснований и органического вещества подкисление почвы проявляется быстрее и заметнее по сравнению с черноземами и каштановыми почвами, богатыми органическим веществом и кальцием. Например, многолетнее применение сульфата аммония (в составе NPK) на серой лесной почве привело к заметному увеличению ее гидролитической кислотности, уменьшению суммы поглощенных оснований и степени насыщенности основаниями (табл. 46).

**46. Влияние удобрений на кислотность и сумму поглощенных оснований серой лесной почвы (по данным НИИ лубяных культур)**

| Удобрение  | Обменная кислотность | Гидролитическая кислотность | Сумма поглощенных оснований | Степень насыщенности основаниями, % |
|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
|  | мг · экв/100 г почвы |                             |                             |                                     |
| Контроль (без удобрений)   | 0,4                  | 11,3                        | 14,3                        | 55,8                                |
| Навоз, 40 т/га   | 0,4                  | 9,8                         | 17,7                        | 64,4                                |
| NPK в дозах, эквивалентных по содержанию 40 т навоза [азот в форме (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ] | 0,5                  | 14,2                        | 9,3                         | 39,4                                |

Приведенные особенности трансформации аммонийных удобрений в почвах во многом определяют технологию их эффективного применения. Эти удобрения вносят преимущественно до посева в качестве основных, причем их можно вносить не только весной, но и осенью, не опасаясь вымывания азота.

Эффективность использования аммонийных удобрений в первую очередь зависит от степени кислотности и буферности почв и биологических особенностей сельскохозяйственных культур.

Многолетнее применение сульфата аммония на малобуферных слабокультуренных дерново-подзолистых почвах вызывает дальнейшее их подкисление. При этом ухудшаются условия роста растений и снижается эффективность удобрения. Для усиления действия аммонийных удобрений на таких почвах необходимо предварительно проводить известкование. Рекомендуется также нейтрализовать сульфат аммония и хлорид аммония перед внесением их в почву из расчета 130—140 кг извести на 100 кг удобрений. Можно использовать и другие известковые материалы. Нейтрализацию аммонийных удобрений необходимо проводить непосред-

ственно перед их внесением в почву путем тщательного перемешивания удобрений с известью.

На почвах Нечерноземной зоны при использовании фосфоритной муки аммонийные удобрения могут повышать эффективность фосфоритования. Физиологическая кислотность этих удобрений способствует растворению трехкальциевых фосфатов, переходу их в более подвижные, доступные для растений формы. В таких случаях аммонийные удобрения помимо прямого оказывают и косвенное действие, улучшая снабжение растений не только азотом, но и фосфором.

Эффективность аммонийных удобрений во многом зависит и от особенностей выращиваемых культур. Менее чувствительные к кислой реакции культуры (рожь, овес, картофель, лен, гречиха) слабее реагируют на подкисляющее действие этих удобрений. Культуры же, чувствительные к повышенной кислотности почвы (корнеплоды, большинство овощных и бобовых, ячмень, пшеница, подсолнечник и др.), скорее начнут страдать при многократном применении аммонийных удобрений.

Нельзя забывать и о том, что в составе  $\text{NH}_4\text{Cl}$  содержится 66,6 % хлора. Культуры, чувствительные к повышенному содержанию хлора (картофель, табак, виноград, овощные, лен, гречиха, плодово-ягодные), отрицательно реагируют на него. Например, в картофеле под влиянием избытка хлора снижается содержание крахмала. Под хлорофобные культуры лучше применять сульфатную форму аммония или же вносить хлорид аммония заблаговременно осенью, чтобы избыток хлора вымывался за осенне-зимний период из пахотного слоя. Для зерновых культур, сахарной свеклы при обычных дозах азота хлорид и сульфат аммония, как правило, оказываются равноценными.

Аммонийный азот из-за слабой подвижности локализуется в почве в очагах его внесения. Поэтому аммонийные удобрения малопригодны для междурядных подкормок пропашных культур. В начальные фазы роста корневая система этих культур развита слабо и не всегда достигает зоны внесения удобрений.

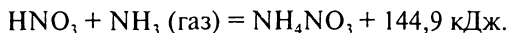
Не следует применять аммонийные удобрения и для припосевного внесения в рядки или под предпосевную культивацию, так как интенсивное поступление аммиачного азота в молодые проростки растений может привести к их «аммиачному отравлению» вследствие его избыточного накопления в растениях.

#### 5.1.3.3. АММОНИЙНО-НИТРАТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

К этой группе относятся удобрения, содержащие азот в аммонийной и нитратной формах — аммонийная селитра и сульфонитрат аммония.

**Аммонийная селитра** (нитрат аммония) —  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Традицион-

ное название — аммиачная селитра — неточное. Правильнее называть это удобрение аммонийной селитрой. Она содержит 34,6 % нитратного и аммонийного азота в соотношении 1 : 1. Ее получают нейтрализацией азотной кислоты газообразным аммиаком:



Раствор нитрата аммония упаривают, затем подвергают перекристаллизации и высушиванию. В процессе упаривания используют выделяющуюся теплоту реакции нейтрализации. Получается белое кристаллическое вещество, содержащее 98—99 %  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Примесями являются в основном добавки, вносимые в аммонийную селитру для улучшения ее физических свойств.

Удобрение очень хорошо растворяется в воде. При 20 °С в 100 г воды растворяется 192 г нитрата аммония. Он очень гигроскопичен, на воздухе сильно отсыревает и слеживается. Аммонийная селитра в зависимости от температурных условий может существовать в нескольких (пяти) кристаллических формах. Переходы из одной формы в другую могут происходить, в частности, при температурах +32,1 и –16 °С. Если, например, нитрат аммония хранили при температуре 15—20 °С, а потом температура поднялась до 32,1 °С и выше или, наоборот, опустилась ниже –16 °С, то будет происходить перекристаллизация одной формы удобрения в другую с заметным увеличением его объема. При этом удобрение сильно уплотняется, превращается в твердые комья, глыбы, а мешки, в которых оно хранилось, могут лопнуть.

Для уменьшения слеживаемости к плаву азотнокислотного аммония добавляют небольшое количество кондиционирующих веществ (тонкоразмолотая фосфоритная мука, гипс, каолинит, нитрат магния, жирные кислоты и их амины и др.), способных поглощать значительное количество влаги и способствовать увеличению плотности и прочности гранул. Эти добавки придают селитре желтый оттенок. Иногда в качестве добавки вводят фиксин, который придает ей красный цвет.

Физические свойства аммонийной селитры в значительной степени зависят от размеров и формы получаемых кристаллов и гранул. В настоящее время химическая промышленность производит аммонийную селитру в гранулированном виде (с диаметром гранул 1—4 мм) и в виде чешуек (чешуйчатая селитра). Гранулированная аммонийная селитра обладает хорошими физическими свойствами.

Содержание влаги в селитре не должно превышать 0,3 %, реакция удобрения нейтральная или слабокислая.

Эффективным средством для предотвращения увлажнения и уменьшения слеживаемости нитрата аммония является упаковка его в плотную, хорошо герметизированную тару — полиэтиленовые или ламинированные бумажные мешки. При хранении мешки

с нитратом аммония нельзя складывать в высокие бурты или штабеля, так как удобрение в нижних слоях бурта будет сильно уплотняться и слеживаться.

Следует также иметь в виду, что нитрат аммония огнеопасен и при определенных условиях может взрываться. При нагревании до 200—270 °С удобрение начинает разлагаться с выделением тепла и кислорода, способствующего горению. При быстром нагревании до 400—500 °С происходит разложение со взрывом. Практически для него взрывоопасна температура 300 °С.

Аммонийная селитра — одно из наиболее эффективных азотных удобрений. Впервые в чистом виде нитрат аммония стали применять в нашей стране. Это безбалластное удобрение. Стоимость перевозки и внесения в почву содержащегося в нем азота значительно ниже, чем у других азотных удобрений (за исключением мочевины и жидкого аммиака). В этом удобрении удачно сочетается подвижный нитратный азот с менее подвижным аммонийным азотом, что дает возможность широко варьировать способами, дозами и сроками его использования в зависимости от почвенно-климатических условий и особенностей культур.

Аммонийная селитра при внесении в почву быстро растворяется почвенной влагой. Опытами Д. Н. Прянишникова и его учеников установлено, что из раствора нитрата аммония растения быстрее поглощают катионы  $\text{NH}_4^+$ , чем анионы  $\text{NO}_3^-$ . Поэтому нитрат аммония относят к группе физиологически кислых удобрений. Однако физиологическая кислотность значительно ниже, чем у аммонийных удобрений. После внесения удобрения в почву катион аммония вступает в реакцию с почвенным поглощающим комплексом (по типу аммонийных удобрений), а нитратный анион остается в почвенном растворе (по аналогии с нитратными удобрениями).

В кислых дерново-подзолистых почвах внесение нитрата аммония может вызвать дальнейшее подкисление почвенного раствора, которое носит временный характер: с поглощением нитратного азота растениями оно исчезает. Однако снижение pH почвенного раствора может ослабить начальный рост и развитие молодых растений, усилить растворение токсичных для растений соединений алюминия. Нитрификация также вызывает временное подкисление, особенно в малобуферных почвах.

Для повышения эффективности аммонийной селитры при ее внесении в кислые почвы большое значение имеет их своевременное известкование. Отрицательное влияние потенциальной кислотности может быть устранено также путем нейтрализации удобрения известью или доломитом (на 1 т удобрения 1 т  $\text{CaCO}_3$ ).

Аммонийную селитру применяют в качестве как допосевного (основного), так и рядкового (при посеве) удобрения, а также для подкормок в период вегетации.

В условиях влажного климата, особенно на легких по грануло-

метрическому составу почвах, где возможно вымывание нитратного азота, внесение нитрата аммония осенью под зяблевую вспашку менее эффективно, чем весной под предпосевную культивацию. В менее увлажненных районах аммонийную селитру можно вносить и осенью, не опасаясь вымывания азота. В небольших дозах (10—15 кг N) ее вместе с фосфорными и калийными удобрениями вносят также в рядки при посеве сахарной свеклы и овощных культур, в лунки при посадке картофеля.

Аммонийную селитру широко используют и для ранневесенней подкормки озимых культур и многолетних трав. Ее можно применять и для подкормки пропашных и овощных культур во время их междурядной обработки с обязательной заделкой удобрения на глубину 10—15 см культиваторами-растениепитателями.

**Сульфонитрат аммония** (сульфат-нитрат аммония, лейна-селитра, монтан-селитра) —  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{NH}_4\text{NO}_3$  с примесью  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Содержит 25—27 % N, в том числе в аммонийной форме 18—19 % и в нитратной форме 7—8 %. Сероватое мелкокристаллическое или гранулированное вещество. Получается путем механического смешивания 65 % сульфата аммония и 35 % нитрата аммония или внесения сухого сульфата аммония в сплав нитрата с последующим высушиванием и измельчением смеси (такой продукт получил название лейна-селитра). Другой способ — нейтрализация серной и азотной кислот аммиаком (такой продукт получил название монтан-селитра).

Сульфат-нитрат аммония хорошо растворяется в воде, обладает меньшей гигроскопичностью по сравнению с аммонийной селитрой. При хранении в сухом помещении не слеживается, сохраняет рассыпчатость.

По действию на растения в условиях различных почв сульфонитрат аммония близок к сульфату аммония. Он обладает значительной потенциальной кислотностью; применение его на кислых почвах требует предварительного их известкования или нейтрализации самого удобрения.

**Известково-аммонийная селитра** —  $\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ . Ее получают сплавлением нитрата аммония с известняком. Это удобрение выпускают в виде гранул с различным соотношением  $\text{NH}_4\text{NO}_3 : \text{CaCO}_3$  (от 80 : 20 до 53 : 47). Наилучшие физико-механические свойства имеет продукт с содержанием азота 20,5 % (при соотношении 60 %  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и 40 %  $\text{CaCO}_3$ ). Однако предпочитают производить удобрение с более высоким содержанием азота — 26—28 %. По сравнению с чистой аммонийной селитрой это удобрение менее гигроскопично, невзрывоопасно и может транспортироваться навалом (без тары). За границей известково-аммонийную селитру используют довольно широко, особенно в странах Западной Европы. В нашей стране ее не выпускают в связи с плохой транспортабельностью (из-за пониженного содержания азота).



## 5.1.3.4. ЖИДКИЕ АММИАЧНЫЕ УДОБРЕНИЯ

В качестве жидких аммиачных удобрений применяют жидкий (безводный) и водный (аммиачная вода) аммиак. Жидкие аммиачные удобрения усваиваются растениями и дают такой же эффект, как и твердые азотные удобрения. Производство их проще и дешевле, чем твердых удобрений. Например, себестоимость единицы азота в жидком аммиаке примерно на 35 % ниже, чем в самом дешевом твердом азотном удобрении — аммонийной селитре.

Применение жидких азотных удобрений позволяет полностью механизировать работы по их погрузке, выгрузке и внесению. На их внесение затрачивается в 2—3 раза меньше труда, чем на внесение твердых азотных удобрений. К тому же жидкие удобрения более равномерно распределяются в почве. Жидкие азотные удобрения не обладают такими отрицательными свойствами твердых удобрений, как слеживаемость, сегрегация (расслоение) и т. д.

Наряду с преимуществами при производстве и применении жидких удобрений имеются определенные трудности и недостатки. Для хранения таких удобрений требуются резервуары большой вместимости, так как они расходуются в течение непродолжительного времени года. Необходимы: организация распределительных пунктов вблизи районов потребления жидких удобрений, создание специального оборудования для внесения их в почву, а также парка цистерн (автомобильных и железнодорожных) для их перевозки.

**Жидкий аммиак** —  $\text{NH}_3$ . Это самое концентрированное безбалластное удобрение. Содержит 82,3 % азота. Получают его путем сжижения газообразного аммиака под давлением. Это бесцветная подвижная жидкость плотностью 0,61 при 20 °С. Температура замерзания — 77,7 °С, температура кипения 34 °С. При более высокой температуре быстро превращается в газ, и объем его увеличивается. При хранении в открытых сосудах  $\text{NH}_3$  быстро испаряется с поглощением тепла, в результате чего происходит сильное охлаждение предметов, соприкасающихся с жидким аммиаком. Жидкий аммиак обладает высокой упругостью паров:

|                            |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Давление паров аммиака, Па | 192·10 <sup>3</sup> | 293·10 <sup>3</sup> | 424·10 <sup>3</sup> | 616·10 <sup>3</sup> | 859·10 <sup>3</sup> | 116·10 <sup>4</sup> | 178·10 <sup>4</sup> |
| Температура, °С            | −20                 | −10                 | 0                   | 10                  | 20                  | 30                  | 40                  |

Чтобы избежать улетучивания жидкого аммиака, его хранят и перевозят в специальных стальных цистернах, рассчитанных на давление в 2,5—3,0 МПа.

Жидкий аммиак — сильнодействующее отравляющее вещество; смесь его с воздухом при объемной концентрации аммиака 15—27 % взрывоопасна. Взрыв может произойти от малейшей искры.

При попадании жидкого аммиака на кожу возникают ожоги, а при его испарении — обмороживание.

Внесенный в почву жидкий аммиак превращается в газ, который адсорбируется почвенными коллоидами и поглощается почвенной влагой, образуя гидроксид аммония. Аммиак очень хорошо растворяется в воде: 1 объем воды при 20 °С растворяет 702 объема аммиака при парциальном давлении  $\text{NH}_3$ , равном атмосферному. Взаимодействуя с анионами почвенного раствора, гидроксид аммония дает различные соли и, вступая в физико-химическое взаимодействие с почвенными коллоидами, поглощается твердой фазой почвы.

Скорость и степень адсорбции аммиака почвой зависят от емкости ее поглощения и влажности, а также от способа и глубины заделки в нее удобрения. На тяжелых, богатых органическим веществом и нормально увлажненных почвах аммиак поглощается лучше, чем на легких, бедных гумусом почвах. Поэтому на легких почвах удобрение продолжительное время сохраняется в виде  $\text{NH}_3$  и способно улетучиваться. Из влажной почвы аммиак улетучивается значительно слабее, чем из сухой.

В первые дни после внесения жидкого аммиака в результате образования гидроксида аммония реакция почвы смещается в сторону подщелачивания (до pH 9). В зоне внесения удобрения высокая концентрация аммиака вызывает временную стерилизацию почвы, что, в частности, приостанавливает и процесс нитрификации аммиачного азота. Однако уже через 1—2 нед численность микроорганизмов в почве восстанавливается и процесс нитрификации возобновляется. Дальнейшая интенсивность нитрификации зависит от наличия необходимых для этого процесса условий. В оптимальных условиях полная нитрификация внесенного аммиака завершается в течение месяца.

**Водный аммиак** (аммиачная вода) —  $\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ . Это раствор синтетического или коксохимического аммиака в воде. Он представляет собой прозрачную жидкость, иногда желтоватого оттенка. Содержание свободного аммиака в ней значительно больше, чем гидроксида аммония. Этим обусловлена возможность потерь  $\text{NH}_3$  во время транспортировки, хранения и внесения удобрений вследствие его улетучивания. Водный аммиак выпускают двух сортов: первый сорт содержит 20,5 % азота (25%-ный аммиак), второй — 16,4 % азота (20%-ный аммиак). Коксохимический водный аммиак, кроме того, содержит сероводород и незначительные количества фенолов, роданистых, цианистых и некоторых других соединений.

Аммиачная вода характеризуется невысокой упругостью паров аммиака (25%-ный водный аммиак — 0,15 кгс/см<sup>2</sup> при 40 °С), не разрушает черные металлы, замерзает только при очень низкой температуре (25%-ный аммиак при –56 °С, 20%-ный — при –33 °С). Поэтому ее можно хранить и перевозить в герметических резервуарах из обычной углеродистой стали, рассчитанных на невысокое давление (0,4 кгс/см<sup>2</sup>). Аммиачная вода, как и жидкий аммиак, вы-

зывает коррозию цветных металлов (меди, цинка, олова) и их сплавов (бронзы, латуни). Поэтому насосы, краны и клапаны для резервуаров с аммиачной водой изготавливают из черных металлов или чугуна. Алюминий и резину аммиачная вода не повреждает.

При внесении аммиачной воды в почву аммиак адсорбируется почвенными коллоидами и поэтому слабо передвигается. С течением времени аммиачный азот нитрифицируется и приобретает большую подвижность, мигрируя с почвенным раствором. Использование аммиачной воды в качестве удобрения технически проще и безопаснее, чем жидкого аммиака. Существенным недостатком ее является низкое содержание азота, в результате чего увеличиваются затраты, связанные с транспортировкой, хранением и внесением удобрения в почву. Поэтому применение аммиачной воды целесообразно только в хозяйствах, расположенных недалеко от предприятий, производящих это удобрение.

Жидкие азотные удобрения вносят специальными машинами, обеспечивающими немедленную заделку их на глубину не менее 10—12 см на тяжелых почвах и 14—18 см на легких. При такой заделке жидких удобрений аммиак не улетучивается из почвы. Возможны некоторые его потери только на сильнокарбонатных почвах, имеющих щелочную реакцию. Поверхностное внесение жидких азотных удобрений недопустимо, так как аммиак быстро улетучивается. При мелкой заделке их в сухой верхний слой почвы также возможны значительные потери аммиака, особенно на легких почвах.

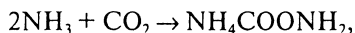
Жидкие азотные удобрения применяются в качестве основного (допосевного) удобрения под все сельскохозяйственные культуры. Вносить их можно как весной перед посевом, так и осенью. Однако на легких почвах, имеющих низкую емкость поглощения катионов, внесение высоких доз этих удобрений с осени сопряжено с возможной потерей аммиака, так как часть его не будет адсорбирована почвенным поглощающим комплексом.

Жидкие азотные удобрения можно применять и для подкормки пропашных культур при междурядной обработке почвы. Для того чтобы не повредить молодые растения избыточной концентрацией аммиака, удобрения вносят в середину междурядий или на расстоянии 15—10 см от рядков растений. Для равномерного распределения аммиачного азота в почве большое значение имеют последующие междурядные обработки почвы. По мере нитрификации аммиака образующиеся нитраты передвигаются с почвенной влагой в зону, доступную для корней растений. Интенсивность нитрификации зависит от свойств почвы — в черноземах и на окультуренных дерново-подзолистых почвах она проходит быстрее, чем в кислых подзолистых почвах. Синтетический водный аммиак нитрифицируется быстрее, чем коксотический, так как последний содержит примеси, обладающие небольшим ингибирующим эффектом для бактерий-нитрификаторов.

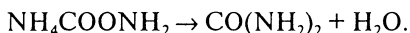
Проведенные с различными культурами опыты по изучению эффективности жидких азотных удобрений показали, что при их правильном применении в равных по азоту дозах они по эффективности не уступают аммиачной селитре. В настоящее время жидкие азотные удобрения, особенно жидкий аммиак, в наибольших масштабах применяют в США.

#### 5.1.3.5 УДОБРЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИЕ АЗОТ В АМИДНОЙ ФОРМЕ

**Мочевина (карбамид)** —  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Содержит 46 % азота. Это самое концентрированное из твердых азотное удобрение. Азот в мочеvine находится в органической форме в виде амида карбамидной кислоты. Исходными продуктами для производства синтетической мочевины служат аммиак и диоксид углерода. Получают ее в результате взаимодействия аммиака и диоксида углерода при высоких давлениях (от  $30,3 \cdot 10^5$  до  $202 \cdot 10^5$  Па) и температуре  $150\text{—}220^\circ\text{C}$ . При этом вначале образуется карбомат аммония:



а затем при дегидратации карбомата аммония — мочевина:



Мочевина — белое или желтоватое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде: при  $20^\circ\text{C}$  в  $100\text{ см}^3$  воды растворяется 51,8 г мочевины. Гигроскопичность ее сравнительно небольшая; при температурах до  $20^\circ\text{C}$  по степени гигроскопичности она близка к сульфату аммония, но при более высоких температурах мочевина поглощает влагу из воздуха сильнее, чем сульфат аммония. При хранении кристаллическая мочевина может слеживаться и рассыпаемость ее ухудшается. Поэтому промышленность выпускает мочевины для удобрения в гранулированном виде с размером гранул  $1\text{—}3$  мм. В процессе грануляции гранулы покрывают небольшим количеством гидрофобных добавок. Гранулированная мочевина обладает значительно лучшими физическими свойствами, практически не слеживается, сохраняет хорошую рассыпаемость.

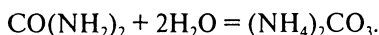
Однако в процессе грануляции под влиянием повышенной температуры в мочеvine образуется биурет:



При высоком содержании (более 3 %) биурет становится токсичным для растений и при внесении мочевины, содержащей более 3 % биурета, непосредственно перед посевом угнетает растения.

В почве биурет разлагается в течение 10—15 дней. Поэтому при внесении мочевины заблаговременно за 1 мес до посева, даже при высоком содержании в ней биурета, отрицательного действия его на молодые растения не наблюдается. В настоящее время гранулированную мочевины выпускают с содержанием биурета не более 1 %. При таком содержании биурет не оказывает угнетающего действия на развитие проростков растений независимо от срока внесения мочевины.

При внесении в почву мочевины полностью растворяется почвенной влагой и под действием уреазы растительных остатков и микрофлоры быстро аммонифицируется, превращаясь в карбонат аммония:

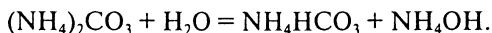


При благоприятных условиях на окультуренных почвах превращение мочевины в карбонат аммония происходит за 1—3 дня. На малоплодородных песчаных и переувлажненных почвах процесс аммонификации идет медленнее (до трех недель). Растворенная в почвенном растворе мочевина, пока она не подвергалась аммонификации, может вымываться из почвы.

Карбонат аммония — соединение непрочное. На воздухе он разлагается с образованием бикарбоната аммония и газообразного аммиака:



Поэтому при поверхностном внесении мочевины без заделки в почву и при отсутствии осадков могут происходить заметные потери азота в виде аммиака. Эти потери азота сильнее выражены на почвах с нейтральной и щелочной реакциями. В почве карбонат аммония подвергается гидролизу с образованием бикарбоната аммония и  $\text{NH}_4\text{OH}$ :



Таким образом, на стадии аммонификации мочевины происходит временное подщелачивание почвы. Со временем аммоний подвергается нитрификации и реакция почвы сдвигается в кислую сторону. Однако по мере усвоения азота растениями в почве не остается ни щелочных, ни кислотных остатков удобрений.

Мочевину применяют в качестве основного удобрения на всех почвах под различные сельскохозяйственные культуры. При этом ее эффективность в условиях богарного земледелия равноценна эффективности аммонийной селитры, а в орошаемых условиях — сульфату аммония. При промывном водном режиме почв (на легких почвах и при орошении) мочевина более эффективна, чем аммонийная селитра, так как амидный азот мочевины, быстро пре-

вращаясь в аммиачный, поглощается почвой и меньше вымывается из корнеобитаемого слоя.

Мочевину применяют для ранневесенней подкормки озимых культур с последующей немедленной заделкой ее боронованием. Опыты показали, что заделка мочевины в почву даже на 1,5 см резко сокращала потери аммиака. Мочевину можно с успехом применять для подкормки пропашных и овощных культур культиваторами-растениепитателями. Однако при поверхностном внесении мочевины на сенокосах и пастбищах эффективность ее по сравнению с аммиачной селитрой на 15—20 % ниже. Это объясняется значительными (до 20 %) потерями азота в форме аммиака в результате интенсивной аммонификации карбамида под влиянием уреазы растительных остатков сенокосов и пастбищ.

Мочевина — лучшая среди азотных удобрений форма для некорневых подкормок растений, так как в отличие от других удобрений она даже в повышенной концентрации (1%-ный раствор) не обжигает листья и хорошо используется растениями. Карбамид может поглощаться клетками листьев в виде целой молекулы и усваиваться растениями не только в виде аммиака после аммонификации, но и путем прямого вовлечения его в цикл превращений азотистых веществ.

При использовании мочевины в качестве припосевного удобрения (в рядки) возможно замедление прорастания семян и появления всходов из-за того, что при ее разложении образуется избыточное (угнетающее) количество свободного аммиака.

Вследствие высокой концентрации азота в мочеvine ее необходимо равномерно распределять при внесении в почву. Для более равномерного рассева мочеvinу непосредственно перед внесением в почву тщательно смешивают с другими удобрениями.

Мочевина — ценное азотное удобрение. Высокая концентрация азота и хорошие физические свойства позволяют считать ее наиболее перспективным видом твердого азотного удобрения.

В мировом ассортименте азотных удобрений удельный вес мочевины постоянно увеличивается. Этому, в частности, способствует и разработанная в странах Западной Европы и Японии прогрессивная технология ее производства с более низкой по сравнению с производством аммонийной селитры себестоимостью.

#### 5.1.3.6. СМЕШАННЫЕ ФОРМЫ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

**Аммиакаты.** Представляют собой растворы аммонийной селитры, мочевины или других азотных удобрений в водном аммиаке. Они очень разнообразны как по общему содержанию азота, так и по соотношению его различных форм: свободного аммиака, связанного аммиака, амидного, нитратного и аммонийного азота. Получают аммиакаты в заводских условиях путем введения в ам-

миачную воду растворов аммонийной селитры, мочевины или смеси удобрений.

Аммиакаты — жидкости светло-желтого цвета. В зависимости от состава упругость паров аммиака в них составляет при температуре 32 °С от 0,2 до 3,6 атм. По степени упругости паров аммиакаты разделяют на две группы: с умеренной упругостью паров (0,2—0,7 атм) содержат 35—40 % азота, а с повышенной упругостью паров (0,7—3,6 атм) — 40—50 % азота. Аммиакаты заметно отличаются температурой начала кристаллизации (от 14 до 70 °С). Поэтому зимой на период хранения необходимо выпускать аммиакаты с низкой, а летом — с более высокой температурой кристаллизации.

Аммиакаты вызывают коррозию сплавов с медью и черных металлов, поэтому емкости и оборудование для их хранения и применения изготавливают из специальных легированных сталей, алюминия и его сплавов или применяют обычные стальные цистерны с защитным антикоррозийным покрытием. Азот в аммиакатах представлен на 20—40 % аммиаком и на 60—80 % азотом аммонийной селитры или мочевины.

При применении аммиакатов, как и других жидких азотных удобрений, содержащих аммиак, соблюдают необходимую глубину их заделки на почвах разного гранулометрического состава. Следует учитывать, что в почве диффузия аммиака, как правило, не превышает 8—10 см, поэтому расстояние между сошниками при внесении аммиакатов не должно быть более 20—25 см. При использовании аммиакатов для подкормки пропашных культур расстояние между сошниками устанавливают по ширине междурядий.

По действию на урожай сельскохозяйственных культур аммиакаты (в сопоставимых дозах) равноценны твердым азотным удобрениям. У нас в стране наиболее широкое применение получили углеаммиакаты — растворы карбоната и бикарбоната аммония и мочевины, содержащие 4—7 % свободного аммиака и 18—35 % общего азота.

**КАС — водные растворы карбамида и аммонийной селитры.** Смесь водных растворов карбамида и аммонийной селитры (КАС) с содержанием азота 28—32 % имеет целый ряд преимуществ перед другими твердыми и жидкими азотными удобрениями. Растворы КАС практически не содержат свободного аммиака, поэтому они более технологичны и удобны в обращении. Их можно хранить даже в открытых резервуарах, не опасаясь потерь азота. В растворах КАС создается эффект взаимного растворения (карбамида и аммонийной селитры), что позволяет получать удобрения с более высокой концентрацией азота без риска высаливания (выпадения кристаллов). Это прозрачные или желтоватые жидкости с плотностью 1,26—1,33 г/см<sup>3</sup>. Реакция их раствора нейтральная или слабощелочная.

Растворы КАС получают в заводских условиях из неупаренных плавлен карбамида и аммонийной селитры, то есть полупродуктов

этих удобрений. Выпуск таких растворов исключает проведение ряда дорогостоящих и энергоемких операций: упаривание, гранулирование, кондиционирование, упаковка. Поэтому единица азота в КАС стоит значительно меньше, чем в твердых удобрениях.

Изменяя соотношение исходных компонентов, можно получать КАС с различной температурой высаливания (табл. 47). Это позволяет использовать различные марки КАС дифференцированно в зависимости от районов их использования, сроков (и сезона) хранения и т. д.

**47. Состав и свойства растворов различных марок КАС**

| Состав и свойства растворов          | 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/м³          | 1,28   | 1,30   | 1,33   |
| Температура выпадения кристаллов, °С | -18    | -10    | -2     |

Марки растворов КАС следует подбирать с условием, чтобы при низкой температуре не происходило выпадение кристаллов солей, входящих в состав удобрения. Иначе кристаллы могут закупорить вентили и трубопроводы емкостей при хранении, а также средств транспортировки и машин для внесения удобрений.

На основе растворов КАС можно готовить комплексные удобрения, в состав которых вводят различные макро- и микроэлементы.

Перевозить растворы КАС можно в обычных железнодорожных цистернах из углеродистой стали и в автоцистернах, используя ингибиторы коррозии. КАС имеет высокую плотность. Так, при равном объеме удобрений в КАС-32 содержится в 1,3 раза больше азота, чем в гранулированной мочеvine, и в 1,5 раза больше, чем в аммиачной селитре. Это позволяет значительно сократить затраты на транспортировку и хранение удобрений. Для внутрихозяйственных перевозок и внесения КАС в почву можно использовать ту же технику, что и для жидких комплексных удобрений, аммиачной воды и гербицидов.

Растворы КАС применяют как для основного внесения удобрений, так и для подкормок. Можно использовать разные способы основного внесения удобрения: непосредственно в почву или поверхностно (с последующей заделкой в почву). Это удобрение можно рекомендовать и для корневых подкормок пропашных культур, и для некорневых подкормок зерновых культур.

Наличие целого ряда преимуществ растворов КАС перед другими удобрениями (низкие себестоимость, затраты на транспортировку, хранение и применение, полная механизация всех погру-



зочно-разгрузочных работ, высокая точность и равномерность внесения и др.) делает это удобрение одним из наиболее перспективных азотных удобрений.

#### 5.1.3.7. МЕДЛЕННОДЕЙСТВУЮЩИЕ ФОРМЫ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Хорошая растворимость и подвижность в почве азотных удобрений не всегда полезны. В условиях промывного водного режима, особенно на легких почвах, нитратные формы удобрений вымываются из корнеобитаемого слоя. То же происходит и с аммонийными формами по мере их трансформации в нитраты. Значительны (в среднем 15—20 %) и газообразные потери азота в процессе денитрификации. Все это снижает эффективность применения азотных удобрений. Поэтому в последние годы начато производство медленнодействующих форм азотных удобрений.

Медленнодействующие удобрения подразделяются на две группы: первая объединяет слаборастворимые в воде удобрения (конденсаты мочевины и различных альдегидов), вторая — капсулированные удобрения, то есть удобрения, гранулы которых покрыты тонкими труднорастворимыми пленками — формальдегидной или акриловой смолой, серой, стеарином и т. д.

Для получения медленнодействующих удобрений используют различные альдегиды: формальдегид, ацетальдегид, кротоновый и изомасляный альдегиды и др. При этом получают соответственно следующие удобрения: мочевиноформальдегидное удобрение (МФУ), или уреаформ, содержащее 38—40 % азота (в том числе 28—32 % нерастворимого в воде), кротонилидендимочевина (КДМ) с содержанием азота около 32 %, изобутилендимочевина (ИБДМ), содержащая 31 % слаборастворимого в воде азота, мочевино-формальдегид (МФАА) и др.

Конденсацию проводят в концентрированных растворах обычно при эквимолярном (равномолярном) соотношении мочевины и формальдегида, подкислении реакции среды до pH 3 и при температуре 30—60 °С. Образующийся конденсат отфильтровывают, высушивают и размалывают. Получается белый рассыпчатый порошок, который не слеживается и хорошо рассеивается.

Труднорастворимые формы азотных удобрений перспективны для районов с избыточным увлажнением и на орошаемых землях, а также при внесении под овощные культуры, лугопастбищные травы, травостой на спортплощадках и газонах, под которые азот вносят в высоких дозах и обычно в несколько приемов.

При внесении в обычных дозах эти удобрения в первый год менее эффективны, чем мочевина. Однако при больших дозах внесения они не создают избыточно высокой вредной концентрации почвенного раствора, азот почти не вымывается и меньше теряется в результате денитрификации, но по мере их разложения в течение длительного времени используется растениями.

Эти удобрения можно вносить в высоких дозах один раз в два-три года, не опасаясь вымывания азота. В этом случае обеспечивается питание азотом первой культуры и наблюдается значительное последствие удобрения на последующие культуры.

Недостатком медленнодействующих удобрений является высокая стоимость их по сравнению с обычными легкорастворимыми азотными удобрениями. Кроме того, скорость высвобождения азота из удобрения не всегда соответствует характеру поглощения этого элемента большинством культур в течение вегетации, чем и объясняется меньшая по сравнению с мочевиной эффективность их в год внесения. Вследствие этого медленнодействующие удобрения пока не имеют широкого применения.

В настоящее время начато производство и опытное применение капсулированных азотных удобрений. Для этого используют обычные водорастворимые формы удобрений, но их гранулы покрывают пленками, через которые медленно и трудно проникает влага. Капсулированные азотные удобрения обладают улучшенными физико-механическими свойствами: они менее гигроскопичны, гранулы механически более прочны, не слеживаются при хранении. Из гранул этих удобрений происходят постепенное высвобождение азота и его усвоение растениями по мере окисления и разрушения пленок. Подбором состава и толщины пленок можно получать удобрения с заданной интенсивностью отдачи азота в соответствии с биологическими особенностями сельскохозяйственных культур с учетом периодичности их питания.

Капсулированные азотные удобрения используются растениями в процессе вегетации лучше и равномернее, что положительно сказывается на урожае и качестве продукции.

Проведенные опыты показали, что применение капсулированных азотных удобрений перспективно под рис, на лугах и пастбищах длительного пользования, а также под овощные культуры, особенно в районах с большим количеством осадков и при орошении. На посевах зерновых культур они не имеют преимуществ перед растворимыми удобрениями. Однако из-за высокой стоимости капсулированных удобрений применение их в сельском хозяйстве пока весьма ограничено.

#### **5.1.4. ТРАНСФОРМАЦИЯ АЗОТА УДОБРЕНИЙ В ПОЧВАХ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЯМИ**

Технология рационального применения азотных удобрений основана на учете их свойств и особенностей процессов трансформации этих удобрений в почве. Практически все обычные азотные удобрения очень хорошо растворимы в воде. Нитратные формы удобрений передвигаются в почве вместе с почвенной влагой и, кроме биологического, никаким видом поглощения в почве не связываются. Биологическое поглощение активно протекает толь-

ко в теплое время года. А с поздней осени до ранней весны нитраты в почве легко передвигаются, и в условиях промывного водного режима почвы могут вымываться, особенно на легких почвах. В теплое время года в почве, как правило, преобладают восходящие потоки влаги, а вегетирующие растения и микроорганизмы активно поглощают нитратный азот. В таких условиях при обычных дозах удобрений потери азота с инфильтрацией невелики — 1—3 % (до 5 %) от внесенной дозы.

При увеличении доз азотных удобрений на почвах легкого гранулометрического состава в паровых полях при орошении потери нитратного азота могут увеличиваться до 10—25 % от внесенной дозы.

Аммиачные и аммонийные формы азотных удобрений при внесении в почву поглощаются ее почвенным поглощающим комплексом и переходят в обменно-поглощенное состояние. В таком виде они теряют подвижность и не могут вымываться, кроме легких почв с низкой емкостью поглощения. Однако в дальнейшем при благоприятных для процессов нитрификации условиях они трансформируются в нитраты и приобретают все характерные для них свойства. То же происходит и с мочевиной после ее превращения под влиянием уробактерий в аммонийные формы азота.

Таким образом, все азотные удобрения изначально или в процессе нитрификации накапливаются в почве в форме нитратов, которые, в свою очередь, подвергаются процессам денитрификации. Эти процессы протекают практически во всех почвах, и основные потери азота удобрений связаны именно с ними. Исследования показали, что потери азота при денитрификации составляют для аммонийных и амидных форм удобрений около 20 %, а для нитратных — до 30 % и более от внесенного его количества с удобрениями. В пахотном поле и с увеличением доз азотных удобрений потери азота возрастают и достигают 50 %.

Процессы денитрификации, являясь причиной наиболее значительных потерь азота из почвы, с агрономической точки зрения могут быть оценены как негативные. Однако с экологической точки зрения эти процессы могут играть позитивную роль, так как они как бы «освобождают» почву от не использованных растениями нитратов и тем самым ограничивают их поступление в дренажные воды и далее в различные водоемы.

В почве часть азота удобрений в процессе жизнедеятельности микроорганизмов трансформируется в органические, неусвояемые для растений формы. Установлено, что в результате процесса иммобилизации около 10—12 % азота нитратных и 30—40 % аммонийных, аммиачных и амидных удобрений закрепляется в почве в органической форме. Интенсивность этих процессов заметно возрастает при внесении в почву органического вещества, бедного азотом, но богатого клетчаткой (стерня и солома злаков, соломенный навоз и др.).

Ранее полагали, что растения используют в год внесения азотных удобрений 60—70 % содержащегося в них азота. Эти данные были получены в полевых опытах разностным методом при сопоставлении величин выноса азота в контрольных вариантах (без удобрения) и в вариантах с азотными удобрениями. При этом предполагалось, что количество почвенного азота, усвоенного растениями, в том и другом случаях примерно одинаково. Однако более точные опыты с использованием изотопа  $^{15}\text{N}$  показали, что в полевых условиях растения усваивают непосредственно из удобрений в среднем только около 40 % азота (с колебаниями от 30 до 50 %), но при этом на удобренных вариантах заметно (на 20—30 %) повышается использование растениями почвенного азота. За счет этого общий вынос азота на удобренных вариантах увеличивается (по сравнению с контролем) на 20—30 %. Поэтому и коэффициенты использования азота удобрений, рассчитанные по разностному методу, на 20—30 % выше фактических.

Эти факты необходимо хорошо представлять и иметь в виду. Однако для практических целей (расчет баланса азота, доз азотных удобрений и т. д.) следует воспользоваться данными о коэффициенте использования азота из удобрений, полученными разностным методом, которые характеризуют общее потребление растениями азота при внесении азотных удобрений. Балансовые расчеты, проведенные в многолетних опытах (за несколько ротаций севооборота), согласуются с этим. Коэффициенты использования азота удобрений, рассчитанные балансовыми методами за ряд лет, составляют 60—70 % и даже больше.

Внесенный в почву азот удобрений практически расходуется за один вегетационный период: часть используется растениями, часть иммобилизуется и часть безвозвратно теряется при денитрификации, вымывании и в процессе эрозии почвы. Поэтому при использовании азотных удобрений, как правило, учитывают только их действие (в год внесения), а последствие не учитывают.

#### 5.1.5. СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Повышение эффективности азотных удобрений связано, с одной стороны, с увеличением продуктивного использования азота растениями, а с другой — со снижением его безвозвратных потерь. Решается это как за счет оптимизации условий и режимов питания растений самим азотом, так и за счет совершенствования общего уровня агротехнических и мелиоративных мероприятий в качестве фона для применения азотных удобрений.

Оптимизация условий азотного питания растений включает ряд агротехнических и технологических приемов.

1. Применение оптимальных доз и форм азотных удобрений с учетом биологических особенностей растений и свойств удобрений

ний, почвенно-климатических условий, результатов диагностики обеспеченности растений питательными веществами.

Основой для определения оптимальных доз азотных удобрений являются полевые опыты, проводимые научно-исследовательскими учреждениями в различных почвенно-климатических зонах страны. Результаты этих опытов сопоставляют с данными почвенной и растительной диагностики и на этой основе составляют рекомендации по применению удобрений и различных методов и способов корректировки доз удобрений в зависимости от конкретных условий.

Сильно выраженная динамичность содержания подвижных форм азота в почве делает почвенную диагностику обеспеченности растений этим элементом особенно сложной.

В последнее время все большее применение получают методы оптимизации доз азотных удобрений по содержанию в почве минерального азота ( $N_{NO_3} + N_{NH_4}$ ). Эффективные дозы азота под различные культуры зависят от почвенно-климатических условий зоны. Поэтому все модификации методов расчета оптимальных доз азота имеют свои региональные особенности. Хорошие результаты получают, например, в производственных условиях на среднесуглинистых почвах Нечерноземной зоны при определении доз азотных удобрений в зависимости от содержания минерального азота в слое почвы 0—40 см (табл. 48).

**48. Урожайность зерна озимой пшеницы и эффективность азотных удобрений в зависимости от содержания минерального азота в почве (по данным ВИУА)**

| Группа обеспеченности почв азотом | Содержание $N_{min}$ в слое почвы 0—40 см, кг/га | Средняя урожайность, т/га (контроль) | Прибавка урожайности (т/га) при внесении азота в дозе, кг/га |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------|--|--------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                   |  |                                      | 0+45   | 30    | 30+45 | 45    | 45+45 | 60    |
| I                                 | 0—60   | 2,38                                 | 0,86   | 0,93  | 1,33  | 0,93  | 1,04  | 1,15  |
| II                                | 60—80  | 2,94                                 | 0,72   | 0,76  | 1,32  | 1,02  | 1,39  | 1,10  |
| III                               | 80—100   | 4,06                                 | 0,40   | 0,27  | 0,57  | 0,44  | 0,58  | 0,42  |
| IV                                | 100—130  | 4,32                                 | —0,02  | —0,06 | 0,05  | 0,11  | 0,06  | —0,02 |
| V                                 | >130   | 5,00                                 | —0,18  | —0,12 | —0,36 | —0,08 | —0,19 | —0,35 |

*Продолжение*

| Группа обеспеченности почв азотом | Содержание $N_{min}$ в слое почвы 0—40 см, кг/га | Средняя урожайность, т/га (контроль) | Прибавка урожайности (т/га) при внесении азота в дозе, кг/га |       |       |       |        |                     |
|-----------------------------------|--|--------------------------------------|--|-------|-------|-------|--------|---------------------|
|                                   |  |                                      | 60+45  | 90    | 90+45 | 120   | 120+45 | $HCP_{0,95}$ , т/га |
| I                                 | 0—60   | 2,38                                 | 1,47   | 1,13  | 1,37  | 1,06  | 1,18   | 0,18                |
| II                                | 60—80  | 2,94                                 | 1,28   | 1,13  | 1,26  | 1,26  | 1,26   | 0,11                |
| III                               | 80—100   | 4,06                                 | 0,47   | 0,52  | 0,52  | 0,38  | 0,36   | 0,12                |
| IV                                | 100—130  | 4,32                                 | —0,02  | —0,07 | —0,08 | —2,3  | —2,7   | 0,22                |
| V                                 | >130   | 5,00                                 | —0,45  | —0,45 | —0,47 | —0,41 | —0,49  | 0,25                |

По обеспеченности минеральным азотом почвы разделены на 5 групп (от очень низкой — I группа, до высокой — V группа). С изменением обеспеченности почв минеральным азотом меняется и эффективность азотных удобрений: она очень высокая на почвах с содержанием азота менее 80 кг/га и низкая при его содержании более 130 кг/га. Наибольшие прибавки урожая получены при внесении удобрений в два приема: первая доза весной, вторая — в фазе выхода в трубку (+45; см. табл. 48).

Для районов Западной Сибири разработана шкала потребности зерновых культур в азотных удобрениях в зависимости от содержания нитратного азота в слое почвы 0—40 см (табл. 49).

**49. Потребность зерновых культур в азотных удобрениях в зависимости от содержания  $N-NO_3$  в слое почвы 0—40 см осенью или весной (по Кочергину)**

| $N-NO_3$    |       | Обеспеченность растений азотом почвы | Потребность в азотных удобрениях | Ориентировочные дозы азотных удобрений, кг/га д.в. |
|-------------|-------|--------------------------------------|----------------------------------|--|
| мг/кг почвы | кг/га |                                      |                                  |  |

*При низкой и средней обеспеченности растений фосфором (до 100 мг  $P_2O_5$  на 1 кг почвы, по Францессону)*

|       |       |              |               |    |
|-------|-------|--------------|---------------|----|
| 0—5   | 0—25  | Очень низкая | Очень сильная | 60 |
| 5—10  | 25—50 | Низкая       | Сильная       | 45 |
| 10—15 | 50—75 | Средняя      | Средняя       | 30 |
| >15   | >75   | Высокая      | Отсутствует   | 0  |

*При высокой обеспеченности растений фосфором (150—200 мг  $P_2O_5$  на 1 кг почвы, по Францессону)*

|       |        |              |               |    |
|-------|--------|--------------|---------------|----|
| 0—10  | 0—50   | Очень низкая | Очень сильная | 80 |
| 10—15 | 50—75  | Низкая       | Сильная       | 60 |
| 15—20 | 75—100 | Средняя      | Средняя       | 45 |
| >20   | >100   | Высокая      | Отсутствует   | 0  |

С теми или иными изменениями эти методы модифицируют и используют и в других районах страны под различные сельскохозяйственные культуры.

Для оптимизации доз азотных удобрений можно использовать и различные балансово-расчетные методы, в основу которых положен вынос азота запланированным урожаем растений.

2. Приближение сроков внесения удобрений к периоду интенсивного потребления азота растениями с учетом их биологических и сортовых особенностей. В случае необходимости может быть использовано дробное внесение общей дозы удобрения в несколько сроков.

Проведенные опыты (табл. 50) показывают, что использование азота удобрений при этом заметно возрастает, его потери сокращаются.

### 50. Использование азота сульфата аммония в зависимости от сроков его внесения (по данным ВИУА)

| Вариант опыта  | Количество азота, % от внесенного |                 |        |                   |                 |        |
|--|-----------------------------------|-----------------|--------|-------------------|-----------------|--------|
|  | под ячменем                       |                 |        | под просом        |                 |        |
|  | исполь-<br>зовано                 | закреп-<br>лено | потери | исполь-<br>зовано | закреп-<br>лено | потери |
| PK + ( $^{15}\text{NH}_4$ ) $_2$ SO $_4$ перед посевом | 58,2                              | 22,4            | 19,4   | 54,8              | 28,9            | 16,3   |
| PK + ( $^{15}\text{NH}_4$ ) $_2$ SO $_4$ дробно        | 68,2                              | 16,9            | 14,9   | 63,2              | 25,4            | 10,4   |

Установлено, что приближение сроков весенних подкормок азотом озимой пшеницы и многолетних трав к периоду интенсивного потребления ими этого элемента из почвы значительно повышало эффективность таких подкормок. Период активного потребления азота перезимовавшими растениями наступает спустя 15—20 дней и более после схода снега, то есть после прогревания почвы. До этого внесенные азотные удобрения не поглощаются в заметных количествах и могут быть утеряны в результате вымывания и денитрификации. Так, в опытах ВИУА в среднем за 3 года прибавки урожая зерна озимой пшеницы были в 3 раза ниже при внесении азотных удобрений по неглубокому снегу (5—7 см), чем при их внесении через 10—15 дней после схода снега.

Опыты, проведенные на легких почвах Егорьевского района Московской области, показали, что эффективность азотного удобрения на лугах резко возрастает при их внесении в начале активного роста трав. При внесении аммонийной селитры сразу после схода снега на суходольном сенокосе временного избыточного увлажнения урожай сена почти удваивался. При внесении этого удобрения в таких же дозах 20—30 дней спустя после схода снега и оттока избыточной влаги прибавки урожая сена увеличились в 4 раза. Удвоился и сбор протеина с 1 га, в 4 раза возрос коэффициент использования азота удобрений (табл. 51)

### 51. Действие аммонийной селитры на урожай сена (суходольный сенокос временного избыточного увлажнения) в зависимости от сроков ее внесения (ВИУА, в среднем за 3 года)

| Вариант опыта   | Урожай-<br>ность<br>сена,<br>т/га | Прибавка<br>от азотно-<br>го удоб-<br>рения,<br>т/га | Оплата<br>1 кг<br>азота<br>сеном,<br>кг | Сбор<br>про-<br>теина,<br>кг/га | Кoeffи-<br>циент<br>исполь-<br>зования<br>азота, % |
|---|-----------------------------------|--|---|---------------------------------|--|
| P $_{60}$ K $_{60}$   | 1,34                              | —  | —                                       | 116,1                           | —  |
| N $_{90}$ P $_{60}$ K $_{90}$ после схода снега                   | 2,49                              | 1,15   | 12,7                                    | 231,1                           | 18,3   |
| N $_{90}$ P $_{60}$ K $_{90}$ через 20—30 дней после таяния снега | 5,89                              | 4,56   | 50,5                                    | 591,5                           | 77,7   |

3. Внедрение новых форм азотных удобрений — медленнодействующих и капсулированных с контролируемой скоростью высвобождения азота (см. раздел 5.1.3.7).

4. Использование *ингибиторов нитрификации* — химических препаратов, угнетающих жизнедеятельность нитрифицирующих бактерий и обеспечивающих сохранение азота удобрений в аммонийной форме. Их применение в небольших дозах (0,5—210,0 кг/га) совместно с аммиачными, аммонийными и амидными удобрениями снижает в 1,5—2 раза потери азота как в газообразной форме (вследствие денитрификации), так и от вымывания нитратов. В результате коэффициент использования азота удобрений повышается на 10—15 %. Продолжительность действия ингибиторов составляет в среднем 1,5—2,0 мес. Она зависит от ряда факторов: типа и гранулометрического состава почвы, ее температуры, влажности, биологической активности, кислотности, содержания органического вещества, дозы и способа внесения удобрений.

В качестве ингибиторов нитрификации используют соединения из классов хлорпиридинов, пиримидинов, триазолов и др. В зарубежных странах широко применяют ингибитор нитрификации нитрипирин (2-хлор-6-трихлорметилпиридин). Его торговое название N-Serve. В России производят ингибиторы нитрификации пикохлор и джакос — производные нитрипирина.

При применении ингибиторов нитрификации с азотными удобрениями в умеренных дозах не только повышается урожай сельскохозяйственных культур, но и уменьшается накопление нитратов в растениеводческой продукции, особенно в овощных и кормовых культурах (табл. 52).

**52. Влияние ингибитора нитрификации N-Serve на эффективность азотных удобрений и накопление нитратов в зеленой массе озимого рапса (ВНУА)**

| Вариант опыта                | Мочевина                  |                   |                       |   | Сульфат аммония           |                |                       |   |
|------------------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|---|---------------------------|----------------|-----------------------|---|
|                              | Урожай-<br>ность,<br>т/га | Прибавка,<br>т/га |                       | Содер-<br>жание<br>N—NO <sub>3</sub><br>в рапсе,<br>% | Урожай-<br>ность,<br>т/га | Прибавка, т/га |                       | Содер-<br>жание<br>N—NO <sub>3</sub><br>в рапсе,<br>% |
|                              |                           | от<br>азота       | от<br>инги-<br>битора |   |                           | от<br>азота    | от<br>инги-<br>битора |   |
| Без азота                    | 26,2                      | —                 | —                     | 0,017   | 26,2                      | —              | —                     | 0,017   |
| N <sub>45</sub>              | 37,0                      | 10,8              | —                     | 0,026   | 38,4                      | 12,2           | —                     | 0,026   |
| N <sub>45</sub> + ингибитор  | 38,4                      | 12,2              | 1,4                   | 0,027   | 40,0                      | 13,8           | 1,6                   | 0,028   |
| N <sub>90</sub>              | 45,9                      | 19,7              | —                     | 0,103   | 47,3                      | 21,1           | —                     | 0,105   |
| N <sub>90</sub> + ингибитор  | 48,0                      | 21,8              | 2,1                   | 0,073   | 50,0                      | 23,8           | 2,7                   | 0,082   |
| N <sub>135</sub>             | 53,0                      | 26,8              | —                     | 0,226   | 53,8                      | 27,6           | —                     | 0,243   |
| N <sub>135</sub> + ингибитор | 58,2                      | 32,0              | 5,2                   | 0,156   | 59,2                      | 33,0           | 5,4                   | 0,165   |

Наиболее перспективно применение ингибиторов нитрификации на орошаемых землях, особенно под рис, а также под другие культуры в зоне достаточного увлажнения и на легких почвах.

Таким образом, повышение эффективности азотных удобрений неразрывно связано с общим уровнем культуры земледелия. Высокий уровень продуктивности сельскохозяйственных культур возможен только при сочетании оптимальных доз удобрений и



высокого уровня агротехники (отсутствие сорняков на полях, своевременное и качественное выполнение всех технологических операций по посеву и уходу за растениями, высококачественные семена, интегрированная система защиты растений от сорняков, болезней и вредителей и т. д.).

Важное значение придается также известкованию кислых почв. Устранение повышенной кислотности почв создает благоприятные условия для роста и развития растений, улучшения использования ими азота удобрений и почвы.

Высокие урожаи сельскохозяйственных культур можно получать только при сбалансированном питании растений азотом и другими макро- и микроэлементами.

При необходимости внесения высоких доз азота важное значение приобретает сочетание минеральных и органических удобрений. Такой прием позволяет значительно уменьшить одноразовую дозу минерального удобрения, способствует лучшему и более эффективному его использованию.

В районах, где пахотные почвы размещены на склонах, применение азотных удобрений необходимо сочетать с комплексом почвозащитной противоэрозионной обработки почвы, что снижает сток воды и смыв почвы. При этом уменьшаются потери азота за счет смыва и повышается продуктивность сельскохозяйственных культур за счет улучшения их влагообеспеченности. В результате эффективность азотных удобрений существенно повышается.

Непроизводительные потери азота из почвы могут быть значительно уменьшены при выращивании промежуточных и пожнивных культур. Особенно эффективен этот прием, когда в почве накапливаются неиспользованные основными культурами минеральные формы азота.

### 5.1.6. ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

На большинстве почв нашей страны, особенно в достаточно увлажненных районах, азотные удобрения имеют решающее значение в повышении урожаев сельскохозяйственных культур. Внесение здесь 1 кг азота минеральных удобрений дает следующую прибавку урожая: 8—15 кг зерна, 50—70 — картофеля, 20—30 — сена луговых трав, 30—40 — корнеплодов сахарной свеклы, около 3 кг льноволокна и т. д.

В зональном аспекте эффективность азотных удобрений существенно изменяется в зависимости от условий влагообеспеченности зоны и уровня естественного плодородия почв (в первую очередь обеспеченности их азотом). Их действие наиболее эффективно и устойчиво в Нечерноземной зоне на бедных гумусом (и азотом) дерново-подзолистых, серых лесных почвах, а также оподзоленных и выщелоченных черноземах (табл. 53, 54).

### 53. Действие азотных удобрений на озимую пшеницу по природно-сельскохозяйственным зонам (ЦИНАО)

| Природно-сельскохозяйственная зона | Число опытов | Доза минеральных удобрений, кг/га д. в. |          | Урожайность, т/га |            | Прибавка урожайности зерна (т/га) от доз азотных удобрений, кг/га |      |      |      | Количество осадков за год, мм |
|------------------------------------|--------------|---|----------|-------------------|------------|---|------|------|------|-------------------------------|
|                                    |              | фосфорных                               | калийных | без удобрений     | на фоне РК | 30  | 60   | 90   | 120  |                               |
| Южнотаежно-лесная                  | 114          | 61                                      | 53       | 1,98              | 2,30       | 0,37  | 0,62 | 0,84 | 1,06 | 500—800                       |
| Лесостепная                        | 306          | 58                                      | 43       | 2,62              | 2,92       | 0,25  | 0,36 | 0,43 | 0,48 | 400—600                       |
| Степная                            | 259          | 60                                      | 37       | 2,78              | 3,14       | 0,18  | 0,25 | 0,31 | 0,36 | 350—500                       |
| Сухостепная                        | 35           | 70                                      | 41       | 3,01              | 3,48       | 0,14  | 0,20 | 0,25 | 0,29 | 250—350                       |
| Горные области                     | 47           | 64                                      | 59       | 1,83              | 2,09       | 0,32  | 0,54 | 0,74 | 0,93 | 300—600                       |
| В среднем по стране                | —            | 60                                      | 43       | 2,55              | 2,88       | 0,24  | 0,36 | 0,46 | 0,54 | —                             |

Особенно эффективны азотные удобрения на легких почвах, где постоянно наблюдается большой дефицит азота. А вот на осушенных торфяно-болотных почвах действие азотных удобрений снижается, так как в первом минимуме среди элементов питания оказываются калий и фосфор. При движении с севера на юг и с запада на восток в пределах европейской части страны континентальность климата усиливается, количество осадков уменьшается, что существенно сказывается на эффективности азотных удобрений. Меняется также и обеспеченность почв азотом. Она улучшается в ряду дерново-подзолистые почвы → серые лесные → черноземы. Снижение влагообеспеченности и улучшение условий азотного питания растений обуславливают в степных районах заметное снижение эффективности азотных удобрений.

Действие азотных удобрений эффективно и в восточных районах страны. При этом их эффективность выше в лесостепи Зауралья, в Восточной Сибири, ниже в лесостепи Западной Сибири (где климат более континентальный). Применение 1 кг азота минеральных удобрений дает прибавку урожайности зерна яровой пшеницы в Зауралье 10 кг/га, в Восточной Сибири 11 кг/га, в Западной Сибири 5 кг/га.

В степных районах европейской части страны на мощных, обыкновенных и южных черноземах вследствие высокого содержания в этих почвах азота и дефицита влаги эффективность азотных удобрений ослабевает и становится неустойчивой. В еще большей мере это наблюдается на каштановых и светло-каштановых почвах засушливых областей юго-востока.

Однако при проведении мероприятий, способствующих накоплению и сохранению влаги на полях, невысокие дозы азотных удобрений вполне эффективны и в этих районах. Действие азотных удобрений в степных районах юга и юго-востока значительно возрастает и в условиях орошаемого земледелия.

#### 54. Прибавка урожайности картофеля от минеральных удобрений на различных почвах (ВИУА)

| Почвы                   | Урожай-<br>ность без<br>удобре-<br>ний, т/га | Прибавка от внесения минеральных<br>удобрений, ц/га |         |                |          |
|-------------------------|--|---|---------|----------------|----------|
|                         |  | полного<br>удобрения                                | азотных | фосфор-<br>ных | калийных |
| Подзолистые супесчаные  | 11,7   | 6,0   | 3,5     | 1,3            | 1,6      |
| Подзолистые суглинистые | 15,4   | 6,9   | 3,9     | 1,8            | 2,8      |
| Серые лесные            | 15,9   | 7,3   | 4,3     | 1,0            | 0,9      |
| Выщелоченные черноземы  | 20,3   | 5,6   | 3,1     | 2,0            | 1,3      |

Азотные удобрения не только повышают урожай, но и положительно влияют на качество сельскохозяйственной продукции. При их использовании возрастает содержание белка и клейковины в зерне злаковых культур, в результате улучшаются хлебопекарные качества муки.

Технологическую оценку качества зерна пшеницы проводят с учетом комплекса показателей. Так, мягкую пшеницу относят к сильной, если в зерне содержание сырого белка не менее 14 %, клейковины не менее 28 %, качество клейковины не ниже первой группы, сила муки 200—300 е. а., объемный выход хлеба более 500 см<sup>3</sup>/100 г муки.

Поздние подкормки азотом зерновых культур незначительно влияют на урожай зерна, но существенно повышают содержание в нем белка, клейковины и улучшают его технологические качества (табл. 55).

#### 55. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Мироновская 808 (ЦОС ВИУА)

| Вариант опыта  | Уро-<br>жай-<br>ность,<br>т/га | Масса<br>1000<br>зерен,<br>г | Сырой<br>белок,<br>% | Клей-<br>кови-<br>на, % | Сила<br>муки,<br>е. а. | Набуха-<br>емость<br>муки,<br>мл | Объем<br>хлеба,<br>см <sup>3</sup> /100 г<br>муки |
|--|--------------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------------|---|
| Без удобрений  | 2,85                           | 42,3                         | 10,6                 | 23,1                    | 176                    | 34                               | 576   |
| P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>  | 2,91                           | 43,1                         | 11,1                 | 23,7                    | 191                    | 34                               | 530   |
| N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>  | 3,69                           | 41,3                         | 12,0                 | 25,4                    | 205                    | 36                               | 595   |
| N <sub>180</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>   | 3,65                           | 39,9                         | 12,8                 | 28,8                    | 213                    | 44                               | 658   |
| N <sub>180</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub>  | 3,82                           | 39,6                         | 12,8                 | 30,0                    | 200                    | 46                               | 626   |
| N <sub>90</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub> + N <sub>90</sub> весной  | 3,81                           | 39,5                         | 13,1                 | 32,4                    | 206                    | 50                               | 641   |
| N <sub>90</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub> + N <sub>90</sub> весной + N <sub>60</sub><br>во время цветения | 3,83                           | 40,0                         | 14,3                 | 34,4                    | 260                    | 56                               | 723   |

Сбалансированное применение азотных удобрений существенно повышает содержание витаминов в растениях, увеличивается содержание аскорбиновой кислоты, каротина, тиамина, рибофлавина и миозина. Нитратная форма азота в большей степени способствует накоплению в растениях аскорбиновой кислоты, чем аммонийная.

Азотные удобрения оказывают заметное влияние на качество сахарной свеклы. Установлено, что внесение удобрений в дозе  $N_{60}$  повышает сахаристость корнеплодов на 0,2—0,4 %, при дозе  $N_{120}$  сахаристость снижается на 0,1—0,2 %. При увеличении дозы азотного удобрения выше оптимальной повышается и содержание «вредного» азота в корнеплодах.

Избыточное содержание азота в почве при внесении завышенных доз удобрений отрицательно сказывается и на качестве продукции многих других сельскохозяйственных растений. Кроме того, это способствует и значительному накоплению в растениях нитратов и нитритов.

Все это лишний раз подчеркивает, насколько важно оптимизировать азотное питание растений.

#### 5.1.7. БИОЛОГИЧЕСКИЙ АЗОТ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Взаимодействия высших растений и микроорганизмов весьма широко распространены. Установлено, что ткани и сосудистые системы растений заселены большим количеством эндофитных микроорганизмов (Parbery, 1996). За счет взаимодействия с микробами у растений сильнее, чем у животных организмов, проявляется физиологическая адаптация. Системы взаимодействия растений и микроорганизмов могут быть взаимовыгодными и антагонистическими. Большой круг эндосимбионтов в тканях растений позволяет обеспечивать своим хозяевам определенный уровень экологической пластичности.

Важнейшую проблему создания достаточного количества белка невозможно решить без использования биологического азота в земледелии, поэтому остается актуальным широкое использование уникальной способности бобовых растений и микроорганизмов фиксировать молекулярный азот атмосферы.

Микробиологическая фиксация атмосферного азота — экологически чистый путь снабжения растений связанным азотом, требующий относительно небольших энергетических затрат на активизацию азотфиксаторов в почве.

Установление благоприятного сочетания биологического азота и азота минеральных удобрений в питании сельскохозяйственных культур позволяет балансировать круговорот питательных веществ в земледелии, не вызывая нарушения равновесия в окружающей среде, в частности в биогеоценозах. Вследствие этого изучение биологической фиксации атмосферного азота имеет не только теоретический, но и громадный практический интерес.

Размер симбиотической азотфиксации зависит от обеспеченности растений азотом и интенсивности фотосинтеза. Так, в опыте, проведенном нами совместно с Ю. Я. Мазелем и Ю. Г. Сазоновым (Ягодин и др., 1981), с люпином сорта Быстрорастущий 4 было

взято несколько уровней азота и 1-, 3- и 6-суточное затенение растений. Освещенность изменялась в 1000 раз. Затенение растений приводило к снижению азотфиксации, но в большей степени при внесении минерального азота. После 6-суточного затенения азотфиксация в варианте без азота уменьшилась более чем в 40 раз, в варианте с половинной его дозой она полностью прекратилась, при двух дозах ее не было уже после 3-суточного затенения.

Максимум интенсивности азотфиксации наблюдался в фазе цветения в вариантах без азота и с половинной дозой. В фазе бутонизации при внесении половинной дозы азота она была выше, чем в варианте без азота. Это объясняется тем, что небольшая стартовая доза азота способствует хорошему развитию клубеньков в ранние фазы вегетации. Уже в фазе цветения в варианте без азота изучаемый показатель был выше, чем в вариантах с азотом.

В течение суток интенсивность азотфиксации у люпина складывалась следующим образом. В фазе бутонизации максимум ее приходился на утренние часы (8 ч), причем в варианте с половинной дозой азота фиксация проходила интенсивнее, чем в варианте без азота. В фазе цветения максимум отмечался в полдень. В этом случае она была наибольшей в варианте без азота. При повышенной дозе азота данный показатель снижался во все фазы развития.

Более активное поступление продуктов, меченных  $^{14}\text{C}$ , наблюдалось в варианте без азота. При двойной дозе азота оно было на 20 % ниже. Уже спустя 30 мин после экспозиции метка была обнаружена в клубеньках обоих вариантов (соответственно 0,37 и 0,07 от общей активности). За 2,5 ч в варианте без азота в клубеньки поступило в 7 раз больше продуктов, меченных  $^{14}\text{C}$ , чем в варианте с азотом, в корни — в 5 и в стебли — в 2 раза больше.

Неодинаковая интенсивность притока продуктов фотосинтеза в корневые клубеньки при различных уровнях азотного питания сказалась на интенсивности азотфиксации. Благодаря значительному накоплению продуктов фотосинтеза в варианте с азотом затенение в течение 3 сут полностью подавило азотфиксирующую активность клубеньков.

Таким образом, затенение люпина приводит к снижению фиксации молекулярного азота, но в варианте с минеральным азотом в большей степени, чем в варианте без азота.

Газообразный азот составляет большую часть воздуха. Над каждым гектаром суши и водной поверхности Земли содержится 80 тыс. т азота, который практически недоступен большинству высших растений.

Молекула азота химически инертна вследствие высокой прочности трех химических связей между ее атомами. Хотя тройные связи и характеризуются неустойчивостью, но азот в этом плане представляет исключение: необходимы громадные усилия, чтобы расщепить молекулу азота, разорвать эти связи, фиксировать ее.

В отличие от промышленных установок, где восстановление

молекулярного азота в аммиак осуществляется при высокой температуре и большом давлении, в биологических системах связывание газообразного азота происходит при нормальном атмосферном давлении и обычной температуре.

По источникам доступной энергии азотфиксирующие микроорганизмы (их часто называют диазотрофными, поскольку они способны использовать не только молекулярный азот, но и азот соединений из почвы) относят к двум основным группам: автотрофам и гетеротрофам, хотя такое деление достаточно условно.

Автотрофные фиксаторы атмосферного азота — цианобактерии и фотосинтезирующие анаэробные бактерии — играют заметную роль лишь в переувлажненных и затопленных почвах, где фиксируют до 20—50 кг/га азота в год.

В почвах всех типов в ризосфере и филлосфере растений наиболее распространены и многочисленны гетеротрофные азотфиксирующие организмы. Роль различных групп гетеротрофных азотфиксаторов в азотном балансе почв изучена неодинаково. Наиболее хорошо известно значение клубеньковых бактерий в азотном питании бобовых растений и в обогащении почв азотом. Вклад других представителей гетеротрофных симбиотических азотфиксаторов (эндосимбионты ольхи, облепихи и др.) еще оценен не полностью.

Наименее изучена деятельность несимбиотических гетеротрофных азотфиксирующих бактерий, хотя представители именно этой группы были впервые описаны как азотфиксаторы. Широко распространено мнение, что в почвах зоны умеренного климата они связывают не более 3—5 кг/га азота в год, а сама группа уникальна и немногочисленна. Однако выявлены большое видовое разнообразие и широкое распространение гетеротрофных бактерий-азотфиксаторов в почвах всех биоклиматических зон, в прикорневой зоне и непосредственно на поверхности растений, в водоемах, илах и осадках, в кишечнике насекомых, рыб и высших животных, что дало основание говорить об их более важной роли в природе. Правомерность такого вывода следует из общеэкологического принципа дублирования, утверждающего, что ни один из важнейших природных процессов не может осуществляться узкой группой высокоспециализированных организмов.

Способность к фиксации азота обнаружена у большого числа бактерий, принадлежащих к различным систематическим группам. Помимо хорошо известных — азотобактера, клостридий, клубеньковых бактерий — эта способность обнаружена у многих других групп бактерий: *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Erwinia*, *Klebsiella* и др. У чистых культур эукариотных микроорганизмов, в том числе у грибов и дрожжей, азотфиксирующая активность не обнаружена. Однако известно, что смешанные культуры азотфиксаторов с эукариотами характеризуются повышенной нитрогеназной активностью.

Применение новых методов исследования привело к существенному расширению знаний в области экологии азотфиксации. Одно из важнейших достижений — обнаружение повышенной азотфиксирующей активности в фитоплане (ризосфере и филлосфере) небобовых растений, получившей название «ассоциативная азотфиксация». Сама возможность активизации азотфиксации в прикорневой зоне небобовых растений была предсказана еще в 1926 г. С. П. Костычевым и экспериментально подтверждена различными исследованиями при использовании балансового метода (Брэдбокский опыт в Англии, опыт Прянишникова в России, опыт «вечная» рожь в Германии).

Бессменное возделывание небобовых культур не приводило к существенному снижению содержания азота в почве, несмотря на ежегодное отчуждение его с урожаем, тогда как в паре количество гумуса и азота в почве непрерывно уменьшалось. Хотя при ассоциативной азотфиксации микроорганизмы и растения не вступают в такое тесное взаимодействие, как в симбиотических системах, в целом она имеет примерно те же экологические особенности — активность азотфиксации меняется по мере развития растений, достигая максимума в периоды бутонизации и цветения и снижаясь во время созревания.

Первоначально внимание уделялось взаимодействию нескольких азотфиксирующих бактерий (*Spirillum lipoferum*, *Azospirillum brasilense* и др.) с корневой системой тропических злаковых растений. Однако утверждение об уникальности свойств азоспирилл оказалось сильно преувеличенным. В настоящее время имеются сведения о фиксации азота ризосферой риса, кукурузы, сорго, пшеницы, а также некоторых видов тропических трав. В целом известно более 200 видов небобовых растений, фиксирующих азот атмосферы с помощью микроорганизмов ризосферы.

Изучение особенностей ассоциативной азотфиксации показало большую ее экологическую значимость — именно этим путем, вероятно всего, происходит пополнение фонда доступного азота в биосфере природных экосистем. Однако симбиоз клубеньковых бактерий (*Rhizobium*) с бобовыми растениями наиболее продуктивен; при оптимальных условиях величина биологической фиксации азота достигает 300 кг/га в год и более.

Точное определение общего количества фиксируемого биологическим путем азота затруднено из-за разнородности азотфиксирующих организмов, постоянного изменения их количества и неоднородности окружающей среды, в которой они функционируют.

Суммарная годовая продукция азотфиксации в наземных экосистемах 175—190 млн т, из которых 90—110 млн т приходится на почвы сельскохозяйственных угодий (Мишустин, 1983). Ежегодный вынос азота из почвы с продукцией сельского хозяйства составляет 110 млн т. Следовательно, основная масса азота в урожае

(70—75 %) представлена азотом «биологическим» и азотом минерализующегося органического вещества почвы.

Велика теоретическая и практическая значимость азотфиксации. Процесс азотфиксации изучали такие выдающиеся ученые, как Ж. Буссенго, М. Бейерник, Г. Гельригель, Г. Вильфорт, М. С. Воронин, С. Н. Виноградский, В. Л. Омелянский, Д. Н. Прянишников и многие другие. Д. И. Менделеев и К. А. Тимирязев также уделяли большое внимание азотфиксации.

Выступая в 1890 г. с публичной лекцией об источниках азота растений, К. А. Тимирязев говорил: «Немного найдется явлений, где бы так ясно определилась взаимная роль теории и практики, как в тех исследованиях, в которых научные вопросы о происхождении азота у растений неразрывно сливались с чисто практическими вопросами о пользе возделывания клевера и вообще бобовых».

В ряде институтов России проведены многочисленные исследования по вопросам симбиотической фиксации молекулярного азота атмосферы, созданию коллекции наиболее эффективных штаммов микроорганизмов. Весьма важными для повышения уровня биологической азотфиксации являются генетические исследования, начатые с конца 50-х годов. Генетико-селекционные основы азотфиксирующего симбиоза бобовых растений с клубеньковыми бактериями впервые в отечественной литературе представлены в монографии «Генетика симбиотической азотфиксации с основами селекции», вышедшей в 1998 г. под редакцией И. А. Тихоновича и Н. А. Проворова. Авторы отмечают, что многие растения, грибы и животные могут вступать в симбиоз с азотфиксаторами, что существенно расширяет экологические возможности как микросимбионта (который уходит от конкуренции с сапрофитной микрофлорой и получает доступ к легкоусвояемым источникам питания), так и хозяина (для которого открывается возможность жить в условиях дефицита или даже полного отсутствия связанного азота). Наиболее тесно метаболическая интеграция партнеров осуществляется в условиях эндосимбиозов.

Еще в конце прошлого столетия высказывались различные предположения о путях связывания азота. Рассматривали два возможных способа связывания молекулярного азота — окислительный и восстановительный. Крупнейший специалист в области азотного питания растений Д. Н. Прянишников считал переход от  $N_2$  к  $NH_3$  через оксиды азота невозможным и противоречащим принципу допустимой экономии энергии у организмов. Известный русский ученый С. Н. Виноградский в конце прошлого столетия впервые высказал предположение о путях восстановительного связывания молекулярного азота до аммиака. В своей работе «Об усвоении микробами газообразного азота атмосферы» он писал: «Механизм процесса усвоения азота представляется в данном случае как действие водорода в момент его выделения на газообраз-



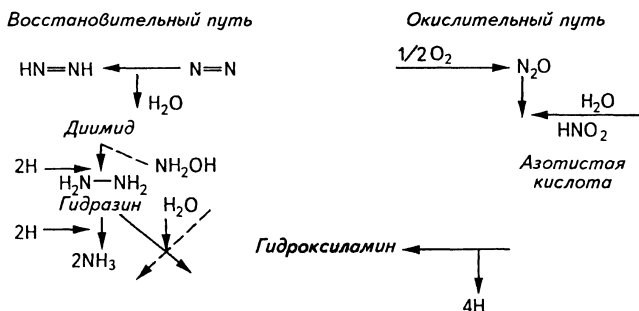


Рис. 19. Гипотетическая схема превращения азота

ный азот в живой протоплазме клетки. Гипотеза о том, что синтез аммиака является непосредственным результатом этого процесса, кажется нам обоснованной». Теорию С. Н. Виноградского о фиксации молекулярного азота через аммиак развивал П. А. Костычев с сотрудниками. В настоящее время восстановительный путь связывания молекулярного азота при различных вариантах промежуточных этапов принят большинством исследователей (рис. 19).

В течение последних лет проводили интенсивные исследования нитрогеназы — основного фермента, осуществляющего процесс азотфиксации. У бобовых культур нитрогеназа находится в клубеньковых бактериях, приобретающих внутри клубенька форму бактериоидов. Долгое время изучение биохимической сущности процесса фиксации азота задерживалось из-за невозможности получения содержащих нитрогеназу бесклеточных экстрактов из свободноживущих микроорганизмов и симбионтов, способных фиксировать молекулярный азот.

Выделение активного азотфиксирующего ферментного комплекса — нитрогеназы возможно только при соблюдении анаэробных условий.

Впервые бесклеточные экстракты из клубеньков сои были получены в лаборатории Эванса в 1968 г. Нами в 1970 г. был выделен ферментный комплекс (нитрогеназа) из бактериоидов клубеньков люпина и сои. Нитрогеназу разделили на два белковых компонента. Один из них с молекулярной массой 164 000 содержал молибден и железо, а второй имел молекулярную массу 56 000 и содержал только железо. Каждый из этих белковых компонентов отдельно не фиксировал молекулярный азот, но их смесь обладала значительной азотфиксирующей активностью. Бесклеточная азотфиксирующая ферментная система из клубеньков бобовых очень похожа на ферментную систему свободноживущих азотфиксаторов.

В настоящее время нитрогеназа выделена из ряда бактерий различных систематических групп и очищена.



Особенно следует отметить роль железосодержащего белка — леггемоглобина в механизме симбиотической фиксации молекулярного азота. В отличие от фермента нитрогеназы, находящейся внутри клубенька в бактериоидах, леггемоглобин локализуется в растительных клетках. В клубеньках он образуется как продукт симбиоза бактерий с высшими растениями. Активность азотфиксации связана с концентрацией леггемоглобина в клубеньках. В инокулированных неэффективным штаммом *Rhizobium* клубеньках леггемоглобин отсутствует.

Основная функция леггемоглобина сходна с функцией гемоглобина позвоночных животных и заключается в обратимом присоединении кислорода. Леггемоглобин, являясь переносчиком кислорода, не принимает непосредственного участия в восстановлении азота. Благодаря наличию этого пигмента, с одной стороны, бактериоиды обеспечены кислородом, с другой стороны, сохранены анаэробные условия для работы нитрогеназы. Нитрогеназа очень чувствительна к кислороду и инактивируется им; в то же время для образования энергии АТФ, необходимой для процесса азотфиксации, требуется кислород. Механизм защиты нитрогеназы от кислорода весьма сложен, и леггемоглобин, по-видимому, является лишь одним из многочисленных звеньев в данном процессе.

Предполагают, что у анаэробных азотфиксаторов существует несколько механизмов защиты нитрогеназы от кислорода. Так, очень высокий уровень дыхательной активности у азотобактера является своеобразной системой защиты от инактивации кислородом.

Другой возможный путь — «конформационная защита нитрогеназы» (пространственное изменение белкового компонента нитрогеназы в присутствии молекулярного кислорода). Кроме того, происходит создание частичного анаэробииза вследствие симбиоза с неазотфиксирующим компонентом.

Большой интерес представляют выделенные из азотфиксирующих организмов корриноиды — соединения группы витамина  $B_{12}$ , содержащие кобальт. Интерес к этим веществам возник в связи с установлением факта абсолютной необходимости кобальта для симбиотических выращиваемых бобовых на питательных средах, лишенных азота, а также факта положительного влияния кобальта на активность фиксации азота. В клубеньках корриноиды присутствуют и в клубеньковых бактериях (бактериоидах), и в растительной ткани клубенька, куда они экскретируются бактериодами.

Относительно биохимической роли витамина  $B_{12}$  в азотфиксации известно немного. В ряде работ показано, что соединения группы  $B_{12}$  входят в состав двух ферментов — метилмалонил-КоА-мутазы и рибонуклеотидредуктазы (рис. 21, табл. 56).

### 56. Содержание в клубеньках веществ, участвующих в азотфиксации

| Вещества   | Эффективный штамм | Неэффективный штамм |
|--|-------------------|---------------------|
| Витамин В <sub>12</sub> в клубеньках люпина, ммкг/г                      | 65                | 45                  |
| Кобамидные коэнзимы в клетках <i>Rhizobium meliloti</i> , тыс. ммоль/г   | 25,5              | 6,7                 |
| Гемоглобин в клубеньках фасоли (по данным Шемахановой), мг/г сухой массы | 95                | 68                  |
| Дезоксирибонуклеиновая кислота в клубеньках люпина, мг/г                 | 0,04              | 0,016               |

Производные витамина В<sub>12</sub> катализируют большое количество реакций, в которых осуществляется перенос водорода между двумя смежными углеродными атомами с одновременным перемещением других групп в противоположном направлении.

К настоящему времени уже сложилось вполне определенное представление о процессах, происходящих в биохимических системах при фиксации молекулярного азота. Однако необходимо дальнейшее изучение биологических восстановителей азота, промежуточных продуктов фиксации, локализации этого процесса и его структурной организации. Проблема фиксации молекулярного азота комплексная: она затрагивает микробиологию, агрономическую и биологическую химию, физику и химию, молекулярную биологию, а также молекулярную генетику.

Известно, что белок — жизненно важный компонент пищи человека и животных. Во многих странах мира в расчете на единицу площади отмечается резкий дефицит пищевого белка. Бобовые культуры в расчете на единицу площади дают значительно больше белка, чем злаковые. По сравнению с зерном пшеницы, ржи, овса содержание белка в семенах люпина, сои в 2—3 раза больше, а по сравнению с зерном риса и кукурузы — в 3—4 раза.

Белок бобовых культур в 10 раз дешевле белка хлебных злаков. Он на 80—90 % состоит из легкоусвояемых водо- и растворимых фракций, полноценнее по аминокислотному составу, чем белок злаковых куль-

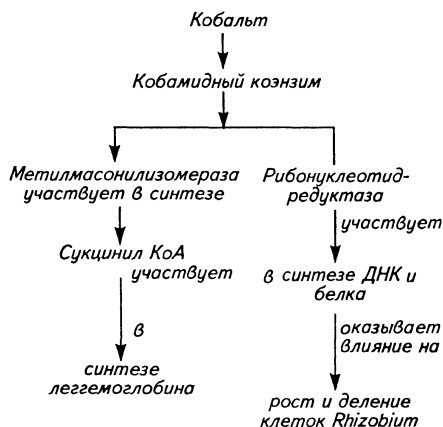


Рис. 21. Роль кобамидных коэнзимов в клубеньках бобовых растений

тур. Содержание наиболее важных незаменимых аминокислот в семенах бобовых в 2—4 раза выше, чем в зерне хлебных злаков.

Трудно переоценить и агрономический эффект, который получают от посевов бобовых культур в севообороте. Бобовые растения оставляют на поле богатые азотом пожнивные остатки и не только накапливают азот, но и ускоряют минерализацию растительных остатков, повышают использование почвенного азота, увеличивают урожай последующих культур.

В Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева, по данным Б. А. Доспехова, в длительном опыте на дерново-подзолистой почве введение севооборота с клевером повысило урожайность ржи на 0,75 т/га, а при применении фосфорных и калийных удобрений — на 1,18 т/га. Еще больше был эффект от включения в севооборот клевера при применении известкования (1 т/га) на неудобренной почве. Кроме того, многолетние бобовые культуры улучшают структуру почвы, устраняют водную и ветровую эрозию, выполняют санитарную роль. Так, люцерна очищает почву от возбудителя вертициллезного вилта хлопчатника, поэтому широко рекомендуется введение люцерново-хлопчатниковых севооборотов.

Проблема максимального использования биологического азота связана с химизацией сельского хозяйства. Практика показывает, что высокие урожаи бобовых культур можно получить лишь при устранении кислой реакции почв (их известковании), применении фосфорных, калийных удобрений и отдельных микроудобрений.

Научно обоснованное использование возрастающих количеств удобрений — главная задача агрохимической науки. В решении этого вопроса важное место занимает изучение баланса питательных веществ. Многие стороны этой проблемы, и прежде всего масштабы накопления биологического азота и степень его использования, требуют детального исследования.

Приходные статьи азотного баланса почв слагаются из связывания азота свободноживущими, ассоциативными и симбиотическими азотфиксаторами, поступления азота с семенами, минеральными и органическими удобрениями, пожнивными остатками, атмосферными осадками.

Данные о величине симбиотической фиксации азота атмосферы весьма разноречивы. В опытах А. В. Соколова количество фиксированного клевером азота колебалось от 45 до 95 %. В. Е. Шевчук отмечает, что только треть азота была фиксирована бобовыми растениями из атмосферы. По данным Е. Н. Мишустина, за год в корневых остатках люцерны накапливается около 100 кг/га азота и около 50 кг/га у клевера.

Подсчет Н. С. Авдониным возможной величины симбиотического усвоения молекулярного азота показал, что она может достигать 3 млн т, исходя из данных Д. Н. Прянишникова о том, что

клевер за год в расчете на 1 га фиксирует 150 кг азота из воздуха, а люцерна — 250—300 кг. Е. Н. Мишустинным определена несколько большая величина азотонакопления бобовыми культурами — около 3,5 млн т. Однако в масштабе биосферы роль симбиотической азотфиксации относительно невелика, поскольку даже в агроэкосистемах в настоящее время бобовые растения занимают около 10 % общей площади посевов сельскохозяйственных культур, а в естественных фитоценозах их мало.

Коэффициент азотфиксации составляет от 0,3 до 0,85.

Интенсивность азотфиксации свободноживущими бактериями во многом определяется запасом легкодоступных органических соединений, так как усвоение молекулярного азота — один из самых энергоемких микробиологических процессов. Установлено, что активность азотфиксации в прикорневой зоне растений (ассоциативная азотфиксация) в 3—200 раз выше, чем в почвах между рядами. Именно растение является одним из главных факторов, стимулирующих деятельность диазотрофных бактерий в ризосфере за счет корневой экссудации и корнеопада, объем которых составляет приблизительно от 25 до 50 % продукции фотосинтеза.

Зависимость интенсивности фиксации атмосферного азота диазотрофов от выделительной деятельности корневых систем растений, а в конечном счете от фотосинтетической активности свидетельствует о тесной сопряженности двух уникальных биологических процессов — азотфиксации и фотосинтеза.

Считается, что высокая активность в ризосфере большинства растений тропической зоны поддерживается за счет того, что общим свойством этих растений (маиса, сахарного тростника и др.) является способность использовать при фотосинтезе путь через С-4-дикарбоновые кислоты. Растениям этого типа требуется интенсивное освещение; максимальная скорость фотосинтеза у них значительно выше, чем у растений, использующих цикл Кальвина (С-3-тип) — рис, овес, ячмень, пшеница. Поскольку растениями С-4-типа расходуется мало углеводов при фотодыхании, большее их количество может использоваться для роста корней и корневой экссудации.

Исследованию несимбиотической фиксации атмосферного азота посвящено много работ, но до сих пор недостаточно сведений о ее размерах в различных почвенно-климатических зонах. Это связано с тем, что в природных условиях данный процесс зависит от ряда очень динамичных факторов окружающей среды, которые вызывают значительные колебания его активности. Этим обстоятельством объясняются большие трудности в оценке размеров азотфиксации на 1 га посевной площади за весь вегетационный период.

Ряд исследований проведен на плодородных почвах рисовых полей. Показано, что за счет несимбиотической фиксации атмосферного азота под рисом может ежегодно накапливаться 60—

70 кг/га азота. Причем в затопляемых почвах под растениями риса фиксируется 57—63 кг/га азота, в незатопляемых — 3—7 кг/га за сезон, без растений в затопленных почвах азотфиксация составила 23—28 кг/га азота.

Азотфиксация в почвах рисовых полей Краснодарского края достигала 9—27 кг за 3-месячный период вегетации. При внесении в почву соломы энергично размножаются различные группы азотфиксирующих микроорганизмов и азотфиксация возрастает до 20—40 кг/га в месяц. Увеличение влажности почвы приводило к усилению активности азотфиксации при разложении соломы и целлюлозы. В интразональных почвах избыточного увлажнения (пойменных, болотных, на рисовых плантациях) активность наиболее высока и составляет от 16,5 до 67,5 кг/га в месяц. Наиболее интенсивно несимбиотическая азотфиксация протекает в почвах тропической зоны, где средний уровень ее равен 200 кг/га в год, а максимальный — 600 кг/га в год.

Помимо обеспеченности почв легкодоступным органическим веществом активность несимбиотической азотфиксации зависит от многих других факторов: влажности, температуры, гранулометрического состава почвы, степени аэрированности корнеобитаемого слоя, концентрации  $\text{CO}_2$ , наличия в почве макро- и микроэлементов и т. д.

Минеральные удобрения, известкование почв, газовый режим и другие факторы в известной мере изменяют интенсивность этого процесса, но, как правило, высокая эффективность наблюдается в условиях, когда влажность, температура, органическое вещество не лимитируют азотфиксацию. При внесении в дерново-подзолистую почву растительных остатков можно добиться увеличения азотфиксирующей активности в 2—5 раз только в условиях повышенного увлажнения. По мнению Е. Н. Мишустина, если использовать 100 млн т соломы, можно получить еще 0,5 млн т фиксированного азота.

Сильное регулирующее действие на азотфиксацию оказывают минеральные азотные удобрения. Если в опытах *in vitro* давно установлено явление торможения азотфиксации при наличии связанного азота, то вопрос о его влиянии на азотфиксацию в почве в присутствии растений остается малоизученным.

Установлено, что существенное торможение наблюдается при дозах связанного азота 500—1000 кг/га. Дозы удобрений, обычно используемые в сельскохозяйственной практике, вызывают лишь кратковременное подавление азотфиксации. Азотные удобрения, стимулируя развитие растений, повышая продуктивность фотосинтеза и увеличивая при этом масштабы экзоосмоса, способствуют после удаления избытка минеральных соединений азота в почве возрастанию ассоциативной азотфиксации на последующих стадиях развития растения.

Применение радиометрического метода в исследованиях ко-

личества органического вещества в пожнивно-корневых остатках позволило выявить, что за счет корневых выделений в течение вегетации и постоянного отмирания части корневой системы после уборки растений в почве остается в 3—4 раза больше органического вещества, чем при определении этого показателя обычными методами. При расчете органического вещества следует также учитывать прижизненно отмершие надземные органы растений.

Нет достаточного обобщения данных, характеризующих поступление в почву связанного азота с атмосферными осадками. Эта величина может колебаться от 2 до 20 кг/га в год. Несколько лучше обстоит дело с учетом количества азота, поступающего с семенами. Как известно, почти весь азот высеваемых семян (90 %) используется урожаем. С семенами зернобобовых в почву вносится от 8 до 15 кг/га азота, зерновых колосовых — 4—6 кг/га. Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о недостаточной изученности ряда приходных статей азотного баланса.

Несколько лучше изучены вопросы расходных статей баланса азота. Многочисленными работами ряда авторов показано, что азот удобрений на различных почвах используется на 50—60 % в вегетационных опытах и на 40—50 % в полевых. Однако при определении коэффициентов использования питательных веществ чрезвычайно важное значение имеет изучение сбалансированного питания растений всеми необходимыми элементами.

При расчетах баланса азота следует принимать во внимание потери от эрозии. Увеличение густоты травостоя при применении удобрений, агротехнические мероприятия по борьбе с эрозией несколько снижают величину потерь. В результате эрозии теряется азот гумуса.

Как отмечают В. К. Шильникова и Е. Я. Серова, существенным резервом глобальной азотфиксации наземных и водных экосистем являются сине-зеленые водоросли, хорошо изученные как фотосинтезирующие диатомовые. Определенные виды цианобактерий формируют ассоциации с грибами (лишайники), высшими растениями (например, симбиотические ассоциации с водным папоротником *Azolla*). Установлено, что большинство аэробных азотфиксирующих микроорганизмов, включая бактерии и цианобактерии, могут более эффективно фиксировать азот атмосферы при давлении кислорода ниже  $2,02 \cdot 10^4$  Па. Таким образом, в морской и грунтовой воде, в почвах затопляемых рисовых полей, в горячих источниках могут быть вполне благоприятные условия для протекания азотфиксации у аэробных микроорганизмов.

Доказано, что филлосфера (поверхность листьев) растений — одна из экологических ниш, где происходит несимбиотическое гетеротрофное связывание микроорганизмами атмосферного азота. Вклад ее в общий баланс азотонакопления в системе растения —



микроорганизмы оценивается в 13—15 %, а способность к азот-фиксации среди филлосферных микроорганизмов — в 55 %.

Как уже отмечалось, возникает необходимость более точного учета баланса азота в земледелии. Д. Н. Прянишников уделял большое внимание балансу азота как важнейшему критерию плодородия почв и урожайности культур. Он впервые в нашей стране подсчитал баланс азота. Дефицит азота в 1937 г. составлял около 70 %. По расчетам Д. Н. Прянишникова, в 1940 г. основное количество азота возвращалось на пахотные угодья: с навозом 14,8 %, с корнями бобовых 8,2, с минеральными удобрениями 3,2, а всего 26,2 %. Дефицит достигал 73,8 %.

В работах по балансу азота сложилось два направления. Основное различие — в оценке роли биологического азота.

Разноречивость экспериментальных данных не позволяет составить достаточно точной картины баланса. Необходимы широкие экспериментальные работы в данном направлении.

Только умелое сочетание использования минерального и биологического азота позволит осуществлять интенсификацию сельскохозяйственного производства наиболее быстрыми темпами. Необходимо более точно установить приходные статьи баланса с учетом почвенно-климатических особенностей различных регионов. Большое значение имеет одновременное комплексное изучение питания растений макро- и микроэлементами. Решение этой проблемы позволит значительно снизить потери питательных веществ, предотвратить загрязнение окружающей среды, существенно повысить коэффициент использования каждого элемента. Более широкое использование биологического азота в земледелии позволит эффективнее применять минеральные удобрения под зерновые культуры.

Таким образом, можно отметить следующие наиболее важные практические аспекты проблемы биологического азота на ближайшее будущее.

1. Эколого-биологическое и агрономическое изучение естественного процесса позволит более полноценно использовать природную фиксацию азота и найти способы ее интенсификации.

2. Знание условий связывания азота биологическим путем в мягких условиях позволит разработать новые способы получения азотных удобрений.

3. Изучение генетико-селекционных основ азотфиксирующего симбиоза бобовых растений с клубеньковыми бактериями, использование генной инженерии, а также ряда достижений биохимии и молекулярной биологии будут способствовать распространению процесса азотфиксации на многие сельскохозяйственные культуры.

4. Расшифровка механизма фиксации азота даст возможность более целенаправленно разработать способы воздействия на этот процесс в природе с целью его интенсификации.

### Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите о роли азота в жизни растений. 2. Каковы особенности аммонийного и нитратного питания растений? 3. Каковы особенности круговорота азота в земледелии? 4. Какие источники получения азотных удобрений вы знаете? 5. Расскажите о классификации и об ассортименте азотных удобрений в нашей стране. 6. Назовите нитратные удобрения, их состав, свойства и применение. 7. Назовите твердые аммонийные удобрения, их состав, свойства и применение. 8. Расскажите об аммонийной селитре, ее составе, свойствах и применении. 9. Расскажите о жидких аммиачных удобрениях, их ассортименте, свойствах и применении. 10. Каковы состав, свойства, особенности применения мочевины? 11. Расскажите об аммиакатах и КАС. Каковы их состав, свойства и особенности применения? 12. Какие вы знаете медленнодействующие азотные удобрения? Расскажите об их ассортименте, свойствах и применении. 13. Каково взаимодействие азотных удобрений с почвой? 14. Какие вы знаете пути снижения потерь азотных удобрений и повышения их эффективности? 15. Расскажите о роли биологического азота в земледелии.

## 5.2. ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

### 5.2.1. РОЛЬ ФОСФОРА В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ

Фосфор как элемент был выделен из мочи гамбургским аптекарем Генningом Брандтом в 1669 г. Первое упоминание о его значении для растений относится к 1795 г. (Дендональд). Вскоре швейцарский естествоиспытатель Соссюр обнаружил фосфат кальция в золе всех проанализированных им растений. Это и дало основание предположить, что растения не могут существовать без фосфора. Впоследствии было установлено, что окисленные соединения фосфора, безусловно, необходимы всем живым организмам. Без него не может существовать ни одна живая клетка.

Потребление фосфора растениями в несколько раз меньше, чем азота. Содержание его составляет 0,2—1,0 % от массы сухого вещества растений. Распределение фосфора в растениях показывает, что он является спутником азота: его много там, где много азота. Оба эти элемента накапливаются больше всего в репродуктивных органах и в тех органах, где интенсивно идут процессы синтеза органических веществ. Наличие связи между фосфором и азотом в растениях определяет довольно устойчивое соотношение их в урожае (табл. 57).

57. Среднее соотношение основных элементов питания в урожае растений, %

| Культура               | N   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|------------------------|-----|-------------------------------|------------------|
| Озимая пшеница, зерно  | 100 | 32                            | 60               |
| Сахарная свекла, корни | 100 | 29                            | 106              |
| Картофель, клубни      | 100 | 30                            | 140              |
| Клевер луговой, сено   | 100 | 31                            | 90               |

Для самой разнообразной продукции (зерно, корни, клубни, сено) соотношение между азотом и фосфором примерно составля-

ет 1 : 0,3, тогда как между азотом и калием оно сильно колеблется в зависимости от вида растений: от 1 : 0,6 до 1 : 1,4. Можно считать, что количество  $P_2O_5$  в растениях в среднем составляет 1/3 наличия в них азота. В вегетационных опытах, создавая в питательных средах различные соотношения между азотом и фосфором, можно получить растения с различным соотношением этих элементов. Однако в полевых условиях такое соотношение достаточно стабильно, так как почва является мощным регулятором питания растений.

Фосфор в растениях содержится в минеральных и органических соединениях; из них на минеральные соединения приходится около 5—15 %, на органические — 85—95 %. Минеральные формы представлены в основном кальциевыми, калиевыми, магниевыми и аммонийными солями ортофосфорной кислоты.

Наиболее важную роль в жизни растений играет фосфор, входящий в состав органических соединений: нуклеиновых кислот, нуклеопротеидов и фосфатопротеидов, аденозинфосфатов, сахарофосфатов, фосфатидов, фитина.

Среди них на первое место, пожалуй, следует поставить нуклеиновые кислоты (РНК и ДНК) и аденозинфосфаты (АТФ и АДФ), которые участвуют в самых важных процессах жизнедеятельности растительного организма: синтезе белков, передаче наследственных свойств и энергетическом обмене.

*Нуклеиновые кислоты* — рибонуклеиновая (РНК) и дезоксирибонуклеиновая (ДНК) — представляют собой высокополимерные соединения коллоидного характера. Это гигантские молекулы, имеющие форму спиральных нитей (25 Å в диаметре) и состоящие из множества комбинаций нуклеотидов. Нуклеотиды имеют в своем составе вещества трех типов: азотистые основания, сахар и фосфорную кислоту. Углеводный компонент в РНК представлен рибозой, а в ДНК — дезоксирибозой. Они различаются и по составу азотистых оснований.

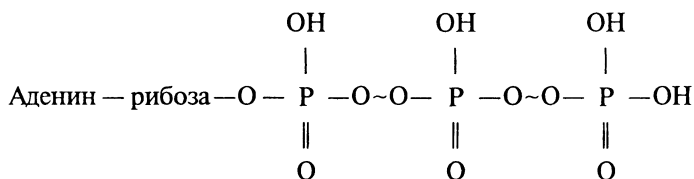
Взаимодействуя между собой в различных комбинациях, эти три компонента дают начало нуклеотидам, из которых и строятся молекулы нуклеиновых кислот. В каждую нуклеиновую кислоту входят многие тысячи нуклеотидов, соединяющихся между собой остатками молекул фосфорной кислоты. Комбинации нуклеотидов в нуклеиновых кислотах являются своеобразным шифром, которым записаны наследственные свойства организма, передающиеся потомству. Бесчисленное количество этих комбинаций и создает то огромное разнообразие видов живых существ в окружающей нас природе.

ДНК является механизмом записи и передачи наследственности в целом, а РНК непосредственно участвует в синтезе белковых веществ, характерных для определенного вида растений. Содержание  $P_2O_5$  в нуклеиновых кислотах составляет около 20 %. Эти кислоты встречаются во всех тканях и органах растений, в любой рас-

тительной клетке. В листьях и стеблях большинства растений нуклеиновые кислоты составляют 0,1—1,0 % сухой массы, в молодых листьях и в точках роста побегов их больше, чем в старых листьях или стеблях. Особенно высоким содержанием нуклеиновых кислот отличаются пыльца, зародыши семян, кончики корней.

В растениях нуклеиновые кислоты часто образуют комплексы с белками — *нуклеинопротеиды* (важнейшее вещество клеточных ядер).

Особая роль фосфора в жизни растений состоит в том, что без него невозможен энергетический обмен растительной клетки. Главное значение здесь принадлежит *аденозинфосфатам*, в составе которых имеются остатки фосфорной кислоты, связанные между собой макроэргическими связями, способными при гидролизе выделять большое количество энергии. В зависимости от количества остатков фосфорной кислоты различают аденозинмонофосфат (АМФ), аденозиндифосфат (АДФ) и аденозинтрифосфат (АТФ), который по запасу энергии превосходит первые два. АТФ состоит из пуринового основания (аденина), сахара (рибозы) и трех остатков ортофосфорной кислоты:



Богатые энергией фосфатные макроэргические связи (волнистая линия) содержат по 50280 Дж, при их разрыве выделяется 31 425 Дж. Отдав одну молекулу фосфорной кислоты, АТФ переходит в АДФ, последний также может отдать одну молекулу фосфорной кислоты и перейти в АМФ.

Таким образом, аденозинфосфатные соединения в растительной клетке представляют собой своеобразный аккумулятор энергии, которая поставляется по мере необходимости для осуществления всех жизненно важных процессов в клетке: биосинтеза белков, жиров, крахмала, сахарозы, аспарагина и глутамина, ряда аминокислот и многих других соединений. Синтез АТФ в растениях осуществляется в процессе дыхания. Известны и другие соединения, имеющие макроэргические связи; в состав большинства из них входит фосфор. Однако основная роль среди них принадлежит АТФ.

*Фосфатиды*, или *фосфолипиды*, содержатся в любой растительной клетке. Это сложные эфиры глицерина, высокомолекулярных жирных кислот и фосфорной кислоты. Они играют очень важную роль в жизни клеток, так как входят в состав фосфолипидных мембран, регулируют проницаемость клеточных оргanelл и плазм-

малеммы в различные вещества. Например, в цитоплазме всех растительных клеток встречается представитель группы фосфатидов *лецитин* — жироподобное вещество, производное диглицеридфосфорной кислоты; он содержит 1,37 %  $P_2O_5$ .

Во всех тканях растений присутствуют *сахарофосфаты*, или *фосфорные эфиры сахаров*. Известно более десяти соединений этого типа. Они играют очень важную роль при дыхании растений, превращении простых углеводов в сложные (сахароза, крахмал и другие) в процессе фотосинтеза, при взаимных превращениях углеводов и т. д. Реакция образования сахарофосфатов получила название *фосфорилирование*. В зависимости от возраста растений, условий их питания и других факторов содержание сахарофосфатов в растениях составляет от 0,1 до 1,0 % сухой массы.

Значительное количество фосфора в растениях входит в состав *фитина*. Это кальциево-магниевая соль инозитфосфорной кислоты; она содержит 27,5 %  $P_2O_5$ . По содержанию в растениях фитин занимает первое место среди других фосфорсодержащих соединений (табл. 58).

**58. Формы фосфорнокислых соединений в растениях, %  $P_2O_5$  к сухому веществу**

| Культура       | Общее содержание фосфора | В том числе органический фосфор |       |                |        |       | Минеральный фосфор | В % от общего фосфора |             |
|----------------|--------------------------|---------------------------------|-------|----------------|--------|-------|--------------------|-----------------------|-------------|
|                |                          | лецитин                         | фитин | нуклеопротеиды | прочие | всего |                    | органический          | минеральный |
| Пшеница, зерно | 0,860                    | 0,032                           | 0,609 | 0,130          | —      | 0,771 | 0,089              | 89,60                 | 10,40       |
| Клевер, сено   | 0,554                    | 0,050                           | 0,300 | 0,050          | 0,084  | 0,484 | 0,070              | 87,00                 | 13,00       |

Фитин содержится в молодых органах и тканях растений, но особенно много его в семенах. Так, в семенах бобовых и масличных культур он составляет 1—2 % сухой массы, в семенах злаков — 0,5—1,0 %. В семенах фитин служит запасным веществом. При прорастании семени входящий в его состав фосфор используется проростками.

Таким образом, фосфорсодержащие соединения имеют большое значение во многих важных процессах жизнедеятельности растений и обеспечение достаточного уровня фосфорного питания — одно из необходимых условий получения планируемых урожаев сельскохозяйственных культур.

Большая часть фосфора находится в репродуктивных органах и молодых интенсивно растущих частях растений. Фосфор ускоряет формирование корневой системы растений — она сильнее ветвится и глубже проникает в почву. Основное количество фосфора растения потребляют в первые фазы роста и развития, создавая его определенные запасы. В дальнейшем он легко передвигается из старых тканей в молодые, то есть используется повторно (реутилизируется).

Хорошая обеспеченность фосфором способствует более экономичному расходованию влаги растениями, что повышает их засухоустойчивость. Улучшая углеводный обмен, он увеличивает содержание сахаров в узлах кушения озимых культур и тканях многолетних трав и тем самым повышает их морозоустойчивость. Фосфор также повышает устойчивость растений к болезням. Оптимальное питание растений этим элементом стимулирует процессы оплодотворения цветов, завязывание, формирование и дозревание плодов, ускоряя развитие и созревание растений и повышая урожай и его качество.

Однако избыток фосфора приводит к преждевременному развитию растений и раннему созреванию плодов, в результате чего урожай растений снижается.

При недостатке фосфора замедляются рост и развитие растений, образуются мелкие листья, задерживаются цветение и созревание плодов. Нижние листья приобретают темно-зеленую окраску с красно-фиолетовым или лиловым оттенком.

Между азотным и фосфорным питанием растений существует тесная связь. При недостатке  $P_2O_5$  замедляется синтез белков в тканях растений, повышается содержание нитратного азота. Чаше всего это проявляется при несбалансированном питании растений, то есть при завышенных дозах азота.

Наиболее чувствительны к недостатку фосфора растения в самом молодом возрасте, когда их слаборазвитая корневая система обладает низкой поглощающей способностью. Отрицательные последствия дефицита фосфора в этот период не могут быть исправлены последующим (даже оптимальным) фосфорным питанием. Поэтому достаточное обеспечение растений фосфором в начале вегетации имеет важное значение для их роста, развития и формирования урожая, хотя максимальное поглощение этого элемента происходит в период интенсивного роста вегетативной массы растений.

## 5.2.2. ИСТОЧНИКИ ФОСФОРА ДЛЯ РАСТЕНИЙ

В природных условиях основным источником фосфора для растений являются соли ортофосфорной кислоты. Установлено, что после гидролиза пиро-, поли- и метафосфаты также могут быть использованы всеми культурами. Фактически в почве имеются только соли ортофосфорной кислоты, но в сложных удобрениях могут быть и соли мета-, пиро- и полифосфорных кислот.

Ортофосфорная кислота, будучи трехосновной, может отдиссоциировать три аниона:  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$  и  $PO_4^{3-}$ . По расчетам Б. П. Никольского (табл. 59), в условиях слабокислой реакции среды, в которых чаще всего возделывают растения, наиболее распространенным и доступным является первый, в меньшей степени второй из перечисленных ионов, третий же практически не

участвует в питании большинства растений. Однако следует отметить, что существуют растения, способные усваивать фосфор из трехзамещенных фосфатов: люпин и гречиха, в меньшей мере горчица, горох, донник, эспарцет и конопля.

**59. Соотношение недиссоциированных молекул  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и ее анионов при различных значениях pH среды, %**

| Кислота, анион            | pH    |       |       |       |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                           | 5     | 6     | 7     | 8     |
| $\text{H}_3\text{PO}_4$   | 0,10  | 0,01  | —     | —     |
| $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ | 97,99 | 83,68 | 33,90 | 4,88  |
| $\text{HPO}_4^{2-}$       | 1,91  | 16,32 | 66,10 | 95,12 |
| $\text{PO}_4^{3-}$        | —     | —     | —     | 0,01  |

Все встречающиеся в почве соли ортофосфорной кислоты и одновалентных катионов ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) и однозамещенные соли двухвалентных катионов [ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  и  $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ] растворимы в воде и легко усваиваются растениями. Двухзамещенные соли двухвалентных катионов ( $\text{CaHPO}_4$  и  $\text{MgHPO}_4$ ) нерастворимы в воде, но растворимы в слабых кислотах, в том числе в кислых корневых выделениях растений и в органических кислотах, образующихся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов. Поэтому такие соли являются хорошим источником  $\text{P}_2\text{O}_5$  для растений.

Трехзамещенные фосфаты двухвалентных катионов [типа  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ] нерастворимы в воде, поэтому большинство растений в заметных количествах их не усваивают. При этом свежесаженные трехзамещенные фосфаты кальция (образуются из одно- и двухзамещенных фосфатов кальция в процессе их химического поглощения почвой) в аморфном состоянии несколько лучше усваиваются растениями. Но по мере их старения они переходят в кристаллические формы и усвояемость их растениями резко снижается.

Особенно плохо усваивается растениями фосфор средних и основных солей трехвалентных катионов ортофосфорной кислоты [ $\text{AlPO}_4$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3\text{PO}_4$ ,  $\text{FePO}_4$ ,  $\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{PO}_4$  и др.]. А они составляют значительную часть минеральных фосфатов кислых почв.

Хорошим источником  $\text{P}_2\text{O}_5$  для растений являются анионы ортофосфорной кислоты, обменно-поглощенные (адсорбированные) почвенными коллоидами. Эти анионы могут быть вытеснены анионами минеральных и органических кислот и использоваться растениями. В почве в системе твердая фаза — раствор нет недостатка в анионах — агентах десорбции (вытеснения) поглощенных фосфатов. В процессе дыхания растения выделяют через корни

$\text{CO}_2$ , при растворении которого в воде образуется угольная кислота. Ее анионы и вытесняют адсорбированный фосфор в раствор. Кроме того, десорбция обменно-поглощенных анионов фосфорной кислоты осуществляется и при участии других органических и минеральных кислот, всегда присутствующих в почве: лимонной, яблочной, щавелевой и др.

Экспериментально установлено, что по своей доступности растениям обменно-поглощенные анионы фосфорной кислоты приближаются к водорастворимым фосфатам. Однако содержание последних в почве очень мало и адсорбированные фосфаты имеют довольно значительный удельный вес в общем балансе усвояемых растениями почвенных фосфатов.

Установлено, что некоторые растения способны усваивать фосфат-ион органических соединений (фитин, глицерофосфаты и др.). Корни этих растений выделяют фермент фосфатазу, который и отщепляет анион фосфорной кислоты от органических соединений, а затем растения поглощают этот анион. Заметной фосфатазной активностью обладают корни гороха, кукурузы, бобов и др. В условиях фосфатного голода растений их фосфатазная активность возрастает.

Однако говорить об усвоении растениями фосфорсодержащих органических соединений без их предварительного расщепления под влиянием фосфата пока нет оснований ввиду отсутствия соответствующих строго обоснованных экспериментальных данных.

В процессе филогенеза растения приспособились к питанию из очень разбавленных растворов. В исследованиях М. К. Домонтовича все испытываемые растения (кукуруза, овес, пшеница, горох, горчица и гречиха) могли питаться фосфором из растворов, концентрация которых составила от 0,01 до 0,03 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$  на 1 л. Конечно, удовлетворить потребность в фосфоре растения могут только при наличии достаточно большого объема подобного раствора и при условии постоянного возобновления в нем хотя бы такой предельно низкой концентрации  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Считается, что оптимальная концентрация  $\text{P}_2\text{O}_5$  для питания растений должна достигать 1 мг/л.

Поглощенный корнями растений фосфор очень быстро используется для синтеза сложных органических соединений непосредственно в корнях. В опытах с тыквой уже через 30 с после поглощения 30 % меченого фосфора  $^{32}\text{P}$  обнаружилось в составе органических соединений, а через 3—5 мин уже 70 % поглощенного фосфора включалось в состав этих соединений. При этом поглощенный фосфор использовался главным образом для синтеза нуклеотидов — сложных компонентов нуклеиновых кислот. Характерно, что для дальнейшего передвижения в надземную часть фосфаты вновь выделяются в проводящие сосуды корня в виде минеральных соединений.



### 5.2.3. КРУГОВОРОТ И БАЛАНС ФОСФОРА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Одна из главных задач агрономии — создание рационального круговорота питательных веществ в земледелии. Каждый биогенный элемент имеет свою специфику круговорота и баланса в системе почва — удобрение — растение. Фосфор не имеет естественных источников пополнения запасов в почве, как, например, азот. В то же время нужно иметь в виду, что естественные запасы фосфора в почвах довольно значительны. По данным А. В. Соколова, только в метровом слое различных почв содержится от 10 до 35 т/га фосфорных соединений разной растворимости. Так как корни большинства полевых культур распространяются на глубину от 0,9 до 2,8 м, а многолетних трав — до 3—5 м, то подвижные формы этих фосфатных ресурсов могут быть использованы растениями. Установлено, например, что потребление  $P_2O_5$  растениями из подпахотных горизонтов может составлять около 30 % от их общего выноса фосфора с урожаем.

Вынос  $P_2O_5$  сельскохозяйственными культурами составляет 25—40 кг/га в год. Если сопоставить эти величины, то очевидно, что запасы фосфора только в метровом слое почвы по сравнению с его ежегодным выносом весьма внушительны.

В естественных биоценозах, для которых характерен замкнутый цикл биогенных элементов, происходит постепенная аккумуляция фосфора в верхних горизонтах почв за счет его перераспределения в результате жизнедеятельности растений (табл. 60).

**60. Содержание валового фосфора и органических фосфатов в различных почвах, мг/100 г (по обобщенным данным Гинзбург)**

| Дерново-среднеподзолистые сутлинистые почвы |                |                     | Серые лесные сутлинистые почвы |                |                     |
|---|----------------|---------------------|--------------------------------|----------------|---------------------|
| Горизонт                                    | Фосфор валовой | Фосфор органический | Горизонт                       | Фосфор валовой | Фосфор органический |
| A <sub>1</sub>                              | 159,7          | 70,6                | A <sub>пах</sub>               | 156,3          | 59,8                |
| A <sub>2</sub>                              | 83,7           | 26,8                | A <sub>2</sub>                 | 125,5          | 29,2                |
| A <sub>2</sub> B                            | 78,6           | 23,3                | A <sub>2</sub> B               | 104,1          | 27,7                |
| B   | 107,5          | 13,4                | B                              | 108,6          | 16,5                |
| C   | 100,9          | 8,6                 | C                              | 110,5          | 5,7                 |

Земледельческое освоение почв вносит в круговорот фосфора существенные коррективы: добавляются новые расходные (отчуждение с урожаем) и приходные (удобрения) статьи баланса этого элемента.

*Баланс питательного элемента* — это итоговое количественное выражение его круговорота за определенный промежуток времени в пределах конкретного объекта: поле, севооборот, хозяйство, зона, субъект Федерации и т. д.

Для оценки круговорота питательного элемента в пределах одного поля или севооборота используют показатели *биологического*

*баланса*, который достаточно полно охватывает все статьи биологического выноса растением питательного элемента, а также все возможные статьи его возврата в почву.

*Хозяйственный баланс* основан на учете выноса питательных элементов с основной и побочной продукцией и их возврата с минеральными и органическими удобрениями. Его расчет позволяет дать обоснованную оценку эффективности системы удобрения в хозяйстве, регионе и т. д.

Важное значение имеет *внешнехозяйственный баланс*, учитывающий отчуждение питательных элементов с товарной продукцией (растениеводческой, животноводческой) за пределы хозяйства и возврат их с минеральными удобрениями.

Специфика фосфора как питательного элемента заключается в том, что большая его часть концентрируется в товарной части урожая — в зерне (около 2/3) и меньшая (примерно 1/3) в нетоварной части — соломе. Как правило, только небольшая часть зерна (или другой товарной продукции) остается в хозяйстве. Нетоварная же часть продукции почти целиком остается в хозяйстве и идет на корм или подстилку животным, а потом частично возвращается в почву с навозом. В расходную статью внешнехозяйственного баланса фосфора наряду с продукцией растениеводства следует включать и продукцию животноводства, которая также содержит определенное количество  $P_2O_5$ .

Круговорот фосфора в агроценозах относительно более прост, чем круговорот азота.

Потери фосфора кроме отчуждения с товарной продукцией могут быть также при эрозии почвы в составе твердого и жидкого стока (в среднем 11 кг/га в год). Инфильтрация фосфора на почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава обычно не превышает 1 кг/га в год, и только на легких и торфяных почвах она достигает 3—5 кг/га.

Небольшое количество фосфора может поступать в почву с семенами растений, а также с осадками и атмосферной пылью.

Поэтому действенная компенсация расходных статей баланса фосфора в земледелии может быть достигнута только путем внесения соответствующих количеств органических и минеральных удобрений.

В 70—80-е годы в земледелии нашей страны складывался положительный баланс фосфора. В результате во многих районах произошло значительное увеличение содержания в почве подвижных фосфатов. Например, в Центральном районе Нечерноземной зоны содержание подвижных фосфатов в почве возросло с 5,3 до 12,5 мг/100 г, а в Московской области — с 6,4 до 20,6 мг/100 г.

Резкое снижение применения удобрений в последние годы обуславливает отрицательный баланс  $P_2O_5$  в земледелии страны, что неизбежно приведет к снижению плодородия почв и урожайности растений.

#### 5.2.4. СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

Сырьем для производства фосфорных удобрений служат природные фосфорсодержащие руды — апатит и фосфорит, а также отходы металлургической промышленности. Основные мировые запасы фосфатных руд сосредоточены в Марокко, США и России.

**Апатит.** Это изверженный минерал, широко распространенный в дисперсном состоянии в почвах и материнских породах, на которых он возник. Залежи его крайне редки. Самое богатое в мире месторождение было открыто в 1925 г. в Хибинах на Кольском полуострове. Незначительные и менее ценные по составу месторождения апатитов встречаются на Урале, в Южном Прибайкалье, а также в Бразилии, Испании, Канаде, США и Швеции.

Чистый апатит — бесцветный, зеленоватый или желто-зеленый минерал с содержанием до 42 %  $P_2O_5$ . Кристаллы апатита отличаются высокой прочностью.

Эмпирическая формула апатита  $[Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot CaF_2$ . Фторид кальция может замещаться его хлоридом, карбонатом, гидроксидом. Соответственно различают фторапатит, хлорапатит, карбонатапатит, гидроксилапатит. Хибинский апатит залегает в виде апатитонефелиновой породы; нефелин — алюмосиликат состава  $(K, Na)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + nSiO_2$  с содержанием 5—6 %  $K_2O$ . Апатит и нефелин вместе составляют около 90 % массы руды. Остальная часть в ней представлена другими минералами (полевой шпат, роговые обманки и некоторые другие).

Добывают апатитонефелиновую руду открытым и подземным способами. При добыче руды в забоях проводят ее сортирование по внешним признакам. Получаемая после сортировки товарная руда содержит 30—31 %  $P_2O_5$ . Ее подвергают дальнейшему обогащению путем флотации, что позволяет почти полностью освободить руду от нефелина. Обогащенный путем флотации апатитовый концентрат содержит 39—40 %  $P_2O_5$ . Он является лучшим в мире сырьем для производства фосфорных удобрений.

**Фосфориты.** Представляют собой осадочные породы главным образом морского происхождения, состоящие из аморфных или кристаллических кальциевых фосфатов с примесью кварца, извести, глинистых частиц и других минералов.

Образование фосфоритов было связано с жизнедеятельностью морских растительных и животных организмов в прошлые геологические периоды. На биологическое происхождение фосфоритов указывает тот факт, что в ряде случаев они содержат органическое вещество (0,5—1,0 % углерода). Залежи фосфоритов встречаются в осадочных породах в виде желваков различных величины и формы (желваковые фосфориты) и реже в виде пластов сплошной массы фосфорита (пластовые фосфориты).

Фосфориты отличаются от апатитов большей пористостью частиц; они бывают как аморфные, так и мелкокристаллические.

Большинство отечественных месторождений фосфоритов относится к желваковому типу, т. е. фосфорит в них находится в виде желваков, залегающих среди остальной породы. Такие фосфориты обычно не имеют хорошо выраженного кристаллического сложения, легче поддаются разложению, поэтому они представляют большой интерес при непосредственном (без химической переработки) использовании на удобрение.

Чем старше по геологическому возрасту фосфориты, тем сильнее в них выражено кристаллическое строение вещества, и наоборот — чем моложе фосфорит, тем оно менее выражено.

Фосфор в фосфоритах представлен соединениями типа фторапатита  $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]_3 \cdot \text{CaF}_2$  и гидроксилapatита  $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ . Это свидетельствует о том, что, несмотря на различное происхождение фосфоритов и апатитов, в химическом строении их много общего.

Месторождения фосфоритов встречаются на земном шаре часто, но в Западной Европе они небольшие и малопригодны для разработки. Богатейшие залежи фосфоритов имеются в ряде стран Северной Африки. В США месторождения этой породы найдены во Флориде, в Теннесси и других штатах.

Запасы фосфоритов в России велики, однако большая часть наших фосфоритов содержит мало фосфора и богата полуторными оксидами ( $\text{R}_2\text{O}_3$ ), что затрудняет их переработку в суперфосфат (табл. 61). Расположены месторождения фосфатов главным образом в европейской части страны. Наиболее важное значение имеют следующие месторождения.

**61. Химический состав фосфоритов и апатитов, % на сухое вещество**

| Месторождение                       | $\text{P}_2\text{O}_5$ | CaO  | $\text{R}_2\text{O}_3$ | $\text{CO}_2$ | F   | Нераствори-<br>мый остаток |
|-------------------------------------|------------------------|------|------------------------|---------------|-----|----------------------------|
| <i>Фосфориты</i>                    |                        |      |                        |               |     |                            |
| Вятско-Камское                      | 23,5                   | 37,2 | 5,4                    | 4,5           | 2,5 | 15,6                       |
| Егорьевское (портландский горизонт) | 27,1                   | 42,0 | 5,4                    | 5,2           | 3,3 | 9,4                        |
| Сешинское                           | 15,6                   | 24,0 | 3,1                    | 2,7           | 1,8 | 48,3                       |
| Щигровское                          | 16,1                   | 26,2 | 3,0                    | 3,1           | 1,9 | 45,8                       |
| <i>Апатиты</i>                      |                        |      |                        |               |     |                            |
| Хибинское:                          |                        |      |                        |               |     |                            |
| апатитонепелиновая порода           | 30,1                   | 39,5 | 9,0                    | 0,0           | 2,6 | 15,6                       |
| апатитовый концентрат               | 40,5                   | 51,6 | 0,9                    | 0,2           | 3,3 | —                          |

*Вятско-Камское месторождение* находится на северо-востоке европейской части страны. Фосфориты здесь желвакового типа. Отмытый от породы фосфорит содержит 24—26 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

*Егорьевское месторождение* находится в Московской области. Залежи фосфоритов здесь представлены двумя горизонтами (слоями), разделенными слоем рыхлого глауконитового песка: верхний — рязанский и нижний — портландский. Качество фосфорита портландского слоя выше рязанского: в нем содержится 25—26 %

$P_2O_5$  и 4—5 % полуторных оксидов. Фосфорит рязанского слоя содержит в среднем 21—23 %  $P_2O_5$  и 10—12 % полуторных оксидов.

В Дубровском районе Брянской области расположено *Сещинское месторождение*. Фосфориты здесь представляют собой три слоя песчанистых конкреций, иногда сцементированных в плиту. Промышленное значение имеют верхний (мощность около 0,5 м, содержание  $P_2O_5$  14 %) и средний (0,53 м, 16 %  $P_2O_5$ ) слои, между которыми располагается прослойка глауконитового песка мощностью около 1 м.

*Щигровское месторождение* Курской области. Это месторождение относится к песчанистым фосфоритам. Желваки фосфорита разных величины и формы сцементированы здесь с песчаной породой в сплошную плиту («самород»). Иногда такие плиты сопровождаются скоплением желваков, свободно лежащих в рыхлой песчаной породе. Подобного рода фосфориты встречаются также в Воронежской, Тамбовской, Орловской, Брянской, Калужской и Смоленской областях. Они содержат 14—19 %  $P_2O_5$ , малопригодны для химической переработки и используются в виде фосфоритной муки.

#### 5.2.5. КЛАССИФИКАЦИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

Фосфорные удобрения в зависимости от растворимости и доступности для растений делят на три группы:

содержащие фосфор в водорастворимой форме — простой и двойной суперфосфат (фосфор этих удобрений хорошо доступен растениям);

содержащие фосфор, нерастворимый в воде, но растворимый в слабых кислотах (в 2%-ной лимонной кислоте) — преципитат, томасшлак, мартеновский фосфатшлак, обесфторенный фосфат (фосфор этих удобрений доступен растениям);

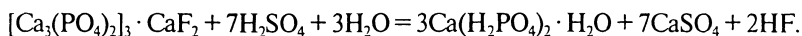
содержащие фосфор, нерастворимый в воде, плохо растворимый в слабых кислотах, полностью растворимый в сильных кислотах (серной, азотной) — фосфоритная мука, костная мука (фосфор этих удобрений труднодоступен для большинства растений).

#### 5.2.6. УДОБРЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИЕ ФОСФОР В ВОДРАСТВОРИМОЙ ФОРМЕ

**Суперфосфат простой.** Это фосфорное удобрение, содержащее фосфор главным образом в виде водорастворимого монокальций-фосфата, частично в виде свободной фосфорной кислоты и цитраторастворимого двузамещенного фосфата кальция. Принцип получения суперфосфата предложен Ю. Либихом. Первый завод по его производству был построен в Англии в 1843 г. Лоозом, основателем Ротамстедской сельскохозяйственной опытной станции.

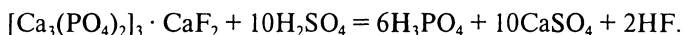
Вследствие простоты и относительной дешевизны производства суперфосфат стал основным фосфорным удобрением универсального типа во всем мире.

Получают это удобрение разложением природных фосфатов — апатитового концентрата или фосфоритной муки концентрированной (57 % и выше) серной кислотой. В результате образуются в основном однозамещенный водорастворимый фосфат кальция и безводный сульфат кальция (гипс), а фтористый водород улетучивается и улавливается:



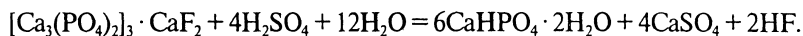
Образующийся гипс не отделяется, а остается в составе удобрения и занимает около 40 % его массы.

Наряду с основной реакцией между фторапатитом и серной кислотой происходят и другие. Так, в местах, где из-за несовершенства перемешивания накапливается некоторый избыток серной кислоты, фторапатит разлагается полностью с образованием фосфорной кислоты, сульфата кальция и фтористого водорода:



Вследствие этого в конечном продукте всегда присутствует 5,0—5,5 % свободной фосфорной кислоты. Она обуславливает повышенную кислотность суперфосфата и его высокую гигроскопичность.

В некоторых местах реагирующей массы из-за неполного перемешивания получается недостаток серной кислоты, и в результате образуется двузамещенный фосфат кальция (преципитат):



Для получения суперфосфата берут почти одинаковые количества фосфатного сырья и серной кислоты, поэтому концентрация фосфора в суперфосфате почти в 2 раза меньше, чем в исходном сырье. По этой причине фосфориты с низким содержанием  $\text{P}_2\text{O}_5$  малопригодны для переработки в суперфосфат. Из апатитового концентрата производят суперфосфат с содержанием не менее 19 % цитраторастворимого фосфора. В высшем сорте его содержится 19,5 %.

Большая часть фосфора (88—98 %) в суперфосфате находится в усвояемых растениями соединениях: водорастворимых — монокальцийфосфат и фосфорная кислота (на их долю приходится 75—90 % усвояемого фосфора) и цитраторастворимых — дикальцийфосфат (на его долю приходится 10—25 % усвояемого фосфора).

Кроме указанных соединений в суперфосфате присутствуют небольшая часть неразложившегося трикальцийфосфата и некоторое количество фосфатов железа и алюминия.

Свободная фосфорная кислота в суперфосфате препятствует образованию гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Поэтому сульфат кальция остается безводным или присоединяет лишь одну молекулу воды на две молекулы  $\text{CaSO}_4$ .

Конечным продуктом производства является *порошковидный суперфосфат*. Это вещество светло-серого цвета, с характерным запахом фосфорной кислоты. Обладает рядом неблагоприятных физических и химических свойств. Наличие в продукте свободной фосфорной кислоты обуславливает его высокие гигроскопичность и влажность (по стандарту содержание влаги в удобрении не должно превышать 12—15 %). При хранении и транспортировке порошковидный суперфосфат слеживается, быстро теряет сыпучесть и рассыпаемость. Все это создает значительные трудности при его внесении в почву, в особенности комбинированными агрегатами — зернотуковыми сеялками. Кроме того, внесенный в почву порошковидный суперфосфат при взаимодействии с почвой быстро подвергается химическому поглощению, т. е. превращению его водорастворимых форм в нерастворимые в воде и менее доступные для растений.

Все эти недостатки в значительной мере устраняются при переработке порошковидного суперфосфата в гранулированный. Поэтому в настоящее время промышленность выпускает суперфосфат гранулированный.

*Гранулированный суперфосфат* в отличие от порошковидного не комкуется и не слеживается, обладает повышенным содержанием  $\text{P}_2\text{O}_5$  и пониженной влажностью; его можно вносить в почву с помощью зернотуковых сеялок. В результате медленного растворения гранул в почвенной влаге и значительного уменьшения площади контакта частиц удобрения и почвы существенно снижается химическое связывание водорастворимых соединений удобрения.

В процессе грануляции свободная фосфорная кислота нейтрализуется и суперфосфат высушивается, поэтому количество фосфорной кислоты в нем снижается до 1—2,5 %, а влаги — до 1—4 %.

Грануляцию суперфосфата осуществляют в длинных (7,5 м) вращающихся барабанах, в которых порошковидный суперфосфат увлажняется (до 16 % влаги) и при вращении барабана окатывается, приобретая форму круглых мелких плотных комочков — гранул разного размера. После высушивания при умеренной температуре гранулят сортируют для удаления мелких частиц диаметром меньше 1 мм, а также частиц более 4 мм. Получается гранулированное удобрение с размером частиц от 1 до 4 мм в диаметре. Более крупные гранулы размельчают и вместе с мелкими («ретур») направляют на повторное гранулирование с новой партией по-

рошковидного суперфосфата. Ретур выполняет роль центров образования новых гранул.

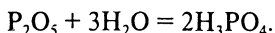
В процессе грануляции свободную фосфорную кислоту в значительной мере нейтрализуют, добавляя аммиак, известь или фосфорит. При использовании аммиака получают аммонизированный суперфосфат с содержанием азота 1,5—3 %. Если для нейтрализации используют фосфоритную муку, то содержание фосфора в удобрении повышается до 20—22 %. Одновременно происходит и небольшое уменьшение относительного содержания в удобрении водорастворимого фосфора.

**Двойной суперфосфат** — высококонцентрированное фосфорное удобрение, получаемое из апатита или фосфорита обработкой их фосфорной кислотой. Содержит фосфор, как и простой суперфосфат, в виде монокальцийфосфата  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$  и небольшого (до 2,5 %) количества свободной фосфорной кислоты. Основное отличие его от простого суперфосфата — отсутствие в нем гипса.

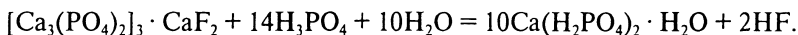
Технология производства двойного суперфосфата включает две фазы. Вначале (1-я фаза) получают фосфорную кислоту. Для этого разработаны два способа.

При *экстрактивном способе* фосфорную кислоту получают путем обработки фосфорита (можно и низкопроцентного) серной кислотой для извлечения свободной фосфорной кислоты.  $\text{H}_3\text{PO}_4$  отделяют от гипса фильтрованием.

Разработан и внедряется также способ получения фосфорной кислоты *возгонкой* фосфора из низкопроцентных фосфоритов при температуре 1400—1500 °С в электропечах или доменных печах. Выделяющийся элементарный фосфор собирают под водой, потом сжигают и образовавшийся оксид фосфора соединяют с водой:



Затем (2-я фаза) полученной фосфорной кислотой обрабатывают высокопроцентное фосфатное сырье:



Концентрация фосфора в удобрении и состав примесей зависят от исходного фосфатного сырья, используемого во второй технологической фазе. Лучший двойной суперфосфат получают из апатита. Он содержит 45—49 % усвояемой  $\text{P}_2\text{O}_5$ , не более 2,5 % свободной кислоты, не менее 85 % водорастворимой  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Выпускают двойной суперфосфат в виде гранул светло-серого цвета. Стоимость 1 т  $\text{P}_2\text{O}_5$  двойного суперфосфата на 6—13 % выше, чем простого. Однако высокая концентрация  $\text{P}_2\text{O}_5$  в двойном суперфосфате обуславливает значительную экономию при транспортировке и хранении этого удобрения. Стоимость применения  $\text{P}_2\text{O}_5$  двойного суперфосфата на 8—13 % ниже, чем простого суперфосфата.



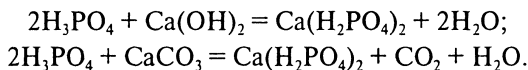
Эффективность двойного суперфосфата при равной дозе (по  $P_2O_5$ ) близка эффективности простого суперфосфата. Преимущество двойного суперфосфата может проявляться на карбонатных почвах. И наоборот, при удобрении культур, положительно отзывающихся на наличие гипса (серы) в удобрениях (бобовые, капуста), более эффективен простой суперфосфат.

*Обогащенный суперфосфат* получают при разложении апатитового концентрата смесью серной и фосфорной кислот. Удобрение выпускают в гранулированном виде. Оно содержит 23,5—24,5 % усвояемой  $P_2O_5$ .

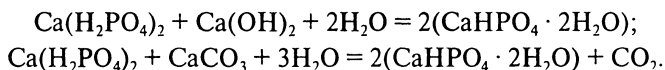
**Суперфос.** Новый перспективный вид концентрированного фосфорного удобрения длительного действия. Получают его путем химического обогащения и активирования кислотами ( $H_2SO_4 + H_3PO_4$ ) фосфоритной муки, вырабатываемой из фосфоритов, содержащих  $P_2O_5$  в трудноусвояемой форме и поэтому малопригодных для прямого использования в качестве удобрения. Затраты кислот на производство 1 т  $P_2O_5$  в суперфосе (1—1,3 т  $H_2SO_4$  и 0,36 т  $H_3PO_4$ ) в 2 раза ниже, чем на производство 1 т  $P_2O_5$  в двойном суперфосфате. Использование  $P_2O_5$  из фосфатного сырья достигает 95 %. Суперфос выпускают в гранулированном виде. Он содержит 38—40 %  $P_2O_5$ , из них 19—20 % в водорастворимой форме. По эффективности воздействия на урожай растений не уступает двойному суперфосфату.

#### 5.2.7. УДОБРЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИЕ ФОСФОР, НЕ РАСТВОРИМЫЙ В ВОДЕ, НО РАСТВОРИМЫЙ В СЛАБЫХ КИСЛОТАХ

**Преципитат** (дикальцийфосфат) —  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ . Получают осаждением из ортофосфорной кислоты известковым молоком (суспензия гидрата оксида кальция) или карбонатом кальция (суспензия мела). Вначале образуется монокальцийфосфат:



Монокальцийфосфат, реагируя с новыми порциями известкового материала, образует дикальцийфосфат:



Преципитат используют в основном для кормовых целей и только небольшую часть его как удобрение. Несмотря на то что он является хорошим удобрением, специально его для этой цели не производят, так как фосфорную кислоту гораздо выгоднее перерабатывать в двойной суперфосфат. Стоимость единицы  $P_2O_5$  в

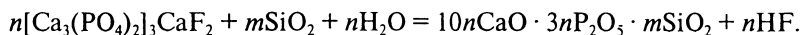
двойном суперфосфате значительно ниже, чем в преципитате. Для удобрительных целей преципитат получают при утилизации слабых растворов ортофосфорной кислоты, являющихся отходами других производств (например, при производстве желатина на костеперерабатывающих заводах).

Преципитат, используемый как удобрение, — это белый или светло-серый порошок, обладающий хорошими физическими свойствами (не слеживается и хорошо рассеивается). В зависимости от исходного сырья он содержит от 25 до 35 % цитраторастворимой (доступной растениям)  $P_2O_5$ . Кормовой преципитат получают из экстракционной фосфорной кислоты. Он содержит 44 %  $P_2O_5$ , не более 0,2 % F, 0,001 % As, 0,002 % Pb.

**Обесфторенный фосфат.** Получают путем термической обработки фосфатного сырья, сопровождающейся удалением из него фтора в газовую фазу, разрушением кристаллической решетки фторапатита и переходом фосфора в цитраторастворимые формы.

Сущность процесса заключается в обработке водяным паром смеси апатита или фосфорита с небольшим количеством (2—3 %) кремнезема (песка) при температуре 1400—1550 °С. Степень обесфторивания сырья достигает 94—96 %.

Суммарная реакция гидротермического разложения апатита в присутствии кремнезема может быть представлена так:



В полученном продукте в зависимости от исходного сырья содержится от 30—32 % (из апатита) до 20—22 % (из фосфорита) цитраторастворимой  $P_2O_5$ .

Обесфторенный фосфат обладает хорошими физическими свойствами. При основном внесении в качестве удобрения на дерново-подзолистых и черноземных почвах он по эффективности не уступает суперфосфату.

Обесфторенный фосфат используют в основном для минеральной подкормки животных.

**Томасшлак.** Удобрение, получаемое в качестве побочного продукта при переработке в железо и сталь фосфористого чугуна по способу С. Томаса. Примесь фосфора снижает качество металла. Для его освобождения С. Томас в 1879 г. предложил связывать фосфор свежесожженной известью. Образующиеся кальциевые соли (типа тетракальциевого фосфата  $4CaO \cdot P_2O_5$ ) вместе с другими примесями всплывают на поверхность расплавленного металла в виде шлака. Его отделяют и после охлаждения размалывают. В полученном продукте наряду с тетракальциевыми фосфатами содержится труднорастворимые фосфаты.

Томасшлак — темный тяжелый порошок, содержит от 7—8 до 16—20 % цитраторастворимой  $P_2O_5$ . Кроме того, в удобрении много кремнекислого кальция, есть соединения железа, алюминия,

ванадия, магния, марганца, молибдена и других элементов, в том числе микроэлементов.

Используют томасшлак только как основное удобрение. Он лучше действует на кислых почвах, так как имеет щелочную реакцию.

**Мартеновский фосфатшлак.** Получают в качестве побочного продукта при выплавке стали из чугуна в мартеновском производстве. Здесь также добавляют известковые материалы для связывания фосфора. Мартеновский шлак более беден фосфором, содержание в нем  $P_2O_5$  от 8 до 12 %. Почти весь фосфор в цитраторастворимой форме. Фосфатшлак содержит двойную соль тетрафосфата кальция и силиката кальция, железо, марганец, магний и другие вещества. Используют его в качестве основного удобрения. Он имеет сильнощелочную реакцию, поэтому больше подходит для кислых почв. Из-за низкого содержания  $P_2O_5$  его применяют вблизи от места получения.

#### **5.2.8. УДОБРЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИЕ ФОСФОР, ПЛОХО РАСТВОРИМЫЙ В СЛАБЫХ КИСЛОТАХ, НО РАСТВОРИМЫЙ В СИЛЬНЫХ КИСЛОТАХ**

К такому удобрению относится **фосфоритная мука**. Она представляет собой тонкоразмолотый фосфорит. Ее применяют в качестве непосредственного удобрения на кислых дерново-подзолистых, серых лесных и торфянистых почвах, на оподзоленных и выщелоченных черноземных почвах, а также на красноземах. В зоне типичных, обыкновенных и южных черноземов действие фосфоритной муки слабее и нестабильно.

Фосфоритная мука — самое дешевое удобрение. Приготовление ее весьма просто. Фосфорит освобождают от грубых посторонних примесей (песок, глина и др.), измельчают на куски диаметром около 1—3 см, а затем на специальных мельницах размалывают до тонкой муки. Тонина помола фосфоритной муки имеет существенное значение для ее эффективного применения. Стандартом предусмотрено, чтобы не менее 80 % фосфоритной муки проходило через сито с отверстиями диаметром 0,17 мм.

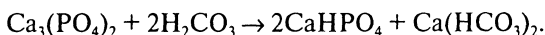
Для переработки на фосфоритную муку используют желваковые, обычно низкопроцентные, фосфориты, не имеющие хорошо выраженной кристаллической структуры. При размоле они дают муку, пригодную для непосредственного удобрения и малоприспособленную для химической переработки. К таким фосфоритам относятся егорьевский, щигровский, сещинский, крыловецкий, кинешемский и др.

Фосфоритная мука — тонкий порошок серого, темно-серого или коричневого цвета. Содержание  $P_2O_5$  в удобрении первого сорта составляет 28—30 %, второго — 22—24 и третьего — 19—21 %. Удобрение негигроскопично, не слеживается, хорошо рассеивается, но сильно пылит.

Фосфор в фосфоритной муке, как и в фосфоритах, содержится в основном в виде соединений типа фторапатита —  $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]_3\text{CaF}_2$ , то есть в форме трехзамещенного фосфата кальция. Эти фосфаты нерастворимы в воде, плохо растворимы в слабых кислотах и поэтому слабодоступны для большинства растений.

На эффективность фосфоритной муки оказывают влияние следующие факторы: происхождение и состав фосфоритов, тонина помола муки, биологические особенности растений, свойства почвы и кислотность сопутствующих удобрений.

Главным среди этих факторов является степень кислотности почвы. Суть процесса взаимодействия фосфоритной муки с почвой, обладающей определенной актуальной и потенциальной кислотностью, состоит в постепенном разложении трикальцийфосфата почвенной кислотностью, его трансформации в дикальцийфосфат — соединение, доступное растениям. Схематически этот процесс можно представить в следующем виде:



Исследования показали, что почвы, имеющие гидролитическую кислотность  $2,5 \text{ мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$  почвы и ниже, слабо разлагают фосфорит и эффективность его на таких почвах низкая. Чем выше гидролитическая кислотность почвы, тем эффективнее действие фосфоритной муки. На ее действие большое влияние оказывают также емкость поглощения и степень насыщенности основаниями почвы. При одинаковой гидролитической кислотности действие фосфоритной муки повышается с уменьшением емкости поглощения почв.

Как уже отмечалось, существенное влияние на эффективность фосфоритной муки оказывает тонина ее помола. С повышением тонины помола возрастает число частиц фосфоритной муки и заметно увеличивается их суммарная поверхность, то есть площадь контакта между частицами удобрений и почвы, от которой зависит скорость и полнота разложения трикальцийфосфата. В одном из опытов А. Н. Лебединцева при увеличении тонины помола фосфоритной муки наблюдалось следующее возрастание числа частиц, их поверхности и эффективности фосфоритной муки (табл. 62).

**62. Влияние тонины помола фосфоритной муки на ее эффективность**

| Средний размер частиц, мм | Относительное увеличение |                    |               |
|---------------------------|--------------------------|--------------------|---------------|
|                           | числа частиц             | поверхности частиц | эффективности |
| 0,510                     | 1                        | 1                  | 1             |
| 0,220                     | 12                       | 2,3                | 2,2           |
| 0,092                     | 170                      | 5,5                | 3,6           |
| 0,041                     | 1920                     | 12,4               | 4,9           |
| 0,005                     | 1061200                  | 102,0              | 6,0           |

Наибольшее влияние на слабокислых почвах на эффективность фосфоритной муки оказывает тонина ее помола.

Эффективность действия фосфоритной муки зависит и от биологических особенностей растений. Результаты опытов Д. Н. Прянишникова, П. С. Коссовича и других ученых позволили разделить сельскохозяйственные растения на несколько групп по их способности усваивать фосфор из труднорастворимых фосфатов. К группе растений, обладающих хорошей способностью усваивать труднорастворимые фосфаты, отнесены люпин, гречиха, горчица; близко к ним примыкают горох, эспарцет, донник и конопля. Все злаки, лен, свекла, картофель, вика могут использовать фосфор из фосфоритной муки только после его соответствующего взаимодействия с кислыми почвами. Наименее усваивают фосфор фосфоритной муки ячмень, яровая пшеница, лен, просо, томат, репа.

Способность растений усваивать труднорастворимые фосфаты с возрастом меняется. Большинство растений в первый период их жизни слабо усваивают труднорастворимые фосфаты, а в дальнейшем эта способность возрастает.

По мнению ряда исследователей, способность растений усваивать труднорастворимые фосфаты зависит от количества и качества (степени кислотности) их корневых выделений, которые оказывают влияние на растворимость фосфатов.

Ф. В. Чириков объясняет повышенную способность некоторых растений усваивать труднорастворимые фосфаты их повышенным потреблением кальция.

Усвоение фосфора из фосфоритной муки, как это впервые установил Д. Н. Прянишников, зависит и от сопутствующих удобрений: физиологически кислые удобрения повышают эффективность фосфоритной муки, а физиологически щелочные удобрения и известковые материалы — снижают.

### 5.2.9. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ С ПОЧВОЙ

Растворимость фосфорных удобрений (в том числе водорастворимых) по сравнению с азотными и калийными значительно ниже. При внесении в почву фосфорных удобрений по мере их растворения фосфат-ион постепенно переходит в разные соединения, характерные для данной почвы, обусловленные ее генетическими особенностями (направленностью почвообразовательного процесса), физико-химическими и минералогическими свойствами, степенью окультуренности и т. д.

Однако процесс этот идет очень медленно. Частично же внесенные фосфорные удобрения (в особенности гранулированные, а также полурстворимые и нерастворимые) длительно сохраняются в почве в неизменном виде.

Трансформация растворимого фосфора удобрений в почве может быть обусловлена рядом процессов:

химическим поглощением фосфора катионами кальция, магния, оксидами и гидроксидами железа, алюминия, марганца и титана;

коллоидно-химическим (обменным) поглощением фосфора на поверхности твердой фазы почвы;

биологическим поглощением фосфора корневой системой растений и почвенной микрофлорой.

Обменное поглощение (адсорбция) фосфат-ионов наблюдается на поверхности положительно заряженных коллоидных частиц (коллоидах гидратов полуторных оксидов) или на положительно заряженных участках отрицательно заряженных коллоидов (у минералов каолинитовой и монтмориллонитовой групп и гидрослюд, коллоидов белковой группы). Обменное поглощение фосфатов сильнее выражено в условиях кислой среды. Так, иллит (минерал из группы гидрослюд), бентонит (минерал из монтмориллонитовой группы) и каолинит адсорбировали при pH 4—4,5 от 7,7 до 9,7 мг · экв.  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$  на 100 г минерала. Заметных различий в поглощении анионов у минералов монтмориллонитовой и каолинитовой групп (как в случае с обменным поглощением катионов) не наблюдалось. Реакция среды вызывает изменение электрического потенциала почвенных коллоидов. Подкисление почвенного раствора способствует большему поглощению анионов; подщелачивание, наоборот, вызывает уменьшение этого процесса. Поэтому для почв, имеющих слабокислую и нейтральную реакции, обменное поглощение выражено слабее (Антипов—Каратаев и др.):

| <i>Почва</i> | <i>Адсорбировано <math>\text{PO}_4^{3-}</math> из 0,05 н. <math>\text{H}_3\text{PO}_4</math>, мг · экв./100 г почвы</i> |
|--------------|---|
| Чернозем     | 18,3  |
| Подзолистая  | 41,9  |
| Краснозем    | 74,0  |

Наличие обменного поглощения фосфат-ионов у обыкновенного чернозема Каменной степи подтверждено также и И. П. Сердобольским.

По мнению сотрудников ВИА, адсорбционное поглощение дерново-подзолистыми почвами составляет примерно 70—80 % общего количества поглощенных фосфатов.

Обменно-поглощенные анионы фосфорной кислоты могут легко вытесняться в раствор (десорбция) другими анионами минеральных и органических кислот ( $\text{HCO}_3^-$ , лимонной, яблочной, щавелевой, муравьиной, гуминовыми и др.). Эти анионы всегда присутствуют в почвенном растворе как результат дыхания растений, их корневых выделений, а также разложения микроорганизмами растительных остатков и органических удобрений и др., т. е. недостатка в агентах десорбции фосфатов в почвенном растворе не бывает. Это и определяет хорошую подвижность обменно-поглощенных фосфатов в почвах, а стало быть, и их доступность ра-

стениям. Как показали опыты, по своей доступности растениям обменно-поглощенные фосфаты приближаются к водорастворимым. Но последних в почвенном растворе очень мало, и именно обменно-поглощенные фосфаты играют большую роль в обеспечении растений этим элементом.

Часть фосфат-ионов удобрений, растворившихся в почвенном растворе, поглощается почвой по типу химического связывания.

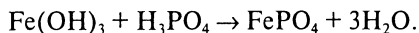
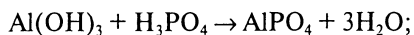
Ход и тип химического поглощения фосфатных удобрений в почвах обуславливаются в значительной мере типом почвы и степенью ее кислотности.

Величина pH почвы определяет растворимость солей кальция, магния, алюминия, железа, марганца, титана, которые, взаимодействуя с водорастворимыми фосфат-ионами, переводят его в труднорастворимые соединения. Так, при pH ниже 5 в почве могут появляться ионы алюминия, при pH ниже 3 — ионы железа. Считается, что наименьшее связывание фосфатов и их наибольшая подвижность обнаруживаются в интервале pH от 5,0 до 5,5. На более кислых почвах происходит поглощение фосфора главным образом оксидами алюминия и железа, на менее кислых почвах возрастает поглощение фосфора кальцием и магнием.

Таким образом, на почвах с реакцией среды, близкой к нейтральной, водорастворимые, фосфорные удобрения-монофосфаты  $[(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O})]$  через некоторое время превращаются в результате химического поглощения в двузамещенные фосфаты кальция и магния  $(\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  или  $(\text{MgHPO}_4)$  и остаются долгое время в таком (доступном для растений) виде. В дальнейшем происходит постепенное замещение иона водорода, оставшегося в двузамещенной соли, кальцием или магнием с образованием трехзамещенных фосфатов этих элементов  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ , а в последующем и более основных фосфатов типа октакальцийфосфата  $[\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$  (еще менее растворимого соединения).

Но и эти соли, пока они находятся в свежесаженном аморфном состоянии, сохраняют свойство заметно растворяться в слабых кислотах, а значит, и остаются в частично доступном для растений виде. Только по мере «старения» трехзамещенных и более основных солей фосфорной кислоты, их перехода из аморфного в кристаллическое состояние они становятся недоступными для большинства растений. Процесс «старения» фосфатов получил название *ретроградация* фосфатов.

В дерново-подзолистых почвах с кислой и слабокислой реакцией основными компонентами химического связывания фосфат-ионов из водорастворимых удобрений являются подвижные, то есть несиликатные, полуторные оксиды:



Свежеосажденные аморфные фосфаты алюминия и железа также могут усваиваться растениями, но по мере их «старения» они кристаллизуются и становятся нерастворимыми. Химическому поглощению в почвах подвергаются как водорастворимые фосфат-ионы удобрений, так и фосфат-ионы, перешедшие в раствор из обменно-поглощенного состояния в процессе десорбции.

В заключение еще раз подчеркнем, что процесс поглощения почвами фосфатов удобрений и их дальнейшей трансформации очень медленный. Опыт длительного применения высоких доз фосфатных удобрений (в несколько раз превышает вынос  $P_2O_5$ ) показал, что существенная часть фосфора удобрений накапливается в таких почвах в легкорастворимой форме в значительных количествах (600—1000 мг/кг почвы и более).

Происходит так называемое зафосфачивание почв. Это явление встречается в ряде европейских стран, применявших фосфорные удобрения уже более столетия. В конце 80-х годов зафосфачивание наблюдалось и в России в зоне свеклосеяния, а также в ряде хозяйств Московской области, применявших высокие дозы удобрений.

Полевые и вегетационные опыты показали, что «остаточный» (ранее не использованный) фосфор удобрений хорошо доступен растениям. Например, последствия ранее внесенных фосфорных удобрений на Ротамстедской опытной станции наблюдаются уже более 50 лет.

Все это свидетельствует об отсутствии закрепления «намертво» в почве фосфатов удобрений в значительных количествах. Более того, имеются данные, свидетельствующие о возможности мобилизации фосфатных ресурсов почв в условиях дефицита фосфорных удобрений. При этом наблюдается постепенная трансформация труднорастворимых фосфатов в более растворимые.

Однако следует иметь в виду, что длительное выращивание растений в условиях дефицита фосфорных удобрений ведет к истощению почвенных запасов этого элемента и постепенной деградации почв.

#### **5.2.10. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Эффективность фосфорных удобрений зависит от почвенно-климатических условий, свойств удобрений и биологических особенностей сельскохозяйственных культур.

Одним из главных свойств почвы, определяющих эффективность фосфорных удобрений, является уровень содержания в ней фосфатов. Установлено, что фосфорные удобрения оказывают существенное влияние на урожай растений на почвах с низким и средним содержанием подвижного фосфора, а на почвах с повышенным и высоким содержанием фосфора действие удобрений проявляется слабо или отсутствует.



На дерново-подзолистых и серых лесных почвах оптимальный интервал содержания подвижного фосфора (по методу Кирсанова) 10—15 мг/100 г. Этот уровень обеспеченности почв фосфором вполне достаточен для получения (в нормальные по климатическим условиям годы) на фоне азотно-калийных удобрений высоких урожаев (зерна около 5,5 т/га и 5,5—7,0 т/га сена многолетних трав) полевых культур. Такая же величина оптимального содержания подвижного фосфора (по методу Чирикова) установлена и для некарбонатных черноземов. На карбонатных черноземах, каштановых и сероземных почвах этот уровень составляет 3—4,5 мг/100 г (по методу Мачигина).

При содержании подвижного фосфора в дерново-подзолистых почвах около 10—12 мг/100 г прибавки урожая от применения фосфорных удобрений неустойчивые, а при его содержании 15 мг/100 г эффективность фосфорных удобрений, как правило, отсутствует. Однако полностью отказаться от применения фосфорных удобрений на таких почвах нельзя, так как это приведет к обеднению почв подвижными фосфатами. Невысокие, компенсирующие вынос  $P_2O_5$  растениями дозы удобрений необходимо применять. Наиболее благоприятным в этом случае будет сочетание внесения в основное удобрение трудно растворимых форм удобрений с рядковым (стартовым) внесением хорошо растворимых удобрений.

Использование фосфорных удобрений обязательно в случае применения высоких доз азотно-калийных удобрений во избежание дисбаланса в соотношении элементов (N : P : K).

Стратегия применения удобрений на почвах с низким содержанием фосфора должна быть направлена на постепенное его повышение до оптимального уровня. Для этого дозы удобрений должны рассчитываться не только на плановый урожай культур, но и на повышение плодородия почв. Для повышения содержания подвижного фосфора в почве на 1 мг/100 г можно использовать разработанные Всероссийским научно-исследовательским и проектно-технологическим институтом химизации сельского хозяйства нормативы расхода питательных веществ (табл. 63).

**63. Расход питательных веществ для повышения содержания подвижного фосфора в почве на 1 мг/100 г**

| Почвы                                 | Гранулометрический состав     | Расход $P_2O_5$ , кг/га |
|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Дерново-подзолистые                   | Песчаные и супесчаные         | 50—60                   |
|                                       | Легко- и среднесуглинистые    | 70—90                   |
|                                       | Глинистые и тяжелосуглинистые | 100—120                 |
| Серые лесные                          | Песчаные и супесчаные         | 70—80                   |
|                                       | Легко- и среднесуглинистые    | 90—110                  |
|                                       | Глинистые и тяжелосуглинистые | 120—140                 |
| Черноземы оподзоленные и выщелоченные | Песчаные и супесчаные         | 80—90                   |
|                                       | Легко- и среднесуглинистые    | 90—100                  |
|                                       | Глинистые и тяжелосуглинистые | 100—120                 |

Эффективность фосфорных, как и других, удобрений во многом зависит от влагообеспеченности сельскохозяйственных культур. Поэтому по мере увеличения континентальности климата она снижается. Но при этом следует иметь в виду, что фосфорные удобрения способствуют более экономному расходованию растениями влаги и тем самым смягчают действие на них дефицита влаги.

Фосфорные удобрения обычно вносят в два приема: припосевное (припосадочное) и основное. Уже отмечалось, что исключительно важное значение для формирования высоких урожаев растений имеет их достаточная обеспеченность фосфором на самых ранних этапах роста.

Учитывая слабую подвижность фосфорных соединений в почве и слабое развитие корневой системы растений в начальный период их роста, можно оценить роль припосевного внесения фосфорных удобрений. Поэтому главное правило применения фосфорных удобрений — обеспечение интенсивного фосфорного питания молодых растений.

Даже на почвах с повышенным и высоким содержанием подвижного фосфора концентрация фосфат-ионов в почвенном растворе бывает недостаточной для полного обеспечения молодых растений фосфором на первых этапах их роста. Поэтому рядковое (стартовое) внесение фосфорных удобрений в дозе 7—20 кг/га  $P_2O_5$  является необходимым агротехническим приемом практически на всех почвах. При этом используют только водорастворимые легкодоступные формы фосфорных удобрений — гранулированные суперфосфаты. Применение порошковидного суперфосфата нецелесообразно, так как он в условиях весны быстро отсыревает, комкуется и забивает туковысевающие аппараты и тукопроводы.

По данным ЦИНАО, 1 ц гранулированного суперфосфата при рядковом внесении обеспечивает прибавку зерна 0,5—0,6 т, тогда как при основном внесении — 0,1—0,2 т. Фосфорные удобрения не только повышают урожай растений, но и влияют на качество продукции (увеличивают содержание белка в зерне, сахаристость корнеплодов сахарной свеклы, крахмалистость клубней), ускоряют созревание.

Дозы  $P_2O_5$  для припосевного внесения зависят от культуры. Все растения отзывчивы на этот агротехнический прием, но некоторые из них угнетаются при непосредственном контакте семян с суперфосфатом (кукуруза, подсолнечник). Поэтому необходима прослойка почвы между семенами и удобрением; дозы  $P_2O_5$  должны быть невысокими — 7—10 кг/га.

Зерновые и овощные культуры, лен, конопля менее чувствительны и положительно реагируют на гранулированный суперфосфат (в дозе около 10 кг/га) даже при смешивании его с семенами перед высевом обычной рядовой сеялкой. При этом необходимо соблюдать следующие условия: семена и удобрения должны быть сухими, гра-

нулы — обладать хорошей механической прочностью, не размалываться в высевальном аппарате и не забивать его. Суперфосфат должен быть нейтральным или слабокислым. Кислый суперфосфат даже при кратковременном контакте с семенами (в течение 2 ч) снижает всхожесть озимой ржи, ячменя, яровой пшеницы, льна и столовой свеклы. При минимальной кислотности (1 %) удобрения его можно смешивать с семенами ржи и свеклы не ранее чем за 2 ч до посева, а с остальными перечисленными культурами — за 4—8 ч. Нейтрализованный суперфосфат можно смешивать с семенами названных культур и за сутки до посева смеси.

При посеве сахарной свеклы и посадке клубней картофеля вносят до 20 кг/га гранулированного суперфосфата или ту же дозу в составе комплексного удобрения.

Оставшуюся часть общей расчетной дозы удобрения (за вычетом припосевной дозы) вносят в основное удобрение.

Для правильного внесения основного удобрения следует учитывать следующие факторы: срок внесения, глубину заделки, форму удобрения (его растворимость), дозу, сочетание с другими элементами питания.

Срок внесения имеет существенное значение для труднорастворимых фосфатов. Вносить их необходимо заблаговременно, осенью, чтобы хотя бы часть трехкальциевых фосфатов успела к вегетационному периоду трансформироваться под действием почвенной кислотности в более доступные для растений формы.

Важное значение имеет глубина заделки основного фосфорного удобрения, так как фосфат-ионы передвигаются в почве очень слабо. Поэтому необходимо создавать запасы усвояемых фосфатов там, где расположена активная часть корневой системы растений. Особенно важно это в засушливых условиях, где верхняя часть пахотного слоя почвы летом обычно высыхает. Например, в опыте с  $^{32}\text{P}$  поверхностное внесение суперфосфата на пастбище даже в высокой дозе (450 кг/га  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) не привело к проникновению фосфора глубже чем на 2,5 см.

Глубина и расположение удобрений в почве зависят от способа их заделки (табл. 64).

**64. Размещение удобрений в пахотном слое почвы в зависимости от способа их заделки, %**

| Глубина пахотного слоя, см | Способ заделки |                 |                       |        |                        |
|----------------------------|----------------|-----------------|-----------------------|--------|------------------------|
|                            | легкой бороной | тяжелой бороной | тяжелым культиватором | плугом | плугом с предплужником |
| 0—3                        | 98             | 75              | 55                    | 11     | 3                      |
| 3—6                        | 2              | 22              | 21                    | 12     | 4                      |
| 6—9                        |                | 3               | 23                    | 16     | 12                     |
| 9—12                       |                |                 | 1                     | 16     | 14                     |
| 12—15                      |                |                 |                       | 23     | 20                     |
| 15—20                      |                |                 |                       | 22     | 47                     |

Из приведенных в таблице 64 данных видно, что при заделке удобрений бороной или культиватором основная часть их находится в верхнем (0—9 см) слое. При заделке плугом без предплужника удобрения располагаются в пахотном слое более равномерно. Наиболее глубокую заделку обеспечивает плуг с предплужником, но при его использовании мало удобрений в верхнем слое. В этом случае возрастает необходимость рядкового припосевного удобрения. Внесенные в почву фосфорные удобрения практически остаются в местах их заделки. Лишь последующая обработка почвы изменяет их расположение в пахотном слое.

Как правило, глубина вспашки почвы под конкретную культуру определяет и глубину заделки основного фосфорного удобрения.

Формы фосфорных удобрений и специфика их применения были подробно рассмотрены ранее.

Дозы фосфорных удобрений колеблются от 30—45 до 90—120 кг/га  $P_2O_5$ . Зависят они от плодородия почвы и климатических условий зоны, уровня запланированного урожая, предшественника (дозы внесенного под него удобрения) и сопутствующих удобрений.

Большое разнообразие почв в нашей стране позволяет успешно использовать для основного удобрения все виды фосфорных удобрений.

Водорастворимые формы можно применять на всех почвах, под все культуры и в разных приемах. Повышение эффективности этих удобрений связано с приемами, уменьшающими их химическое поглощение почвой: использование гранулированных форм, рядковое внесение, локальное внесение.

Полурастворимые (цитраторастворимые) формы фосфорных удобрений также можно применять на всех почвах и под все культуры, но эффективность этих удобрений по сравнению с суперфосфатом на разных почвах может быть неодинаковой. На кислых почвах действие удобрений, имеющих щелочные свойства (томасшлак, фосфатшлак), может быть даже выше, чем суперфосфата.

Применение труднорастворимых удобрений (фосфоритная мука) с достаточно высокой эффективностью возможно на кислых почвах Нечерноземной зоны и на почвах северной части Черноземной зоны (выщелоченные и оподзоленные черноземы).

Площадь кислых почв в России только под пашней составляет около 50 млн га. Для этих почв, как правило, характерно и низкое содержание подвижного фосфора. Кроме этих почв фосфоритную муку можно применять и на слабокислых почвах под культуры, обладающие повышенной способностью усваивать фосфор из труднорастворимых фосфатов.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Каково значение фосфора в жизни растений? 2. Расскажите о содержании и формах фосфора в растениях. 3. Какие соединения являются источниками фосфора для растений? 4. Расскажите о круговороте и балансе фосфора в земледелии.

5. Что служит сырьем для получения фосфорных удобрений? Где находятся основные месторождения фосфорсодержащих агоруд? 6. На какие группы делятся фосфорные удобрения? 7. Перечислите свойства и расскажите о применении простого и двойного суперфосфата. 8. Каковы состав и свойства преципитата, обесфторенного фосфата, томасшлака и мартековского шлака? Как применяют эти удобрения? 9. Расскажите о фосфоритной муке, ее получении, свойствах и особенностях применения. 10. Расскажите о взаимодействии фосфорных удобрений с почвой. 11. Какие вы знаете способы повышения эффективности фосфорных удобрений?

## 5.3. КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

### 5.3.1. РОЛЬ КАЛИЯ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ

Калий наряду с азотом и фосфором относится к главным элементам питания растений. Он, безусловно, необходим всем растениям, животным и микроорганизмам. Попытки заменить калий близкими к нему элементами (натрием, литием, рубидием) оказались безрезультатными. Функция калия в растениях, как и других необходимых для них элементов, строго специфична.

Впервые предположение о необходимости калия растениям высказал Всююр в 1804 г. на основании анализа золы растений, в которой всегда присутствовал калий. Затем Либих сделал заключение о необходимости применения калийных удобрений. Первые экспериментальные данные об абсолютной необходимости калия растениям были получены Сальм-Горстмаром в 1846 г.

В растениях калий находится в ионной форме. До сих пор неизвестно ни одного органического соединения, в состав которого входил бы этот элемент. Калий содержится в основном в цитоплазме и вакуолях клеток; в ядрах и пластидах он отсутствует.

Около 80 % калия находится в клеточном соке и может легко вымываться водой (например, дождями), особенно из старых листьев. В дневное время суток, когда в растениях активно протекают все биохимические процессы, калий, сохраняя легкую подвижность, все же удерживается в клетках освещенного растения. Ночью, когда процессы фотосинтеза прекращаются, часть калия может выделяться через корни, чтобы потом, с появлением первого солнечного луча, вновь поглощаться растением.

Примерно 20 % калия удерживается в клетках растений в обменно-поглощенном состоянии коллоидами цитоплазмы и до 1 % его необменно поглощается митохондриями.

Молодые органы растений содержат калия в 3—5 раз больше, чем старые: его больше в тех органах и тканях, где интенсивно идут процессы обмена веществ и деления клеток. Поэтому калий иногда называют элементом молодости. Много калия в пыльце растений. В золе пыльцы кукурузы содержится до 35,5 % калия, а кальция, магния, серы и фосфора, вместе взятых, — лишь 24,7 %. Легкая подвижность калия в растениях обуславливает его реутилизацию путем перемещения из старых листьев в молодые. Поэто-

му его распределение в растениях характеризуется базипептальным градиентом концентрации, то есть его содержание в листьях и частях стебля в пересчете на единицу сухого вещества возрастает снизу вверх.

Физиологические функции калия весьма разнообразны. Установлено, что он стимулирует нормальное течение фотосинтеза, усиливает отток углеводов из пластинки листа в другие органы, а также синтез сахаров и высокомолекулярных углеводов — крахмала, целлюлозы, пектиновых веществ, ксиланов (табл. 65).

**65. Влияние калия на содержание редуцирующих сахаров, сахарозы и крахмала в листьях и черешках томата, % (по Багаеву)**

| Показатель          | Листья   |           | Черешки  |           |
|---------------------|----------|-----------|----------|-----------|
|                     | с калием | без калия | с калием | без калия |
| Редуцирующие сахара | 2,34     | 2,01      | 1,56     | 1,00      |
| Сахароза            | 1,20     | 0,35      | 0,00     | 0,00      |
| Крахмал и декстрины | 2,48     | 1,00      | 4,22     | 0,96      |

Калий усиливает накопление моносахаров в плодовых и овощных культурах, повышает содержание сахарозы в корнеплодах, крахмала в картофеле, утолщает стенки клеток соломины злаковых культур и повышает устойчивость хлебов к полеганию, а у льна и конопли улучшает качество волокна.

Способствуя накоплению углеводов в клетках растений, калий увеличивает осмотическое давление клеточного сока и тем самым повышает холодоустойчивость и морозостойкость растений.

Накапливаясь в хлоропластах и митохондриях, калий стабилизирует их структуру и способствует образованию АТФ. Калий увеличивает гидрофильность коллоидов протоплазмы; при этом снижается транспирация, что помогает растениям лучше переносить кратковременные засухи.

Калий играет важную роль в синтезе и обновлении белков в растениях. При его недостатке синтез белков резко снижается и одновременно происходит распад старых белковых молекул. В растениях накапливаются растворимые азотные соединения (свободные аминокислоты). Улучшение калийного питания сопровождается повышением удельного веса белкового азота в растениях пшеницы. Усиливается также синтез амидов (аспарагина и глутамина). Положительное влияние калия на синтез белков связано, по-видимому, во-первых, с его влиянием на накопление и трансформацию углеводов (а последние, как известно, в процессе дыхания дают кетокислоты — материал для построения аминокислот) и, во-вторых, с усилением под влиянием калия деятельности ферментов, участвующих в синтезе белка.

Калий поглощается растениями в виде катиона и, очевидно, в такой форме остается в клетке, образуя лишь слабые связи с ее ве-

ществами. В такой форме калий является основным противоионом для нейтрализации отрицательно заряженных компонентов клетки, а также создает разность электрических потенциалов между клеткой и средой. Возможно, именно в этом проявляется специфическая функция калия как незаменимого элемента питания.

Активизируя важнейшие биохимические процессы в клетках растений, калий повышает их устойчивость к различным заболеваниям как в течение вегетации, так и в послеуборочный период, значительно улучшает лежкость плодов и овощей.

Содержание калия в клетках растений существенно выше, чем других катионов. Внутриклеточная концентрация калия в растениях во много раз (в 100—1000) превышает его концентрацию в почвенном растворе.

Критический период в потреблении калия растениями приходится на первые 15 дней после всходов. Период максимального потребления, как правило, совпадает с периодом интенсивного прироста биологической массы. У одних растений поступление калия заканчивается уже к фазе полного цветения (лен) или к цветению — началу молочной спелости (зерновые и зернобобовые). У других растений оно более растянуто и происходит в течение всего вегетационного периода (картофель, сахарная свекла, капуста).

Среднее содержание калия в основной и побочной продукции некоторых культур приведено в таблице 66.

**66. Среднее содержание  $K_2O$  в урожае некоторых сельскохозяйственных культур, % на абсолютно сухое вещество (по Петербургскому)**

| Культура        | Продукция  | $K_2O$ | Культура              | Продукция  | $K_2O$ |
|-----------------|------------|--------|-----------------------|------------|--------|
| Озимые зерновые | Зерно      | 0,65   | Капуста бело-кочанная | Кочаны     | 4,60   |
|                 | Солома     | 1,10   |                       |            |        |
| Яровые зерновые | Зерно      | 0,67   | Морковь               | Корнеплоды | 3,20   |
|                 | Солома     | 1,30   |                       | Плоды      | 5,65   |
| Кукуруза        | Зерно      | 0,43   | Томат                 | »          | 5,60   |
|                 | Стебли     | 1,93   |                       | Солома     | 1,10   |
| Горох           | Зерно      | 1,46   | Хлопчатник            | Волокно    | 1,00   |
|                 | Солома     | 0,60   |                       | Сено       | 1,80   |
| Сахарная свекла | Корнеплоды | 1,00   | Клевер луговой        |            |        |
|                 | Ботва      | 3,00   |                       |            |        |
| Кормовая свекла | Корнеплоды | 3,50   | Люцерна               | »          | 1,80   |
|                 | Ботва      | 2,63   |                       | »          | 1,20   |
| Картофель       | Клубни     | 2,40   | Тимофеевка            | »          | 2,42   |
|                 | Ботва      | 3,70   |                       |            |        |

В отличие от азота и фосфора калия больше в вегетативных органах растений, чем в репродуктивных. Например, в соломе большинства злаков калия больше почти в 2 раза, а в стеблях кукурузы — в 5 раз, чем в зерне. Поэтому вынос  $K_2O$  с нетоварной частью урожая, как правило, выше, чем с товарной (за исключением зернобобовых).

Калиелюбивые культуры — сахарная и кормовая свекла, карто-

фель, овощи — потребляют этот элемент гораздо больше, чем зерновые и зернобобовые культуры, лен и многолетние травы. Также много калия потребляет подсолнечник. В соотношении N : P : K у калиефилов преобладает калий (2,5—4,5 : 1 : 3,5—6), а у зерновых культур — азот (2,5—3 : 1 : 1,5—2,2).

Приведенные в таблице 66 данные о содержании  $K_2O$  в растениях могут сильно изменяться по годам в зависимости от климатических условий, а также от особенностей агротехники, плодородия почв и др.

Недостаток калия вызывает множество нарушений обмена веществ у растений: ослабляется деятельность ряда ферментов, нарушаются углеводный и белковый обмен, повышаются затраты углеводов на дыхание. В итоге продуктивность растений падает, качество продукции снижается. У зерновых образуется щуплое зерно, снижаются всхожесть и жизнеспособность семян. Нередко из-за ухудшения прочности соломины хлеба полегают. Уменьшается содержание крахмала в клубнях картофеля, сахарозы в корнеплодах сахарной свеклы, пектиновых веществ в плодах и ягодах. Урожайность зерновых, плодовых и овощных культур падает, снижается содержание витаминов в продукции. При дефиците калия возрастает поражаемость растений различными болезнями.

Внешне калийное голодание растений проявляется в первую очередь на листьях нижнего яруса: они преждевременно желтеют, начиная с краев; в дальнейшем края буреют, а затем отмирают и разрушаются, вследствие чего они выглядят, как обожженные. Это явление получило название «краевой ожог». Дефицит калия сказывается и на снижении тургора, листья вянут и поникают. Чаше всего недостаток калия проявляется в период интенсивного роста растений (в середине вегетации), когда его содержание в клетках растений снижается в 3—5 раз в сравнении с нормой.

Сильнее от недостатка калия страдают калиелюбивые культуры.

Чрезмерное калийное питание растений также негативно отражается на их росте и развитии. Проявляется оно в возникновении между жилками листьев бледных мозаичных пятен, которые со временем буреют, а затем листья опадают.

Таким образом, регулируя уровень калийного питания растений, можно в значительной мере влиять на их продуктивность и качество получаемой продукции.

### 5.3.2. КРУГОВОРОТ И БАЛАНС КАЛИЯ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Калий — один из основных биогенных элементов. Его круговорот в биоценозах весьма интенсивен. Содержание калия в биомассе различных биоценозов колеблется от 20 (пустыня) до 2000 кг/га (дубравы).



Замкнутый цикл круговорота питательных веществ в естественных биоценозах и аккумулирующая деятельность растений приводят к перераспределению калия в пределах корнеобитаемого слоя почвы и постепенному обогащению этим элементом ее верхних горизонтов.

В агроценозах круговорот и баланс калия зависят в основном от хозяйственной деятельности земледельцев: обеспеченности удобрениями, специализации хозяйств и др.

Валовые запасы калия в почвах во много раз (в 5—50) выше, чем азота и фосфора. Этого нельзя не учитывать. Д. Н. Прянишников при оценке баланса калия в целом для страны считал допустимым его дефицит на уровне 20—22 кг/га в год.

Основной расходной статьёй баланса калия является его вынос сельскохозяйственными культурами (табл. 67).

**67. Содержание калия в урожае важнейших сельскохозяйственных культур**

| Культуры             | Сбор продукции, т/га |          | Общий вынос $K_2O$ , кг/га |
|----------------------|----------------------|----------|----------------------------|
|                      | товарной             | побочной |                            |
| Зерновые хлеба       | 2,0—2,5              | 4,0—6,0  | 45—77                      |
| Гречиха              | 2,0                  | 6,0      | 150                        |
| Лен и конопля        | 1,0                  | 4,5—6,5  | 50                         |
| Подсолнечник         | 1,8                  | 7,5      | 360                        |
| Картофель            | 20,0                 | 12,0     | 200                        |
| Сахарная свекла      | 30,0                 | 20,0     | 175                        |
| Капуста              | 70,0                 | 40,0     | 310                        |
| Зерновые бобовые     | 2,0                  | 3,0      | 40                         |
| Клевер (сено)        | 6,0                  | —        | 90                         |
| Люцерна (сено)       | 10,0                 | —        | До 150                     |
| Луговые травы (сено) | 6,0                  | —        | До 120                     |
| Тимофеевка (сено)    | 6,3                  | —        | До 86                      |

Как видно из таблицы, ежегодно с урожаем различных растений выносятся от 40 до 310 кг/га калия. Эти показатели рассчитаны (в частности, для зерновых) на средние урожаи культур. С повышением продуктивности растений они, естественно, возрастут.

Необходимо также учитывать распределение выноса  $K_2O$  между товарной и нетоварной частями продукции. Например, в зерне пшеницы содержится только до 15 % калия от общего (хозяйственного) выноса, а в соломе — остальные 85 %. Чем меньше калия в товарной, отчуждаемой из хозяйства части урожая и больше в нетоварной, остающейся в поле или хозяйстве, а также в кормах (сено, кормовые корнеплоды и т. д.), используемых в данном хозяйстве, тем в меньшей мере калий исключается из внутрихозяйственного круговорота и тем лучше складывается баланс этого элемента в земледелии данного хозяйства. Таким образом, специализация хозяйства (животноводческого или зернового направле-

ния и т. д.) вносит существенные коррективы во внутрихозяйственный баланс калия.

Часть калия теряется из корнеобитаемого слоя почвы за счет инфильтрации: на легких почвах около 5 %, на тяжелых — около 2 % от внесенного количества удобрений. На интенсивность этого процесса оказывают влияние гранулометрический состав почвы и ее водный режим, дозы удобрений, особенности культур.

Часть калия почвы теряется в результате водной и ветровой эрозии. По усредненным данным, это составляет 4—8 кг/га. Обычно считается, что расходные статьи потерь калия от эрозии компенсируются поступлением его с семенами (около 2 кг/га) и осадками (2—6 кг/га).

Следует иметь в виду, что некоторая часть обменного калия может переходить в почве в фиксированное (необменно-поглощенное) состояние и тем самым изыматься из доступного для растений фонда калия. Установлено также, что в снабжении растений калием принимают участие не только пахотные, но и подпахотные горизонты почв. Тем самым расход калия из пахотного слоя уменьшается. Например, в опытах на дерново-подзолистых почвах подсолнечник и люпин в среднем около 32 % калия от общего его выноса потребляли из подпахотных горизонтов.

Проблеме круговорота питательных веществ в земледелии большое внимание уделял Д. Н. Прянишников. Он считал, что развитие химической промышленности становится одной из важнейших материальных предпосылок регулирования круговорота веществ в земледелии, их обмена между человеком и землей. Развивая это положение, Д. Н. Прянишников отмечал, что если истощение почв в результате нарушения обмена веществ между человеком и землей нарушает «естественное условие постоянного плодородия почвы», то, с другой стороны, массовое применение удобрений, основанное на крупной химической промышленности, является одним из мощных факторов не только поддержания на постоянном уровне, но и дальнейшего повышения эффективного плодородия почвы.

Отсюда следует, что главным условием для поддержания оптимального баланса питательных веществ в почве, в том числе и калия, является компенсация расходной его части за счет применения органических и минеральных удобрений.

### 5.3.3. СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

Сырьем для производства калийных удобрений являются природные калийные соли, промышленные месторождения которых имеются в России, ФРГ, Франции, США, Канаде, Израиле, Италии, Польше, Англии и некоторых других странах. В ближнем зарубежье промышленные залежи калийных солей имеются на Украине, в Белоруссии и Казахстане.

Только небольшая часть из 120 калийсодержащих минералов и руд имеет промышленное значение для производства калийных удобрений. Минералы, используемые для производства калийных удобрений, приведены ниже:

| <i>Минерал</i>   | <i>Примерное содержание <math>K_2O</math>, %</i> |
|--|--|
| Сильвинит — $nNaCl + mKCl$                                   | 15—25  |
| Карналлит — $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$                   | 17   |
| Каинит — $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$                      | 19   |
| Шенит — $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$                   | 23   |
| Лангбейнит — $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$                         | 23   |
| Алунит — $(K, Na)_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$  | 23   |
| Полигалит — $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CuSO_4 \cdot 2H_2O$ | 16   |
| Нефелин — $(K, Na)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$            | 6—7  |

В России крупнейшее месторождение — Верхнекамское (более 12 млрд т) — расположено вблизи городов Соликамск и Березники на левом берегу р. Камы (западный склон Северного Урала). Месторождение было открыто в 1925 г., а производство удобрений начато в 1929 г. Калийные соли залегают здесь под толщей наносных пород. Верхняя часть пласта представлена карналлитом. Ниже залегает мощный пласт пестроокрашенного сильвинита, который является основным сырьем для получения хлористого калия на Соликамском и Березниковском комбинатах.

Сульфатные калийные удобрения получают из минералов каинитовых, лангбейнитовых и смешанных лангбейнито-каинитовых пород, а также из алунитов. Залежи полигалита, каинита и глазерита ( $3K_2SO_4 \cdot Na_2SO_4$ ) находятся в Саратовской, Оренбургской областях и в Башкирии (Заволжское месторождение).

#### 5.3.4. ПРОИЗВОДСТВО КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ, ИХ СОСТАВ И СВОЙСТВА

Промышленные калийные удобрения подразделяют на концентрированные (хлористый калий, серноокислый калий, хлористый калий — электролит, калийная соль, калимагнезия, калийно-магниевый концентрат) и сырые (сильвинит и каинит).

**Сырые калийные соли.** Получают путем дробления и размола природных калийных солей. Обычно для этой цели используют более концентрированные пласты месторождений. Применять сырые калийные соли целесообразно лишь вблизи месторождений калийных руд, так как они имеют низкое содержание  $K_2O$  и большое количество примесей. Они содержат много хлора, что также ограничивает их применение.

Из сырых калийных солей наиболее распространены сильвинит и каинит.

*Сильвинит* —  $nKCl + mNaCl$ . Содержит 12—15 %  $K_2O$  и 35—40 %

$\text{Na}_2\text{O}$ . Выпускается в грубом помоле (размер кристаллов 1—5 мм и более). Розовато-бурый с включением синих кристаллов. При хранении во влажном помещении отсыревает, а при высушивании слеживается. Перевозят бестарным способом. Применяют под натриелибивые культуры.

**Каинит** —  $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  с примесью  $\text{NaCl}$ . Содержит 10 %  $\text{K}_2\text{O}$ , 6—7 %  $\text{MgO}$ , 32—35 %  $\text{Cl}$ , 22—25 %  $\text{Na}_2\text{O}$ , 15—17 %  $\text{SO}_4$ . Это крупные кристаллы розовато-бурого цвета. Влажность не более 5 %. Получают при размоле каинитовой или каинитово-лангбейнитовой руды. Не слеживается, транспортируют навалом (насыпью).

**Концентрированные калийные удобрения.** *Хлористый калий, хлорид калия* —  $\text{KCl}$ . Это основное калийное удобрение. Его производство составляет 80—90 % от общего производства калийных удобрений. Получают хлорид калия в основном из сильвинита, который представляет собой смесь (агломерат) сильвина ( $\text{KCl}$ ) и галита ( $\text{NaCl}$ ), содержащую 12—15 %  $\text{K}_2\text{O}$ . В химически чистом хлориде содержится 63,1 %  $\text{K}_2\text{O}$ . В зависимости от способа производства хлорид калия, поставляемый сельскому хозяйству, содержит от 57 до 60 %  $\text{K}_2\text{O}$ . Это мелкокристаллический порошок розового или белого цвета с сероватым оттенком.

Хлористый калий производят несколькими способами.

Первый способ — *гальургический*. Отделение  $\text{KCl}$  от  $\text{NaCl}$  основано здесь на разной растворимости обеих солей при соответствующих температурах. Растворимость  $\text{KCl}$  при повышении температуры от 20 до 100 °C увеличивается почти вдвое, а растворимость  $\text{NaCl}$  почти не меняется. Это свойство солей и положено в основу данного способа производства хлорида калия.

Размолотый сильвинит растворяется при температуре около 100 °C в растворительном щелоке, представляющем собой насыщенный раствор  $\text{NaCl}$ . В щелоке будет растворяться только  $\text{KCl}$  сильвинита, а  $\text{NaCl}$  остается нерастворенным и отделяется. При охлаждении такого раствора  $\text{KCl}$  будет кристаллизоваться, а  $\text{NaCl}$  останется в растворе.

Полученный белый мелкокристаллический хлорид калия при хранении сильно слеживается.

Отход производства содержит до 95 %  $\text{NaCl}$  и служит материалом для получения соды, технической поваренной соли.

Второй способ — *флотационный*. Разделение минералов сильвина ( $\text{KCl}$ ) и галита ( $\text{NaCl}$ ) основано на различной способности поверхности частичек этих минералов к смачиванию водой. Предварительно измельченную руду взмучивают в водном растворе с добавлением жирных аминов или алкилсульфатов в качестве реагента-собирателя (на 1 т руды 100—200 г реагента). Реагент адсорбируется только на поверхности зерен хлористого калия. Затем через пульпу пропускают воздух, распределяющийся в виде мелких пузырьков. Частицы гидрофобизированного сильвина прилипают к пузырькам воздуха и выносятся на поверхность пульпы в

виде пены. Пенный продукт является концентратом  $KCl$ , который обезвоживается на центрифуге и поступает на сушку. Частишки зерен галита собираются на дне флотационной машины и выводятся через сливное отверстие.

Флотационный хлорид калия имеет более крупные естественные кристаллы розового цвета. Гидрофобные добавки (жирные амины), используемые в процессе флотации, существенно уменьшают гигроскопичность и слеживаемость удобрения.

Этот способ производства хлористого калия получил в нашей стране наибольшее распространение.

С помощью флотационного и галургического способов в России производят, по существу, весь хлорид калия.

Существуют и другие способы получения  $KCl$ , например с помощью подземного выщелачивания руды (сальвинита) с последующей переработкой полученного раствора выпариванием и кристаллизацией.

40 %-ная калийная соль —  $KCl + (mKCl + nNaCl)$ . Содержит около 40 %  $K_2O$ , 20 %  $Na_2O$  и 50 %  $Cl$ . Получают путем механического смешивания хлорида калия с сырыми калийными солями — сильвинитом, а иногда и каинитом. Это смесь серых, белых и красноватых кристаллов мелкого и среднего размера. Хорошее удобрение для культур, отзывчивых на натрий (сахарная свекла, кормовые и столовые корнеплоды, а также томат, капуста, брюква, злаковые травы). Для культур, чувствительных к хлору, это удобрение менее пригодно, чем хлорид калия.

Смесь хлористого калия и каинита дает 30 %-ную калийную соль. Это удобрение ценно для культур, потребляющих много магния, на песчаных и супесчаных почвах (бедных магнием).

**Сульфат калия** —  $K_2SO_4$ . Это высококонцентрированное бесхлорное удобрение. Содержит 46—50 %  $K_2O$ . Мелкокристаллический порошок белого цвета с желтым оттенком, влажность 1,2 %. Не слеживается, транспортируется в мешках или насыпью (без тары). Получают в процессе комплексной переработки полиминеральных калийных руд (лангбейнита, шенита) конверсией (обменным разложением) хлоридом калия, а также как побочный продукт ряда химических производств.

По сравнению с хлорсодержащими калийными удобрениями  $K_2SO_4$  обеспечивает достоверные прибавки урожая винограда, гречихи, табака и других хлорофобных культур. Это удобрение широко используют в овощеводстве, особенно в защищенном грунте. Наличие серы в удобрении положительно влияет на продуктивность крестоцветных, бобовых и некоторых других культур.

Однако себестоимость сульфата калия гораздо выше, чем всех других калийных удобрений.

**Калимагнезия, сульфат калия-магния** —  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$ . Содержит 29 %  $K_2O$  и 9 %  $MgO$ . Получают путем перекристаллизации из природных сульфатных солей, в основном из шенита. Поэтому

это удобрение иногда называют *шени́том*. Белый сильнопылящий порошок с сероватым или розоватым оттенком либо серовато-розовые гранулы неправильной формы. Не слеживается, транспортируется в мешках или насыпью. Используется в первую очередь под культуры, чувствительные к хлору или на легких почвах.

*Калимаг, калийно-магнезиальный концентрат* —  $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ . Получают из сульфатных калий-магнийсодержащих минералов путем их обогащения. Содержит 18—20 %  $K_2O$  и 8—9 %  $MgO$ . Выпускается в виде гранул серого цвета. Не слеживается, транспортируется насыпью. По эффективности приближается к калимагнезии.

*Хлоркалий электролит* —  $KCl$  с примесями  $NaCl$  и  $MgCl_2$ . Это побочный продукт при производстве магния из карналлита. Содержит 34—42 %  $K_2O$ , по 5 %  $MgO$  и  $Na_2O$  и до 50 %  $Cl$ . Сильнопылящий мелкокристаллический порошок с желтым оттенком. Не слеживается, его перевозят в бумажных мешках или насыпью. По эффективности приближается к хлористому калию; на бедных магнием почвах более эффективен, чем  $KCl$ .

*Цементная пыль*. Отход производства цемента, бесхлорное калийное удобрение. Содержит от 10—15 до 35 %  $K_2O$ . Калий содержится в виде карбонатов, бикарбонатов, сульфатов и в небольшом количестве силикатов. Имеются также гипс, оксид кальция, полуторные оксиды и некоторые микроэлементы. Калийные соли цементной пыли растворимы в воде и доступны растениям. Применяют в качестве основного удобрения, в первую очередь на кислых почвах и под хлорофобные культуры.

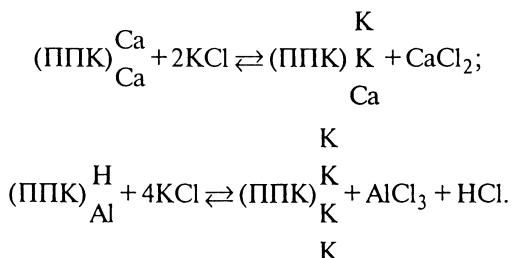
*Печная зола*. Местное калийно-фосфорно-известковое удобрение. Калий содержится в золе в виде поташа ( $K_2CO_3$ ). Содержание  $K_2O$  в золе существенно колеблется в зависимости от источника топлива. Например, зола лиственных пород содержит 10—14 %  $K_2O$ , 7 %  $P_2O_5$ , 36 %  $CaO$ , зола хвойных пород — 3—7 %  $K_2O$ , 2,0—2,5 %  $P_2O_5$  и 25—30 %  $CaO$ . Молодые деревья при сжигании дают больше золы, в которой и содержание питательных элементов выше. Печная зола — достаточно эффективное удобрение для всех культур (особенно для хлорофобных) и для всех почв (в первую очередь для кислых).

### 5.3.5. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ С ПОЧВОЙ

Калийные удобрения хорошо растворимы в воде. При внесении в почву они растворяются в почвенном растворе, а затем вступают во взаимодействие с почвенным поглощающим комплексом по типу обменного (физико-химического), а частично и необменного поглощения.

*Обменное поглощение катионов* калия почвой составляет наибольшую часть от всей емкости поглощения. Реакция обменного

поглощения катионов калия почвой обратима:



В результате перехода калия в обменно-поглощенное состояние ограничивается его подвижность в почве и предотвращается вымывание за пределы пахотного слоя, за исключением легких почв с низкой емкостью поглощения. Обменно-поглощенный почвой калий удобрений хорошо доступен растениям.

Вторичные процессы взаимодействия почвенного раствора с почвенным поглощающим комплексом постепенно вытесняют из него катионы калия. Активное участие в таком обмене принимает и корневая система растений благодаря корневым выделениям.

Катионы калия, обменно поглощаясь почвой, вытесняют из ППК эквивалентное количество других катионов: кальция, магния, аммония, водорода, алюминия и т. д., в зависимости от типа почвы и состава поглощенных катионов. На слабокислых и нейтральных почвах с высокой емкостью поглощения и буферностью этот процесс мало отражается на реакции почвенного раствора, а следовательно, и на условиях роста растений.

На кислых и сильнокислых почвах (в особенности легкого гранулометрического состава), имеющих в составе ППК обменный водород и алюминий, при внесении калийных удобрений наблюдается заметное подкисление почвенного раствора. Поэтому на таких почвах эффективность калийных удобрений снижается.

Кроме того, дополнительное подкисление почвенного раствора происходит и за счет проявления физиологической кислотности калийных солей. Однако следует отметить, что физиологическая кислотность у калийных удобрений значительно меньше, чем у аммонийных, и проявляется она, как правило, только при длительном применении этих удобрений под калиелюбивые культуры, потребляющие большое количество калия.

Необменный (фиксированный) калий обладает значительно меньшей подвижностью, чем обменно-поглощенный. Переход его в раствор и доступность растениям значительно затруднены.

*Необменное поглощение (фиксация) катионов*, имеющих радиус 0,130—0,165 нм ( $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ), присуще глинистым минералам монтмориллонитовой группы и группы гидрослюд, имеющих трехслойную разбухающую решетку. Поэтому размер необменно-

го поглощения почвами калия в сильной степени зависит от их минералогического состава: чем больше в почвах минералов монтмориллонитовой группы и гидрослюд, тем сильнее в них выражена фиксация калия.

Механизм фиксации действует следующим образом: катионы проникают в межpacketные пространства минералов, когда они имеют наибольшие размеры (в состоянии набухания), и занимают в сетке кислородных атомов тетраэдрических слоев гексагональные пустоты, притягивая к себе оба отрицательно заряженных кислородных слоя, в результате чего оказываются в замкнутом пространстве. Попеременное увлажнение и высушивание почвы (что часто бывает в полевых условиях) значительно усиливают процесс фиксации катионов. Фиксация калия наблюдается и во влажной почве, но в значительно меньшей мере.

Фиксация калия удобрений разными почвами в зависимости от их минералогического состава и дозы удобрений может составлять от 14 до 82 % от внесенного количества.

Опыты, проведенные в ВИУА, показали, что форма калийного удобрения практически не влияет на размер фиксации калия почвой. Заметное влияние на этот процесс оказывают размеры частиц удобрений. При внесении крупнокристаллических или гранулированных удобрений фиксация калия почвой снижалась на 20—30 % из-за меньшего контакта удобрения с почвой.

Размер необменного поглощения калия зависит и от дозы вносимого удобрения. Абсолютное количество фиксированного калия при увеличении дозы калийных удобрений резко возрастает, хотя в процентном отношении к внесенной дозе наблюдается понижение фиксации. Потенциальная способность почвы фиксировать калий очень велика. В лабораторном опыте В. У. Пчелкина при очень высокой дозе калия (1000 мг/100 г почвы) слабовыщелоченный чернозем фиксировал калия 147,3 мг/100 г, что эквивалентно 4420 кг/га почвы.

Взаимодействие между разными формами калия в почве можно представить в следующем виде: калий кристаллической решетки  $\rightleftharpoons$  фиксированный калий  $\rightleftharpoons$  обменный калий  $\rightleftharpoons$  водорастворимый калий.

При систематическом применении калийных удобрений и положительном балансе калия (т. е. при превышении внесенного калия удобрений над его выносом растениями) в почве повышается содержание как подвижных форм калия (водорастворимый и обменный), так и его фиксированных форм.

В условиях дефицита калийных удобрений (т. е. при отрицательном балансе калия) происходит обратный процесс. По мере расходования растениями доступных форм калия (водорастворимого и обменного) происходит постепенный переход фиксированного калия, а отчасти и калия кристаллической решетки в более подвижные формы. Например, в опыте на суглинистой почве



(Англия) за 101 год растения вынесли с урожаями в 3—4 раза больше калия, чем его содержалось в почве в обменной форме. В наших опытах (Кобзаренко, 1998) растения на контрольных вариантах использовали из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (Московская обл.) за 17 лет 583 кг/га калия, что в 2,9 раза превысило исходное содержание обменного калия в почве. Заметных изменений в содержании обменного калия в почве за учетный период не произошло. Эти и ряд других данных подтверждают возможность постепенного восполнения запасов обменного калия в почве за счет других его форм.

Многочисленные наблюдения указывают на слабую миграцию калия удобрений по почвенному профилю, за исключением песчаных и супесчаных почв. В лизиметрических опытах ежегодное вымывание калия за пределы корнеобитаемого слоя составило в Нечерноземной зоне на суглинистых почвах 0,4—7,0 кг/га, а на супесчаной почве — до 12 кг/га.

### 5.3.6. ПРИМЕНЕНИЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВАХ

В районах эффективного действия калийных удобрений они обеспечивают на каждый килограмм внесенного калия удобрений прибавку урожая: зерна 2—3 кг, картофеля 20—33, сахарной свеклы 35—40, льноволокна 1—1,5, сена сеяных трав 20—33 и сена луговых трав 8—18 кг.

Эффективность калийных удобрений зависит от почвенно-климатических условий и биологических особенностей возделываемых культур.

Географические закономерности влияния климата на эффективность удобрений уже рассматривались ранее (см. раздел 5.1.6). Главное здесь — уровень обеспеченности растений влагой и тепловыми ресурсами.

Что касается почвенных факторов, то здесь основным является обеспеченность почв доступным для растений калием (сумма водорастворимого и обменного калия).

В нашей стране более 1/3 площадей пашни имеют низкий и средний уровень содержания обменного калия и нуждаются во внесении калийных удобрений. Применение калийных удобрений наиболее эффективно на песчаных, супесчаных дерново-подзолистых, торфяно-болотных и пойменных почвах, а также на красноземах. Положительное действие на урожай растений оказывают калийные удобрения и в зоне достаточного увлажнения на суглинистых дерново-подзолистых, серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах (в случаях низкой и средней обеспеченности их калием).

Почвы степных и сухостепных районов, как правило, хорошо снабжены калием, а условия влагообеспеченности здесь весьма из-

менчивы. Поэтому на типичных, обыкновенных, южных черноземах, каштановых почвах и сероземах действие калийных удобрений в большинстве случаев слабое или совсем не проявляется. Применение калийных удобрений оправдано в этих условиях только под калиелюбивые культуры — сахарную свеклу, подсолнечник, овощные, а также на каштановых почвах и сероземах при орошении.

На солонцах, обычно богатых калием, калийные удобрения не применяют, так как они усиливают солонцеватость этих почв и не дают ожидаемого эффекта.

Калийные удобрения, как правило, оказывают положительное влияние на урожай растений при содержании в почве подвижного калия на уровне 1—3-го классов. При более высокой обеспеченности почв калием эффективность калийных удобрений снижается и определяется в основном составом культур севооборота, уровнем применяемых доз азотных и фосфорных удобрений и других агротехнических мероприятий.

Основные принципы оптимизации применения калийных удобрений следующие.

1. Применение калийных удобрений с учетом обеспеченности почв калием, гранулометрического состава почв, биологических особенностей сельскохозяйственных растений и форм калийных удобрений.

2. Повышение общего уровня культуры земледелия, окультуренности почв, соблюдение сбалансированного питания растений калием и другими питательными элементами (в первую очередь азотом и фосфором).

Эффективность калийных удобрений (как и фосфорных, и азотных) на слабокислых и нейтральных почвах заметно возрастает по сравнению с сильнокислыми почвами (табл. 68).

**68. Эффективность калийных удобрений в зависимости от кислотности дерново-подзолистых почв (по Минееву)**

| рН <sub>KCl</sub> | Прибавка урожайности от 1 кг K <sub>2</sub> O, т/га |             |           |
|-------------------|---|-------------|-----------|
|                   | ячмень  | озимая рожь | картофель |
| <4,5              | 0,29  | 0,38        | 2,01      |
| 4,6—5,0           | 0,46  | 0,30        | 2,67      |
| 5,1—5,5           | 0,50  | 0,63        | 2,99      |
| 5,6—6,0           | 0,56  | 0,67        | 3,76      |

*Примечание.* Ячмень и картофель возделывали на супесчаной почве, озимую рожь — на суглинистой.

Поэтому известкование кислых почв — один из обязательных приемов повышения эффективности калийных удобрений. Однако из-за антагонизма ионов калия и кальция на произвесткованных почвах возникает потребность в повышении доз калийных удобрений.

Применение навоза, который сам является хорошим источником калия для растений, как правило, снижает действие минеральных калийных удобрений.

Наибольшая эффективность калийных удобрений достигается при оптимальном соотношении их с азотными и фосфорными. Одностороннее применение калийных удобрений возможно на осушенных торфяниках и торфяно-болотных почвах, обеспеченных другими элементами питания.

В ассортименте калийных удобрений преобладают хлорсодержащие формы. На почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава такие удобрения в полной дозе (за исключением небольшой дозы в рядки под некоторые культуры) целесообразно вносить осенью под зяблевую обработку. При этом удобрения размещают в более влажном слое почвы, где развивается основная масса корней, и они лучше усваиваются растениями, а хлор вымывается осенне-весенними осадками из пахотного слоя и не оказывает отрицательного действия на хлорофобные культуры. Только на легких, а также на торфяно-болотных и пойменных почвах калийные удобрения следует вносить весной. Под пропашные и овощные культуры в таких случаях часть общей дозы калия целесообразно давать в подкормку.

В севообороте калийные удобрения в первую очередь вносят под калиелюбивые культуры, которые дают при этом более заметные прибавки урожая.

Лен и конопля потребляют сравнительно немного калия, но их слабая корневая система не может в обычных условиях обеспечить эти растения достаточным количеством калия. Поэтому под эти культуры следует вносить повышенные дозы калийных удобрений.

Под хлорофобные культуры целесообразно применять удобрения с минимальным содержанием хлора. Опыты с картофелем показали, что применение хлорсодержащих калийных удобрений снижает количество крахмала на 7—15 % по сравнению с удобрениями, не содержащими хлор.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Какова роль калия в жизни растений? 2. Расскажите о круговороте и балансе калия в земледелии. 3. Где находятся основные месторождения калийных солей? Дайте характеристику калийных минералов, используемых для производства удобрений. 4. Каков ассортимент калийных удобрений? 5. Расскажите о сырых калийных солях. 6. Каковы свойства и особенности применения хлористого калия и 40%-ной калийной соли? 7. Расскажите о составе, свойствах и применении сульфата калия и калийно-магнезиальных солей. 8. В чем заключаются особенности взаимодействия калийных удобрений с почвой? 9. Каковы условия эффективного применения калийных удобрений на различных почвах?

## 5.4. МИКРОУДОБРЕНИЯ

*Микроэлементы* — это необходимые элементы питания, находящиеся в растениях в тысячных-стотысячных долях процента и выполняющие важные функции в процессах жизнедеятельности.

Разработка теоретических основ применения микроэлементов в земледелии стала осуществляться более успешно после того, как была частично расшифрована физиологическая роль микроэлементов в жизни растений. В решение теоретических и практических вопросов, связанных с питанием растений микроэлементами, большой вклад внесли Я. В. Пейве, М. В. Каталимов, П. А. Власюк, Р. К. Кедров-Зихман, М. Я. Школьник и другие ученые.

Недостаток микроэлементов вызывает ряд болезней растений и нередко приводит к их гибели. Применение соответствующих микроудобрений не только устраняет возможность болезней, но и обеспечивает получение более высокого урожая лучшего качества.

Положительное действие микроэлементов обусловлено тем, что они принимают участие в окислительно-восстановительных процессах, углеводном и азотном обмене, повышают устойчивость растений к болезням и неблагоприятным условиям внешней среды. Под влиянием микроэлементов в листьях увеличивается содержание хлорофилла, улучшается фотосинтез, усиливается ассимилирующая деятельность всего растения. Многие микроэлементы входят в активные центры ферментов и витаминов.

Микроэлементы способны образовывать комплексы с нуклеиновыми кислотами, влиять на физические свойства, структуру и физиологические функции рибосом. Они влияют на проницаемость клеточных мембран и поступление элементов питания в растения.

Марганец способствует избирательному поглощению ионов из внешней среды; при его исключении содержание ряда микроэлементов повышается. Марганец влияет на передвижение фосфора из стареющих листьев к молодым. Кобальт, по-видимому, участвует в изменении проницаемости плазмалеммы, значительно улучшает поступление в растения азота и других элементов. Молибден улучшает поглощение растениями фосфора за счет участия в метаболизме азота и может значительно увеличивать обеспеченность растений данным элементом. Поступление азота улучшается также при применении меди и бора. Цинк изменяет проницаемость мембран для калия и магния. У цинкодефицитных растений отмечается повышенная концентрация неорганического фосфора. Этот элемент участвует в структурной организации клеток и в регуляции транспорта ионов через клеточные мембраны. Медь влияет на работу  $K-Na-ATP$ -азы, способствует накоплению в растениях органических соединений фосфора. При достаточном обеспечении медью, цинком и бором поступление магния в растения улучшается.

Взаимодействие между различными ионами может проявляться по-разному и зависит от их количественного состава и факторов внешней среды. По нашим данным, при нарушении питания кукурузы микроэлементами поступление аммонийного и нитратного азота заметно снижалось. Наибольшее снижение поглощения аммонийного азота отмечено при дефиците цинка, молибдена и избытке кобальта и марганца, максимальное уменьшение скорости поглощения нитратного азота — при недостатке меди и марганца. При избытке цинка в питательной смеси также снижалось поглощение аммонийного азота, а при дефиците меди повышалось. Нарушение питания молибденом и цинком увеличивало разницу в поглощении аммонийного и нитратного азота.

В целом при нарушении питания микроэлементами в первую очередь снижается поступление нитратного азота. Аммонийный азот быстрее включается в состав белков. При нарушении питания кобальтом и цинком заметно снижалась скорость включения в состав белков аммонийного азота.

Теоретические и практические исследования по микроудобрениям характеризуются стремлением исследователей изучить первичные реакции действия микроэлементов, проникнуть в специфичность их действия и понять физиологические закономерности. Интенсивно продолжают работы по выяснению агрономической роли микроэлементов.

Для правильного применения микроудобрений важно знать потребность растений в микроэлементах (табл. 69).

**69. Потребность сельскохозяйственных культур в микроэлементах  
(по данным научных учреждений, 1988)**

| Культуры             | B  | Cu | Mn | Mo | Zn |
|----------------------|----|----|----|----|----|
| <i>Зерновые.</i>     |    |    |    |    |    |
| озимая пшеница       | —  | ** | ** | —  | —  |
| озимая рожь          | —  | —  | *  | —  | —  |
| яровая пшеница       | —  | ** | ** | —  | —  |
| яровая рожь          | —  | *  | *  | —  | —  |
| ячмень               | —  | ** | *  | —  | —  |
| овес                 | —  | ** | ** | *  | —  |
| <i>Зернобобовые:</i> |    |    |    |    |    |
| горох                | —  | —  | ** | *  | —  |
| бобы                 | *  | *  | —  | *  | *  |
| люпин                | ** | —  | —  | *  | —  |
| <i>Масличные:</i>    |    |    |    |    |    |
| озимый рапс          | ** | —  | ** | *  | —  |
| яровой рапс          | ** | —  | ** | *  | —  |
| горчица              | *  | —  | —  | *  | —  |
| лен                  | *  | ** | —  | —  | ** |
| <i>Овощные.</i>      |    |    |    |    |    |
| капуста цветная      | ** | *  | *  | ** | —  |
| огурец               | —  | *  | ** | —  | —  |

## Продолжение

| Культуры                          | B  | Cu | Mn | Mo | Zn |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|
| морковь                           | *  | ** | *  | —  | —  |
| редис                             | *  | *  | ** | *  | —  |
| редька                            | *  | *  | ** | *  | —  |
| томат                             | *  | *  | *  | *  | *  |
| капуста белокочанная              | ** | *  | *  | *  | —  |
| лук                               | —  | ** | ** | —  | *  |
| <i>Пропашные:</i>                 |    |    |    |    |    |
| картофель                         | *  | —  | *  | —  | *  |
| сахарная свекла                   | ** | *  | ** | *  | *  |
| <i>Кормовые:</i>                  |    |    |    |    |    |
| клевер луговой                    | *  | *  | *  | ** | *  |
| люцерна                           | ** | ** | *  | ** | *  |
| люпин                             | ** | —  | —  | *  | —  |
| кукуруза на силос и зеленую массу | *  | *  | *  | —  | ** |

*Примечание.* — низкая потребность в элементе; \* — средняя потребность; \*\* — высокая потребность.

У бобовых культур, например, содержание молибдена выше, и они аккумулируют в 2—10 раз больше железа, чем злаковые. Бобовые растения в большей степени, чем другие культуры, нуждаются в кобальтовых удобрениях. Неодинаковая потребность в микроэлементах различных растений, микроорганизмов и животных требует внимательного исследования. Это особенно важно в связи с применением микроэлементных подкормок в птицеводстве и животноводстве, решением вопросов о балансе элементов и охране окружающей среды.

Одним из критериев потребности растений в микроэлементах является их содержание в растениях (табл. 70). Обеспеченность растений микроэлементами определяют по уровню содержания их в почве. При этом наиболее важно не общее (валовое) количество в почве отдельных микроэлементов, а наличие подвижных форм, которые в какой-то степени определяют их доступность для растений. Содержание микроэлементов в подвижной форме чаще всего составляет для Cu, Mo, Co и Zn 10—15 % от их валового содержания в почве, а для B — 2—4 %.

## 70. Содержание микроэлементов в растениях, мг/кг сухого вещества

| Растение               | B   | Mo        | Mn     | Cu       | Zn        | Co        |
|------------------------|-----|-----------|--------|----------|-----------|-----------|
| Озимая пшеница (зерно) | —   | 0,20—0,55 | 12—78  | 3,7—10,2 | 8,7—35,5  | 0,06—0,10 |
| Яровая пшеница:        |     |           |        |          |           |           |
| зерно                  | 2   | 0,25—0,50 | 11—120 | 4—130    | 11,4—75,0 | 0,05—0,13 |
| солома                 | 2—4 | —         | 60—146 | 1,5—3,0  | 10—50     | —         |
| Рожь (зерно)           | —   | 0,20—0,54 | 8—94   | 3,4—18,3 | 9,8—35,8  | 0,05—0,21 |

Продолжение

| Растение                 | B     | Mo        | Mn      | Cu       | Zn         | Co        |
|--------------------------|-------|-----------|---------|----------|------------|-----------|
| Ячмень:                  |       |           |         |          |            |           |
| зерно                    | 2     | 0,39—0,46 | 8—140   | 3,9—14,3 | 9,6—50,0   | 0,05—0,11 |
| солома                   | 3—4   | —         | 37—90   | 3,8—6,6  | 10—55      | —         |
| Овес:                    |       |           |         |          |            |           |
| зерно                    | 2—3   | 0,28—0,74 | 10—120  | 4,0—13,9 | 8,4—50,0   | 0,02—0,14 |
| солома                   | —     | 0,74      | 63—153  | 3,7—7,5  | 5—30       | —         |
| Горох (зерно)            | —     | 0,70—8,40 | 7—25    | 5,2—23,3 | 14,1—56,1  | 0,12—0,35 |
| Вика посевная (зерно)    | —     | 1,20—2,51 | 11—26   | 5,4—12,2 | 12,7—48,9  | 0,17—0,44 |
| Тимофеевка               | 4     | 0,40—0,81 | 11—135  | 5,8—26,3 | 10,2—40,1  | 0,05—0,28 |
| Клевер                   | 12—40 | 0,28—3,50 | 10—278  | 4,5—20,8 | 14,0—180   | 0,13—0,42 |
| Кукуруза (зеленая масса) | 1—2   | 0,20—0,80 | 21—197  | 3,0—11,5 | 5—36       | 0,07—0,40 |
| Люцерна (сено)           | 68    | —         | 13—86   | 6,2—20,3 | 11—37      | 0,20—0,85 |
| Сахарная свекла:         |       |           |         |          |            |           |
| корни                    | 12—17 | 0,10—0,20 | 50—190  | 5—7      | 15—84      | 0,05—0,29 |
| листья                   | 20—35 | 0,40—0,60 | 128—325 | 6,9—8,4  | 14,7—124,0 | 0,25—0,50 |
| Картофель (клубни)       | 6     | —         | 8—21    | 4,7—6,0  | 6—20       | 0,14—0,69 |
| Капуста кормовая         | 5—20  | —         | 25—135  | 3,5—6,9  | 5—35       | 0,04—0,20 |

Если валовые запасы микроэлементов в почве определяются главным образом их содержанием в материнских породах, то количество микроэлементов в подвижной форме зависит от типа почвы, характера материнских пород и растительности, а также от микробиологической активности почвы. Установлено существенное влияние кислотности почвы, ее окислительно-восстановительных и других условий на подвижность микроэлементов в почве, а следовательно, на их доступность растениям. Влияние отдельных почвенных условий довольно специфично для различных микроэлементов. Так, например, если подкисление существенно увеличивает подвижность большинства микроэлементов (Mn, Cu, B, Zn и др.), то доступность растениям молибдена при этом значительно уменьшается.

Понятие «подвижность» пока не получило четкого определения в научной литературе. Большинство исследователей под этим термином подразумевают все формы и количество микроэлементов, переходящих в любую вытяжку: водную, солевую, в разбавленные сильные минеральные и слабые органические кислоты, щелочи и другие растворы. При этом часто между подвижными и доступными растениям формами микроэлементов не делают различий.

Агрохимическое обследование почв показало, что почвы отдельных биогеохимических провинций часто довольно бедны подвижными формами некоторых микроэлементов. Так, в Московской области около 80 % исследованных площадей нуждается во внесении борных удобрений; недостаток молибдена обнаружен на 60 % площадей, меди — на 50—60 %. Отсутствие градаций

обеспеченности микроэлементами, разработанных специально для изучаемых почв и сельскохозяйственных растений, заставляет исследователей и практиков использовать любые имеющиеся стандарты.

Б. А. Ягодиным и И. В. Верниченко сделано обобщение литературного материала по обеспеченности почв основных биогеохимических зон подвижными формами микроэлементов, установленной на основании анализа почв и растений, а также в результате полевых и вегетационных опытов (табл. 71).

**71. Градации обеспеченности почв России подвижными формами микроэлементов**

| Микроэлемент | Биохимическая зона        | Почвенная вытяжка                     | Обеспеченность, мг/кг почвы |           |           |           |               |
|--------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------|
|              |                           |                                       | очень низкая                | низкая    | средняя   | высокая   | очень высокая |
| В            | Таежно-лесная             | H <sub>2</sub> O                      | 0,2                         | 0,2—0,4   | 0,4—0,7   | 0,7—1,1   | 1,1           |
| Cu           |                           | 1,0 н. HCl                            | 0,9                         | 0,9—2,1   | 2,1—4,0   | 4,0—6,6   | 6,6           |
| Mo           |                           | Оксалатная вытяжка                    | 0,08                        | 0,08—0,14 | 0,14—0,30 | 0,30—0,46 | 0,46          |
| Mn           | Лесостепная и степная     | 0,1 н. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 1,0                         | 1,0—25,0  | 25—60     | 60—100    | 100           |
| Co           |                           | 1,0 н. HNO <sub>3</sub>               | 0,4                         | 0,4—1,0   | 1,0—2,3   | 2,3—5,0   | 5,0           |
| Zn           |                           | 1,0 н. KCl                            | 0,2                         | 0,2—0,8   | 0,8—2,0   | 2,0—4,0   | 4,0           |
| В            |                           | H <sub>2</sub> O                      | 0,2                         | 0,2—0,4   | 0,4—0,8   | 0,8—1,2   | 1,2           |
| Cu           |                           | 1,0 н. HCl                            | 1,4                         | 1,4—3,0   | 3,0—4,4   | 4,4—5,6   | 5,6           |
| Mo           |                           | Оксалатная вытяжка                    | 0,10                        | 0,10—0,23 | 0,23—0,38 | 0,38—0,55 | 0,55          |
| Mn           |                           | 0,1 н. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 25                          | 25—55     | 55—90     | 90—170    | 170           |
| Co           |                           | 1,0 н. HNO <sub>3</sub>               | 1,0                         | 1,0—1,8   | 1,8—2,9   | 2,9—3,6   | 3,6           |
| Zn           |                           | 1,0 н. KCl                            | 0,15                        | 0,15—0,30 | 0,3—1,0   | 1,0—2,0   | 2,0           |
| Zn           |                           | Ацетатно-аммонийная                   | 4,0                         | 4,0—6,0   | 6,0—8,8   | 8,8       | —             |
| В            | Сухостепная и полустепная | 1,0 н. KNO <sub>3</sub>               | 0,4                         | 0,4—1,2   | 1,2—1,7   | 1,7—4,5   | 4,5           |
| Cu           |                           | HNO <sub>3</sub> (по Гюльбахмедову)   | 1,0                         | 1,0—1,8   | 1,8—3,0   | 3,0—6,0   | 6,0           |
| Mo           |                           | То же                                 | 0,05                        | 0,05—0,15 | 0,15—0,50 | 0,5—1,2   | 1,2           |
| Mn           |                           | »                                     | 6,6                         | 6,6—12,0  | 12—30     | 30—90     | 90            |
| Co           |                           | »                                     | 0,6                         | 0,6—1,3   | 1,3—2,4   | 2,4       | —             |
| Zn           |                           | »                                     | 0,3                         | 0,3—1,3   | 1,3—4,0   | 4,0—16,4  | 16,4          |

Как видно из таблицы 71, диапазон применяемых вытяжек чрезвычайно велик — от сильных кислот до водных растворов. Значительная часть их агрессивна и вряд ли извлекает только доступные растениям микроэлементы. При сопоставлении размеров потребления микроэлементов растениями с их количеством в почве, извлекаемым агрессивными вытяжками, установлено, что растениями используется менее 1 % извлекаемых из почвы микроэлементов.

Необходимо отметить, что при оценке обеспеченности почв ус-



вояемыми формами микроэлементов и разработке на их основе практических рекомендаций следует проявлять известную осторожность, так как имеются доказательства значительных изменений в содержании подвижных фракций микроэлементов в зависимости от времени взятия образца. Эти колебания иногда могут быть столь существенными, что в разные сроки вегетационного периода почва оказывается хорошо и слабо обеспеченной усвояемыми соединениями микроэлементов.

Внесение основных минеральных удобрений изменяет подвижность микроэлементов за счет pH и действует на поглощение микроэлементов в соответствии с явлениями синергизма и антагонизма. Например, внесение фосфора снижает поступление цинка и меди и иногда увеличивает поступление марганца. Внесение магния увеличивает поступление в растения фосфора. Применение органических веществ значительно изменяет адсорбцию всех минеральных элементов. В связи с этим можно ожидать, что наряду с анализом почвы на содержание подвижных микроэлементов более точное решение вопросов обеспеченности ими сельскохозяйственных растений можно получить с помощью самих растений.

В зависимости от количества микроэлементов в почвах Нечерноземной зоны определены следующие уровни обеспеченности их микроэлементами (табл. 72).

**72. Группировка почв по обеспеченности растений микроэлементами**

| Обеспеченность                | Содержание микроэлементов, мг/кг почвы |                         |                       |                       |
|-------------------------------|--|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                               | В в водной вытяжке                     | Мо в оксалатной вытяжке | Сu в вытяжке 1 н. HCl | Zn в вытяжке 1 н. HCl |
| <i>Первая группа растений</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</i> |  |                         |                       |                       |
| Низкая                        | 0,3                                    | 0,2                     | 0,2                   | 1,5                   |
| Средняя                       | 0,3—1,0                                | 0,2—0,3                 | 2—4                   | 1,5—3                 |
| Высокая                       | 0,5                                    | 0,3                     | 4                     | 3                     |
| <i>Третья группа растений</i> |  |                         |                       |                       |
| Низкая                        | 0,5                                    | 0,3                     | 5                     | 3                     |
| Средняя                       | 0,5—1,0                                | 0,3—0,5                 | 5—7                   | 3—5                   |
| Высокая                       | 1                                      | 0,5                     | 7                     | 5                     |

*Примечание.* Первая группа — культуры невысокого выноса микроэлементов и со сравнительно высокой усваивающей способностью: зерновые хлеба, кукуруза, зернобобовые, картофель. Вторая группа — культуры повышенного выноса микроэлементов, с высокой и средней усваивающей способностью: корнеплоды, овощи, травы (бобовые, злаковые, разнотравье), сады. Третья группа — культуры высокого выноса микроэлементов — все перечисленные выше культуры в условиях хорошего агротехнического фона: орошение, высокие дозы удобрений, использование лучших сортов, хорошие обработка почв и уход за растениями.

Применение микроудобрений в сельском хозяйстве — существенный резерв повышения урожаев культурных растений. В среднем микроудобрения обеспечивают повышение урожайности сельскохозяйственных культур на 10—12 % и выше. Использование микроэлементов наиболее эффективно в регионах, почвы которых обеднены тем или иным микроэлементом. Такие почвы достаточно распространены. Так, по данным крупномасштабного агрохимического обследования почв, низкой и средней обеспеченностью подвижным бором характеризуется 37,3 %, молибденом — 85,5, медью — 64,9, цинком — 94,0 кобальтом — 86,9, марганцем — 52,5 % общей площади пашни.

Для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур, имеющих сбалансированный элементный состав, требуются значительное расширение ассортимента и увеличение объема производства применяемых микроудобрений. Однако в настоящее время поступление солей микроэлементов в сельскохозяйственное производство резко сократилось, в то время как потребность земледелия России в микроэлементах на ближайшую перспективу оценивается в 12 тыс. т (табл. 73).

**73. Потребность земледелия Российской Федерации в микроудобрениях (т питательных веществ) (по данным ВНИПТИХИМ, 1999)**

| Экономический район, область | B      | Mo     | Cu     | Zn    | Co    | Mn     |
|------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| <b>Российская Федерация</b>  | 4800,0 | 1012,6 | 3063,0 | 961,4 | 165,8 | 1976,7 |
| Центральный:                 | 350,0  | 108,2  | 638,0  | 392,0 | 54,5  | 170,8  |
| Брянская                     | 59,9   | 12,2   | 46,7   | —     | 0,7   | —      |
| Владимирская                 | 14,1   | 8,1    | 49,7   | —     | 0,6   | —      |
| Ивановская                   | 12,0   | 6,1    | 13,1   | —     | 0,6   | —      |
| Калужская                    | 25,5   | 7,8    | 14,9   | —     | 0,6   | —      |
| Московская                   | 58,9   | 38,0   | 412,8  | 392,0 | 50,0  | 170,8  |
| Рязанская                    | 59,3   | 120,5  | 46,6   | —     | 0,8   | —      |
| Смоленская                   | 77,1   | 16,8   | 46,7   | —     | 0,6   | —      |
| Тульская                     | 43,2   | 8,7    | 7,5    | —     | 0,6   | —      |

В качестве дополнительного источника микроэлементов используют некоторые промышленные отходы, например металлургические шлаки, пиритные огарки, осадки сточных вод и др. Следует отметить, что удобрения подобного типа не всегда содержат питательные вещества в доступной для растений форме и часто имеют высокотоксичные примеси.

Существенный вклад в решение этой проблемы могут внести разработанные микроудобрения на лигнинной основе «МиБАС», изготавливаемые из отходов предприятий целлюлозно-бумажной промышленности, полиграфического, электронного, машиностроительного и других производств. Разработанные технологии утилизации этих отходов позволяют извлекать необходимые компоненты в чистом виде и получать из них экологически безопас-

ные удобрения. При этом решается комплекс задач — утилизируются большие количества лигнинсодержащих отходов целлюлозно-бумажного производства и металлсодержащих отходов других производств, а также удовлетворяются потребности сельского хозяйства в микроудобрениях.

Отличительная особенность новых удобрений — лигнинная (отход целлюлозно-бумажной промышленности) основа, обеспечивающая полимерную пленку на поверхности, например семени, и надежное прилипание к этой поверхности. В ассортименте микроудобрений «МиБАС» — медь-, цинк- и кобальтсодержащие композиции. Удобрения «МиБАС» технологичны при использовании, не пылят, совместимы со средствами защиты растений. В ряде полевых и производственных опытов установлена эффективность этих микроудобрений.

Микроудобрения на лигнинной основе «МиБАС» выпускают в двух модификациях: гранулированный препарат пролонгированного действия для основного внесения в почву и жидкий концентрат для предпосевной обработки семян. Содержание микроэлемента в гранулированных формах  $10 \pm 5\%$ , в концентрате, который перед обработкой семян разбавляют в 3 раза,  $1,3 \pm 0,3\%$ . Расход гранулированных удобрений 50—150 кг/га, жидкой композиции (разбавленного препарата) 10—20 кг/т семян.

Вносить микроэлементы в почву лучше в составе основных минеральных удобрений (суперфосфата и аммофоса, нитроаммофосок, хлорида калия и др.). Перспективно вводить микроэлементы в состав длительно действующих удобрений, а также применять их с поливной водой при дождевании.

На основе данных о содержании микроэлементов в почве и растениях определяют дозы микроэлементов, необходимые для внесения. Дозы микроудобрений колеблются в зависимости от почвенно-климатических условий, биологических особенностей культур и других факторов. Ориентировочные дозы микроудобрений для отдельных культур даны в таблице 74.

**74. Дозы и способы применения микроудобрений для различных культур (ЦИНАО, 1987)**

| Микроэлемент | Внесение в почву, кг д.в. на 1 га |         | Предпосевная обработка семян, г на 1 т | Некорневая подкормка, г д.в. на 1 га |
|--------------|-----------------------------------|---------|--|--------------------------------------|
|              | до посева                         | в рядки |  |                                      |
| Зерновые     |                                   |         |  |                                      |
| B            | —                                 | 0,2     | 30—40                                  | 20—30                                |
| Cu           | 0,5—1,0                           | 0,2     | 170—180                                | 20—30                                |
| Mn           | 1,5—3,0                           | 1,5     | 80—100                                 | 15—25                                |
| Zn           | 1,2—3,0                           | —       | 100—150                                | 20—25                                |
| Mo           | 0,6                               | 0,2     | 50—60                                  | 100—150                              |
| Co           | —                                 | —       | 40—50                                  | —                                    |

## Продолжение

| Микроэлемент                 | Внесение в почву, кг д.в. на 1 га |         | Предпосевная<br>обработка семян,<br>г на 1 т | Некорневая<br>подкормка, г д.в.<br>на 1 га |
|------------------------------|-----------------------------------|---------|--|--|
|                              | до посева                         | в рядки |  |  |
| Зерновые бобовые             |                                   |         |  |  |
| B                            | 0,3—0,5                           | —       | 20—40  | 15—20                                      |
| Cu                           | —                                 | —       | 120—160                                      | 20—25                                      |
| Mn                           | 1,5—3,0                           | —       | 100—120                                      | —  |
| Zn                           | 2,5                               | 0,5     | 80—100                                       | 17—22                                      |
| Mo                           | 0,15—0,30                         | —       | 40—50  | 8—11                                       |
| Co                           | 0,5                               | 0,5     | 150—160                                      | 25—30                                      |
| Кукуруза                     |                                   |         |  |  |
| B                            | —                                 | 0,2     | 20—40  | 5—10                                       |
| Cu                           | 3,0                               | 0,5     | 120—140                                      | 20—30                                      |
| Mn                           | 2,0—4,0                           | 1,5     | 50—60  | —  |
| Zn                           | 1,0—3,0                           | 1,5     | 150—200                                      | 17—22                                      |
| Mo                           | —                                 | —       | 70—80  | 10—15                                      |
| Co                           | 0,6                               | 0,2     | 170—180                                      | 20—40                                      |
| Свекла и кормовые корнеплоды |                                   |         |  |  |
| B                            | 0,5—0,8                           | 0,15    | 120—160                                      | 25—35                                      |
| Cu                           | 0,8—1,5                           | 0,3     | 80—120                                       | 70   |
| Mn                           | 2,0—5,0                           | 0,5     | 90—100                                       | 20—25                                      |
| Zn                           | 1,2—3,0                           | 0,5     | 140—150                                      | 55—65                                      |
| Mo                           | 0,15—0,30                         | 0,1     | 100—120                                      | 17—22                                      |
| Co                           | 0,5                               | 0,15    | 100—150                                      | 100—200                                    |
| Овощные и картофель          |                                   |         |  |  |
| B                            | 0,4—0,8                           | —       | 100—150                                      | —  |
| Cu                           | 0,8—1,5                           | —       | —  | 20—25*                                     |
| Mn                           | 2,0—5,0                           | —       | 100—150                                      | —  |
| Zn                           | 0,7—1,2                           | —       | —  | —  |
| Mo                           | 0,15—0,30*                        | —       | —  | 10—15*                                     |
| Co                           | —                                 | —       | 80—100                                       | 150; 25—30*                                |

\*Для картофеля

Трудность использования микроудобрений состоит в том, что их дозы гораздо ниже, чем макроудобрений, а требования к равномерности внесения выше. Поэтому более рационально применять основные удобрения, содержащие добавки микроэлементов. Так, под гречиху, сахарную свеклу, овощные, горох, кукурузу, хлопчатник, семенники клевера, люцерны и другие культуры вносят борный суперфосфат 300—350 кг/га. Под лен, землянику и огурец дозы борного суперфосфата снижают в 2 раза. Бормагниевые удобрения лучше всего давать в рядки — 30—55 кг/га или вразброс — 100 кг/га вместе с другими минеральными удобрениями.

Молибденизированный суперфосфат вносят в рядки с семенами клевера, люцерны, гороха и других бобовых культур — 50 кг/га.

Наиболее распространенный вид медных удобрений — пиритные (колчеданные) огарки ( $0,2-0,3 \text{ Cu}$ ). Их вносят в почву ( $500-600 \text{ кг/га}$ ) под зяблевую обработку один раз в 4—5 лет.

**Бор.** Обнаружен в золе растений в 50-х годах прошлого столетия. Этот элемент широко распространен в природе в виде кислородных соединений борсодержащих минералов борной кислоты ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) и буры ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ).

Среднее содержание бора в растениях 0,0001 %, или 1 мг на 1 кг массы. Наиболее нуждаются в боре двудольные растения. Обнаружено значительное содержание этого элемента в цветках, особенно в рыльцах и столбиках. В растительных клетках большая часть бора находится в клеточных стенках. Бор усиливает рост пыльцевых трубок, прорастание пыльцы, увеличивает количество цветков и плодов. Без бора нарушается процесс созревания семян. Он снижает активность окислительных ферментов, оказывает влияние на синтез и передвижение стимуляторов роста.

Бор необходим растениям в течение всей жизни. Он не может реутилизироваться в растениях, поэтому при его недостатке особенно страдают молодые растущие органы. Возникают заболевания и отмирание точек роста.

В растениях бор улучшает углеводный обмен, влияет на белковый и нуклеиновый обмен. При его недостатке нарушаются синтез, превращение и передвижение углеводов, формирование репродуктивных органов, оплодотворение и плодоношение.

Согласно концепции М. Я. Школьника у двудольных растений при недостатке бора происходят следующие нарушения физиологических процессов: вначале накапливаются фенолы, фенольные ингибиторы ауксиноксидазы увеличивают накопление ауксинов, нарушаются нуклеиновый обмен и биосинтез белка. Затем наступает нарушение структуры клеточных стенок и хода деления клеток. Впоследствии происходит побурение тканей из-за увеличения под влиянием фенолов проницаемости тонопласта вакуолей и проникновения полифенолов в цитоплазму.

Считается, что основная физиологическая роль бора заключается в участии в обмене ауксинов и фенольных соединений. Регулирование количества ауксинов и фенолов, по-видимому, является основной физиологической функцией бора. Бор не входит в состав ферментов, но активизирует ауксиноксидазу и  $\beta$ -глюкозидазу.

При недостатке бора растения поражаются сухой гнилью (корнеплоды), коричневой гнилью (цветная капуста), дуплистостью (турнепс и брюква), бактериозом, желтеют (люцерна), усыхают их верхушки (табак), нарушается оплодотворение у льна, отмирает точка роста у подсолнечника.

Особенно чувствительны к недостатку бора подсолнечник, люцерна, кормовые корнеплоды, лен, рис, кормовая капуста, овощные культуры, сахарная свекла.

Высокие дозы бора вызывают у растений токсикоз, при этом

бор в первую очередь накапливается в листьях. Избыток бора вызывает своеобразный ожог нижних листьев, появляется краевой некроз, листья желтеют, отмирают и опадают.

Различные сельскохозяйственные культуры неодинаково реагируют на повышенное содержание бора в почве. Так, зерновые культуры страдают от избытка уже при содержании подвижного бора 0,7—8,8 мг/кг почвы, а люцерна и свекла могут переносить концентрацию бора в почве свыше 25 мг/кг почвы. Содержание бора в подвижной форме свыше 30 мг/кг почвы является причиной тяжелых заболеваний растений и животных.

Порог токсичности бора определяется не только его содержанием, но и количеством и соотношением других элементов питания. Хорошая обеспеченность растений кальцием и фосфором повышает их требовательность к обеспеченности бором.

Особенно большую роль играет бор в условиях известкования кислых подзолистых почв, так как известкование уменьшает доступность бора, закрепляет его в почве и задерживает поступление в растения. Внесение бора на известкованных почвах полностью устраняет заболевание корнеплодов гнилью сердечка и картофеля паршой.

На внесение борных микроудобрений положительно отзываются клевер, люцерна, картофель, гречиха, кукуруза, зерновые бобовые, виноград, яблоня и др.

Бором бедны дерново-подзолистые, дерново-глеевые, заболоченные почвы легкого гранулометрического состава. В почвах тундры валовое содержание бора 1—2 мг/кг, подвижного — до 0,1 мг/кг, в дерново-подзолистых почвах — соответственно 2—5 и 0,04—0,60 мг/кг.

Внесение бора целесообразно, если содержание подвижных форм в почве Нечерноземной зоны менее 0,2—0,5 мг/кг почвы, в Черноземной — 0,30—0,65.

Применение бора на бедных этим микроэлементом почвах повышает урожайность льносолемы на 0,2—0,3 т/га, сахарной свеклы — в среднем на 4,5 т/га при одновременном увеличении содержания сахара в корнях на 0,3—2,1 % (табл. 75).

#### 75. Эффективность борных удобрений на дерново-подзолистых почвах

| Культура                                 | Средняя урожайность, т/га | Прибавка от бора, т/га |
|--|---------------------------|------------------------|
| Сахарная свекла                          | 24,6                      | 3,8                    |
| Сахарная свекла (торфяно-болотные почвы) | 37,6                      | 3,7                    |
| Лен (семена)                             | 0,56                      | 0,12                   |
| Картофель                                | 21,6                      | 4,0                    |
| Морковь                                  | 33,4                      | 5,6                    |
| Капуста                                  | 49,2                      | 12,4                   |
| Томат                                    | 55,7                      | 5,1                    |

В качестве борных удобрений в сельском хозяйстве используют в основном боросуперфосфат и бормагниевого удобрения:

| <i>Удобрение</i>                | <i>Содержание бора в водорастворимой форме, %</i> |
|---------------------------------|---|
| Борная кислота техническая      | 17,3  |
| Бормагниевого удобрение         | 2,27  |
| Боросуперфосфат гранулированный | 0,2   |

Боросуперфосфат в первую очередь применяют в районах свекловодства и льноводства.

Боросуперфосфат, содержащий 0,2 % В, применяют под сахарную свеклу, кормовые корнеплоды, зерновые бобовые, гречиху, подсолнечник, огурец, овощи, плодово-ягодные. При основном внесении используют дозу 200—300 кг/га, а в рядки при посеве — 100—150 кг/га. Под лен, огурец, овощи, плодово-ягодные вносят 150 кг/га, а под лен еще и в рядки — 50 кг/га.

Бормагниевого удобрение (2,2 % В) применяют под сахарную свеклу, кормовые корнеплоды, зерновые бобовые, гречиху и лен, в почву в смеси с другими удобрениями вносят в дозе 20 кг/га.

Борная кислота (17 % В) используется для некорневых подкормок в дозе 500—600 г/га под семенники многолетних трав и овощных культур, для плодово-ягодных — 700—800 г/га и предпосевной обработки семян различных сельскохозяйственных растений — в дозе 100 г борной кислоты на 100 кг семян (табл. 76).

**76. Применение борных удобрений под различные культуры**

| Микроудобрение                    | Культуры   | Доза на 1 га | Способ применения                          |
|-----------------------------------|--|--------------|--|
| Боросуперфосфат (0,2 % В)         | Сахарная свекла, кормовые корнеплоды, зерновые                       | 200—300 кг   | В почву при основном внесении              |
|                                   | бобовые, гречиха   | 100—150 кг   | В рядки при посеве                         |
|                                   | Лен  | 100—500 кг   | В почву при основном внесении              |
|                                   |  | 50 кг        | В рядки при посеве                         |
|                                   | Огурец, овощи, плодово-ягодные                                       | 100—150 кг   | В почву при основном внесении              |
| Борная кислота (17 % В)           | Семенники многолетних трав и овощных культур                         | 500—600 г    | Для предпосевной обработки                 |
|                                   | Плодово-ягодные  | 700—800 г    | Некорневые подкормки                       |
| Бормагниевого удобрения (2,2 % В) | Сахарная свекла, кормовые корнеплоды, зерновые бобовые, гречиха, лен | 20 кг        | В почву в смеси с минеральными удобрениями |

**Медь.** Среднее содержание меди в растениях 0,0002 %, или 2 мг на 1 кг массы, и зависит от их видовых особенностей и почвенных условий. С урожаем различных культур с 1 га выносятся 7—27 г меди (табл. 77).

**77. Содержание меди в растениях, выращенных на дерново-подзолистой почве и мощном черноземе (по Катыльмову)**

| Растение           | Дерново-подзолистые почвы |                         | Мощный чернозем      |                         |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
|                    | урожайность,<br>т/га      | содержание Cu,<br>мг/кг | урожайность,<br>т/га | содержание<br>Cu, мг/кг |
| Яровая пшеница:    |                           |                         |                      |                         |
| зерно              | 2,3                       | 7,7                     | 1,0                  | 5,2                     |
| солома             | 2,4                       | 3,0                     | 1,4                  | 1,5                     |
| Овес:              |                           |                         |                      |                         |
| зерно              | 2,2                       | 5,8                     | 2,0                  | 3,6                     |
| солома             | 3,9                       | 7,5                     | 2,1                  | 3,7                     |
| Вика яровая (сено) | 4,0                       | 12,2                    | 2,5                  | 4,7                     |
| Картофель:         |                           |                         |                      |                         |
| клубни             | 27,0                      | 6,0                     | —                    | —                       |
| ботва              | 50,0                      | 18,0                    | —                    | —                       |
| Свекла сахарная:   |                           |                         |                      |                         |
| корни              | 54,2                      | 6,4                     | 28,0                 | 6,5                     |
| листья             | 45,0                      | 8,4                     | 10,0                 | 6,9                     |

В растительной клетке около 2/3 меди может находиться в нерастворимом, связанном состоянии. Относительно богаты медью семена и наиболее жизнеспособные, растущие части растений. 70 % всей меди, находящейся в листе, сконцентрировано в хлоропластах. Физиологическая роль меди в значительной степени определяется ее вхождением в состав медьсодержащих белков и ферментов, катализирующих окисление дифенолов и гидроксильное окисление монофенолов: ортодифенолоксидазы, полифенолоксидазы и тирозиназы.

Наиболее изученный медьсодержащий фермент — цитохром-оксидаза. Предполагается, что медь и железо цитохромоксидазы входят в один активный центр фермента.

Важные функции в растениях выполняет медьсодержащий белок — пластоцианин. Почти половина всей меди в листьях у ряда растений находится в форме пластоцианина.

Недостаточная обеспеченность растений медью резко отрицательно отражается на активности медьсодержащих ферментов.

Определенные функции выполняет данный элемент в азотном обмене, входя в состав нитритредуктазы, гипонитритредуктазы и редуктазы оксида азота. В результате влияния меди на биосинтез леггемоглобина и активность ряда ферментных систем этот фермент усиливает процесс связывания молекулярного азота атмосферы и усвоение азота почвы и удобрения.

Имеются данные об увеличении под действием меди прочности хлорофилл-белкового комплекса, уменьшении разрушения хлорофилла в темноте и в целом о положительном действии меди на процесс озеленения у всех растений.

За счет ингибирования медьсодержащим ферментом полифенолоксидазой ауксинов медь снижает ингибирующее действие



на рост высоких доз этих ростовых веществ. Черный пигмент меланин образуется за счет окисления аминокислоты тирозина, осуществляемого ферментом тирозиназой, в состав которой входит медь. Отсутствие данного фермента вызывает альбинизм — отсутствие у растений зеленой окраски. Потемнение битых картофеля, яблок и т. д. также вызывается тирозиназой.

Как известно, этилен задерживает дифференциацию тканей и ингибирует деление клеток, синтез ДНК, рост растений. Для биосинтеза этилена необходим медьсодержащий фермент. Снижение содержания в растениях фенольных ингибиторов ведет к вытягиванию стеблей и полеганию растений. По-видимому, благодаря регулирующему действию на содержание в растениях ингибиторов роста фенольной природы медь повышает устойчивость растений к полеганию. Она способствует увеличению засухо-, морозо- и жароустойчивости растений.

Недостаток меди вызывает задержку роста, хлороз, потерю тургора и увядание растений, задержку цветения и гибель урожая. У злаковых растений при остром дефиците меди происходит побеление кончиков листьев и не развивается колос (белая чума или болезнь обработки), у плодовых при недостатке меди появляется соцветийность.

Валовое содержание меди в различных почвах колеблется в широких пределах — от 0,1 до 150 мг/кг почвы. В пахотном горизонте почвы в подвижной форме находится в основном двухвалентный катион меди в обменно-поглощенном состоянии. Медь содержится в почвенных минералах и органическом веществе. Наибольшее количество меди в почве связывается монтмориллонитом и вермикулитом, оксидами Fe и Mn, гидроксидами Fe и Al. С медью способны образовывать устойчивые комплексы гуминовые и фульвокислоты. Поэтому наиболее бедны медью верховые торфяники, дерново-карбонатные, болотные и заболоченные, песчаные и супесчаные почвы. Известкование кислых почв уменьшает поступление меди в растения, так как способствует ее закреплению в почве. Известь действует как адсорбент меди, а также путем подщелачивания создает лучшие условия для образования комплексов органических соединений с медью.

Растения испытывают недостаток меди, а почвы считаются бедными по содержанию этого элемента, если в почвах Нечерноземной зоны содержится меди менее 1,5—2,0 мг, в Черноземной зоне — менее 2,0—5,0 мг на 1 кг почвы.

Потребность в меди в основном проявляется в Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском районах Российской Федерации.

На некоторых осушенных торфяниках из-за недостатка меди вообще не удается получить урожай сельскохозяйственных культур. По результатам опытов, внесение медных удобрений на торфоболотных и легких супесчаных почвах приводит к увеличению урожайности зерновых культур на 0,2—0,5 т/га.

Наиболее отзывчивы на медные удобрения пшеница, овес, ячмень, травы, лен, конопля, корнеплоды, луговой клевер, просо, подсолнечник, горчица, сахарная и кормовая свекла, кормовые бобы, горох, овощные и плодово-ягодные культуры. Потребность в меди возрастает в условиях применения высоких доз азотных удобрений.

В перспективе потребность сельского хозяйства страны в медных удобрениях целесообразно удовлетворять за счет медного купороса и медно-калийных удобрений.

Медные удобрения, имеющие местное значение, — пиритные огарки (0,2—0,3 % Cu). Их вносят один раз в 4—5 лет в дозе 500—600 кг/га осенью под зяблевую вспашку или весной под предпосевную культивацию.

Для опудривания семян берут 50—100 г сульфата меди на 100 кг семян, для некорневых подкормок доза сульфата меди на 1 га посевов — 200—300 г. Сульфат меди содержит 25,4 % меди (табл. 78).

**78. Ассортимент медных удобрений**

| Удобрение                     | Действующее вещество                      | Содержание д. в. в водорастворимой форме, % |
|-------------------------------|---|---|
| Медный купорос (сульфат меди) | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | 92,0—98,0                                   |
|                               | Cu  | 23,4—24,9                                   |
| Порошок, содержащий медь      | $\text{CuSO}_4$                           | 14—16                                       |
|                               | Cu  | 5—6   |
| Пиритные (колчеданные) огарки | Cu  | 0,25  |
|                               | $\text{K}_2\text{O}$                      | 58,6 ± 0,6                                  |

**Марганец.** Наличие марганца в растительных организмах отмечено еще в 1872 г., однако длительное время он не считался нужным для питания растений. К. К. Гедройц установил, что марганец лучше действует на известковом фоне. Необходимость марганца для растений отмечал Ф. В. Чириков.

Особенно требовательны к достаточному содержанию доступных форм марганца в почве злаки, свекла, кормовые корнеплоды, картофель. С урожаем различных культур с 1 га выносятся 1000—4500 г марганца (табл. 79).

**79. Содержание в растениях марганца и его вынос с урожаем сельскохозяйственных культур на разных почвах (по Катыльмову)**

| Растение         | Дерново-подзолистая почва |                      | Мошным чернозем |                      |
|------------------|---------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
|                  | урожай, т/га              | содержание Mn, мг/кг | урожай, т/га    | содержание Mn, мг/кг |
| Сахарная свекла: |                           |                      |                 |                      |
| корни            | 54,2                      | 88                   | 28,0            | 50                   |
| листья           | 45,0                      | 725                  | 11,0            | 180                  |
| Картофель:       |                           |                      |                 |                      |
| клубни           | 27,0                      | 7                    | —               | —                    |
| ботва            | 50,0                      | 298                  | —               | —                    |

| Растение           | Дерново-подзолистая почва |                      | Мошный чернозем |                      |
|--------------------|---------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
|                    | урожай, т/га              | содержание Мп, мг/кг | урожай, т/га    | содержание Мп, мг/кг |
| Овес:              |                           |                      |                 |                      |
| зерно              | 2,2                       | 88                   | 2,0             | 56                   |
| солома             | 3,9                       | 134                  | 2,1             | 63                   |
| Вика яровая (сено) | 4,0                       | 115                  | 2,5             | 45                   |
| Ячмень:            |                           |                      |                 |                      |
| зерно              | 2,0                       | 40                   | 1,5             | 30                   |
| солома             | 2,9                       | 91                   | 2,0             | 37                   |

Марганец необходим всем растениям. Среднее содержание его в растениях 0,001 %, или 10 мг на 1 кг массы. Основное количество его сосредоточено в листьях и хлоропластах.

Марганец относится к металлам с высоким окислительно-восстановительным потенциалом и может легко участвовать в реакциях биологического окисления.

Выявлено прямое участие марганца в фотосинтезе. Показано восстановление скорости процесса через 20 мин после добавления марганца у дефицитных по марганцу растений. Установлено участие марганца в системе выделения кислорода при фотосинтезе и в восстановительных реакциях фотосинтеза. Марганец увеличивает содержание сахаров, хлорофилла, прочность его связи с белком, улучшает отток сахаров, усиливает интенсивность дыхания.

Для понимания физиологической роли марганца важно указать на вхождение его в гидроксиламинредуктазу, осуществляющую реакцию восстановления гидроксиламина до аммиака, и в ассимиляционный фермент, восстанавливающий диоксид углерода при фотосинтезе. Марганец играет большую роль в активировании многих реакций, в том числе в реакциях превращения ди- и трикарбоновых кислот, образующихся в процессе дыхания. Предполагают, что марганец входит в состав фермента, синтезирующего аскорбиновую кислоту. Кроме того, марганец входит в состав следующих ферментов: малатдегидрогеназы, изоцитратдегидрогеназы, гидроксиламинредуктазы, глутаминтрансферазы, ферредоксина. В настоящее время известно около 30 металлоферментных комплексов, активируемых марганцем.

Марганец играет важную роль в механизме действия индолилуксусной кислоты на рост клеток. Показана необходимость марганца как кофактора ауксиноксидазы для энзиматического разрушения индолилуксусной кислоты. Наряду с кальцием марганец способствует избирательному поглощению ионов из внешней среды. При исключении марганца из питательной среды в тканях растений повышается концентрация основных элементов минерального питания, нарушается соотношение элементов в питательном

балансе. Имеются данные о положительном влиянии марганца на передвижение фосфора из стареющих нижних листьев к верхним и к репродуктивным органам. Марганец повышает водоудерживающую способность тканей, снижает транспирацию, влияет на плодоношение растений.

При остром недостатке марганца отмечены случаи полного отсутствия плодоношения у редиса, капусты, томата, гороха и других культур. Марганец ускоряет развитие растений. При недостатке этого элемента наблюдаются хлорозы, серая пятнистость злаков, пятнистая желтуха сахарной свеклы.

Несмотря на значительное содержание марганца в почве (в желтоземах 1 % и выше, в дерново-подзолистых и черноземных почвах 0,1—0,2 %), большая часть этого элемента находится в ней в виде труднорастворимых оксидов и гидратов оксидов. В почве марганец находится в основном в двухвалентной форме и в силикатах и оксидах может замещать  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , что ведет к их выщелачиванию. В кислых почвах Mn образует с гидроксидами Fe железомарганцевые конкреции.

За счет высокого содержания Mn в почве количество этого элемента в почвенном растворе может достигать 2200 мкг/л, образуя комплексы с фульвокислотами. При близкой к нейтральной реакции почвенного раствора (рН от 6 до 8) растения могут испытывать недостаток марганца вследствие перехода его в труднорастворимые соединения. В практике для предотвращения быстрого связывания ионов металлов почвой и улучшения их усвоения растениями широкое распространение получили хелаты марганца и железа, применяемые вместе с поливной водой, а в ряде случаев и для некорневых подкормок. Хелаты микроэлементов широко используют; так, например, в Швеции применяют некорневые подкормки сахарной свеклы хелатом с содержанием 6 % марганца, в качестве лиганда используется ЭДТА. В опытах, проведенных в Великобритании, обработка этим препаратом повысила урожайность яровой пшеницы с 2,8 до 4,7 т/га.

Перспективно применение марганца при содержании его в почвах Нечерноземной зоны 25—55 мг, Черноземной — 40—60 и на сероземах 10—50 мг на 1 кг почвы.

Марганцевые удобрения в первую очередь следует вносить на серых лесных почвах, слабовыщелоченных черноземах, солонцеватых и каштановых почвах под овес, пшеницу, кормовые корнеплоды, картофель, сахарную свеклу, кукурузу, люцерну, подсолнечник, плодово-ягодные, цитрусовые и овощные культуры.

На черноземах прибавка урожайности сахарной свеклы от марганцевых удобрений составляет 1,0—1,5 т/га, а сахаристость корней возрастает на 0,2—0,6 %, урожайность зерновых культур, в том числе озимой пшеницы, увеличивается на 0,15—0,30 т/га (табл. 80).

**80. Действие марганца на урожай сельскохозяйственных культур**  
(по П. А. Власюку), т/га

| Культура                | Урожай без применения Мп | Прибавка урожая от Мп |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Сахарная свекла (корни) | 31,0                     | 2,37                  |
| Озимая пшеница (зерно)  | 3,34                     | 0,21                  |
| Яровая пшеница (зерно)  | 1,75                     | 0,22                  |
| Кукуруза (зерно)        | 5,78                     | 1,18                  |

В качестве марганцевых удобрений используют в основном отходы предприятий марганцево-рудной промышленности. Отходы содержат чаще всего 10—18 % марганца. Дорогостоящий сернокислый марганец в основном используют для нужд тепличного овощеводства. Учитывая, что марганец наиболее эффективен на фоне фосфорных удобрений, целесообразно производить марганцированный суперфосфат (табл. 81).

**81. Ассортимент марганцевых удобрений**

| Удобрение                    | Действующее вещество | Содержание д. в. в водорастворимой форме, % |
|------------------------------|----------------------|---|
| Марганцированный суперфосфат | $P_2O_5$<br>Мп       | $20 \pm 1$<br>1—2                           |
| Сернокислый марганец         | $MnSO_4$             | 70  |

При внесении в почву доза марганца в расчете на элемент составляет 2,5 кг/га. Около 30 % марганцевых удобрений необходимо сельскому хозяйству в виде сернокислого марганца для некорневых подкормок и предпосевной обработки семян. Один из способов применения марганца — опудривание семян: 50—100 г сернокислого марганца смешивают с 300—400 г талька и этой смесью обрабатывают 100 кг семян сахарной свеклы, пшеницы, ячменя, кукурузы, гороха, подсолнечника. Для некорневых подкормок полевых культур расходуют на 1 га 200 г сернокислого марганца, для опрыскивания плодовых и ягодных культур — 600—1000 г/га.

**Молибден.** Наибольшее количество молибдена в растениях отмечено у бобовых. В семенах бобовых трав может содержаться от 0,5 до 20,0 мг Мо на 1 кг сухой массы, а в злаках — от 0,2 до 1,0 мг на 1 кг сухой массы. Содержание молибдена в растениях может колебаться в пределах 0,1—300 мг на 1 кг сухой массы; повышенное содержание бывает при несбалансированном питании.

Молибден необходим растениям в меньших количествах, чем бор, марганец, цинк и медь. Он локализуется в молодых растущих органах. Листья содержат его больше, чем стебли и корни. Много молибдена в хлоропластах.

Нижним пределом содержания молибдена для большинства

растений считается 0,10 мг на 1 кг сухой массы и для бобовых — 0,40 мг на 1 кг. Ниже этих величин возможна недостаточность молибдена. Со средним урожаем пшеницы с 1 га выносятся до 6 г этого элемента, а с урожаем клевера — до 10 г.

В растениях молибден входит в состав фермента нитратредуктазы и является необходимым компонентом цепи редукции нитратов, участвуя в восстановлении нитратов до нитритов. Молибден можно назвать микроэлементом азотного обмена растений, так как он входит также и в состав нитрогеназы — фермента, осуществляющего в процессе биологической фиксации азота связывание азота атмосферы. Участие молибдена в фиксации молекулярного азота атмосферы объясняет его особое значение для роста и развития бобовых культур.

При недостатке молибдена в питательной среде в растениях нарушается азотный обмен, в тканях накапливается большое количество нитратов. В организме животных и человека при избыточном потреблении нитратов происходит образование канцерогенных соединений — нитрозаминов. По нашим данным, молибден участвует в азотном обмене не только путем вхождения в нитратредуктазу и нитрогеназу. Под влиянием молибдена в клубеньках бобовых культур усиливается активность дегидрогеназ — ферментов, обеспечивающих непрерывный приток водорода, который необходим для связывания азота атмосферы.

Молибден участвует в ряде физиологических процессов у растений — биосинтезе нуклеиновых кислот, фотосинтезе, дыхании, синтезе пигментов, витаминов и т. д. По-видимому, речь идет о его косвенном, хотя и достаточно сильном, влиянии через метаболическую систему на эти процессы.

Специфическая роль молибдена в процессе азотфиксации обуславливает улучшение азотного питания бобовых культур при внесении молибденовых удобрений и повышает эффективность применяемых под них фосфорно-калийных удобрений. При этом наряду с ростом урожая повышается содержание белка. Внесение молибдена под небобовые культуры благодаря усилению ассимиляции нитратного азота приводит к повышению размеров использования и продуктивности усвоения азота удобрений (не только нитратных, но и аммиачных и амидных вследствие их быстрой нитрификации) и почвы, к снижению непроизводительных потерь азота вследствие денитрификации и вымывания нитратов. Это убедительно показано в исследованиях с  $^{15}\text{N}$  на овощных культурах, а также в опытах с хлопчатником.

Чувствительны к недостатку доступных форм молибдена, часто наблюдаемому на кислых почвах, люцерна, клевер, горох, бобы, вика, капуста, салат, шпинат и другие растения. Внешние признаки умеренного дефицита молибдена у бобовых растений сходны с

симптомами азотного голодания. При более резком дефиците молибдена резко тормозится рост растений, не развиваются клубеньки на корнях, растения приобретают бледно-зеленую окраску, листовые пластинки деформируются и листья преждевременно отмирают.

Высокие дозы молибдена весьма токсичны для растений. Значительное содержание молибдена — 1 мг на 1 кг сухой массы — в сельскохозяйственной продукции вредно для здоровья животных и человека. В случаях, когда содержание молибдена в растениях достигает 20 мг и более на 1 кг сухой массы, у животных при употреблении свежих растений наблюдаются молибденовые токсикозы, а у человека — эндемическая подагра. Токсичное действие молибдена ослабляется при высушивании или промораживании растений, так как при этом снижается количество растворимых форм Мо, а также при добавлении меди в пищу животных и человека.

На внесение молибденовых удобрений отзывчивы люцерна, клевер, соя, кормовые бобы, вика, цветная капуста, корнеплоды, рапс, кормовая капуста, овощные культуры.

Содержание валового молибдена в почве колеблется от 0,20 до 2,40 мг, а подвижных форм — от 0,10 до 0,27 мг на 1 кг почвы. Обычно в пахотном горизонте почв количество подвижных форм молибдена от валового содержания составляет 8—17 %. Наиболее бедны молибденом почвы легкого гранулометрического состава с низким содержанием гумуса. Наименьшее содержание подвижного молибдена отмечено в дерново-подзолистых, песчаных почвах (0,05 мг/кг). Более высокое содержание валовых и подвижных форм молибдена в черноземных почвах указывает на его биологическую аккумуляцию.

Обычно молибден содержится в почве в окисленной форме в виде молибдатов кальция и других металлов. В кислых почвах ( $\text{pH} < 5,5$ ) молибден образует плохо растворимые соединения с алюминием, железом, марганцем, а в щелочных — хорошо растворимое соединение молибдата натрия.

Количество водорастворимых форм молибдена увеличивается при снижении кислотности почвенного раствора. Поглощение молибдена растениями при известковании повышается, но при  $\text{pH} 7,5\text{—}8,0$  начинает снижаться вследствие увеличения количества карбонатов в почве.

Молибденовая недостаточность может проявляться на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, осушенных кислых торфяниках и черноземных почвах.

Положительное влияние молибдена на величину и качество урожая овощных культур обусловлено не только лучшим усвоением растениями азота удобрений, но и улучшением использования азота из почвы (табл. 82).

## 82. Влияние молибдена на использование салатом азота почвы и удобрения на дерново-подзолистой почве (по Муравину)

| Вариант опыта | Использование за два повторных посева в год (среднее за два года) |          |             |              |                 |
|---------------|---|----------|-------------|--------------|-----------------|
|               | всего,<br>мг/сосуд  | из почвы |             | из удобрения |                 |
|               |   | мг/сосуд | % к фону РК | мг/сосуд     | % от внесенного |
| РК            | 514   | 514      | 100         | —            | —               |
| РК + Мо       | 612   | 612      | 119         | —            | —               |
| НРК           | 992   | 712      | 134         | 280          | 39              |
| НРК + Мо      | 1158  | 821      | 158         | 337          | 47              |

Улучшение азотного питания растений под влиянием молибдена, в свою очередь, способствует большему использованию культурами других элементов минерального питания, в том числе фосфора и калия, из почвы и удобрений. Применение молибдена на почвах с недостаточным его содержанием обеспечивает наряду с ростом урожая более полное включение поступившего в растения азота в состав белка. Кроме того, оно ограничивает опасность накопления в продукции, особенно в овощах и пастбищном корме, нитратов в количествах, токсичных для человека и животных, при использовании высоких доз азотных удобрений и на органо-генных почвах с интенсивной минерализацией азота. Все это обуславливает целесообразность совместного применения молибдена с азотными односторонними и комплексными удобрениями под бобовые культуры, требовательные к молибдену, а также под бобовые совместно с фосфорно-калийными удобрениями на почвах с относительным недостатком этого элемента.

По данным полевых опытов, средняя прибавка урожая гороха от применения молибдена на дерново-подзолистых, серых лесных почвах и выщелоченных черноземах составляет 0,26 т/га, сена и семян клевера на дерново-подзолистых почвах — соответственно 1,30 и 0,08 т/га (табл. 83).

## 83. Средние прибавки урожая бобовых культур от применения молибдена (данные ВИУА), т/га

| Культура              | Дерново-подзолистые почвы |                | Серые лесные почвы |                |
|-----------------------|---------------------------|----------------|--------------------|----------------|
|                       | число опытов              | прибавка от Мо | число опытов       | прибавка от Мо |
| Горох (зерно)         | 34                        | 0,29           | 22                 | 0,36           |
| Вика:                 |                           |                |                    |                |
| зерно                 | 10                        | 0,51           | 14                 | 0,49           |
| зеленая масса         | 2                         | 3,40           | 9                  | 5,16           |
| Соя (зерно)           | 13                        | 0,27           | 1                  | 0,19           |
| Кормовые бобы (зерно) | 22                        | 0,49           | 5                  | 0,32           |
| Клевер:               |                           |                |                    |                |
| сено                  | 58                        | 1,30           | —                  | —              |
| семена                | 18                        | 0,08           | —                  | —              |
| Люцерна (семена)      | 15                        | 0,93           | 9                  | 1,82           |



Эффективно применение молибдена под бобовые культуры на кислых почвах. Вследствие усиления симбиотической азотфиксации бобовыми под действием молибдена улучшается снабжение растений азотом, повышаются урожай и содержание в нем белка. Высокая эффективность молибденовых удобрений при достаточном уровне обеспеченности другими элементами питания достигается при содержании молибдена в почвах Нечерноземной зоны менее 0,15 мг, в Черноземной — менее 0,15—0,30 мг на 1 кг. Применение молибденовых удобрений на бобово-злаковых сенокосах и пастбищах повышает количество бобовых растений в травостое, содержание белка в корме и общую продуктивность угодий (табл. 84).

**84. Действие и последствие молибдена на урожайность и ботанический состав травостоя (по Шарову)**

| Вариант опыта                              | Урожайность сена, т/га |             | Ботанический состав травостоя, % |       |             |
|--|------------------------|-------------|----------------------------------|-------|-------------|
|  | действие               | последствие | бобовые                          | злаки | разнотравье |
| Без молибдена                              | 2,46                   | 2,51        | 27                               | 46    | 27          |
| Некорневая подкормка молибденом (150 г/га) | 3,20                   | 3,49        | 43                               | 35    | 22          |

Ассортимент молибденовых удобрений достаточно широк (табл. 85). Однако промышленность в основном в качестве молибденовых удобрений поставляет молибденовокислый аммоний. В ряде регионов в качестве молибденовых удобрений используют отходы электроламповой промышленности.

**85. Ассортимент молибденовых удобрений**

| Удобрение  | Действующее вещество                | Содержание д. в. в водорастворимой форме, % |
|--|-------------------------------------|---|
| Молибдат аммония                                 | Mo                                  | 52  |
| Отходы электроламповой промышленности            | Mo                                  | 5—8   |
| Суперфосфат простой гранулированный с молибденом | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Mo | 20<br>0,1                                   |
| Суперфосфат двойной гранулированный с молибденом | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Mo | 43<br>0,2                                   |

Из способов применения молибденовых удобрений наиболее эффективна и экономически выгодна предпосевная обработка семян. Для обработки 100 кг крупных семян расход молибдата аммония или молибдата аммония-натрия составляет 25—50 г, а на 100 кг семян клевера или люцерны — 500—800 г (табл. 86).

### 86. Применение молибденовых микроудобрений под различные культуры

| Удобрение                           | Культура   | Доза                                     | Способ применения   |
|-------------------------------------|--|--|---|
| Молибденовый суперфосфат (0,2 % Mo) | Зерновые бобовые   | 50 кг на 1 га в рядки при посеве         | Внесение в почву  |
| Молибденовокислый аммоний (50 % Mo) | Горох, вика, соя и другие крупносемянные   | 25—50 г в 1,5—2,0 л воды на 100 кг семян | Предпосевная обработка семян                                |
|                                     | Клевер, люцерна  | 500—800 г в 3 л воды на 100 кг семян     | То же   |
|                                     | Горох, кормовые бобы, клевер, люцерна и другие бобовые, выращиваемые на зерно; овощные, плодовые-ягодные | 200 г в 100 л воды (авиаобработка)       | Некорневая подкормка в период бутонизации — начало цветения |
|                                     | Долголетние культурные пастбища  | 200—600 г в 100 л воды (авиаобработка)   | То же   |

Некорневые подкормки проводят из расчета 200 г молибденовокислого аммония на 1 га посева, для долголетних культурных пастбищ — 200—600 г на 1 га посева.

Перспективной формой удобрений является молибденизированный суперфосфат, предназначенный для внесения в рядки в дозе 50 кг/га (или 50—100 г/га молибдена).

**Цинк.** Вынос цинка с урожаем полевых культур составляет от 75 до 2250 г/га. Повышенной чувствительностью к недостаточности цинка характеризуются гречиха, хмель, свекла, картофель, клевер луговой. Сорные растения содержат больше цинка, чем культурные. Повышенным содержанием цинка отличаются хвойные растения; наиболее высокое содержание цинка у ядовитых грибов. Потребность в цинке у полевых культур ниже, чем у плодовых.

За счет некоторой стабилизации дыхания при резкой смене температур цинк повышает жаро- и морозоустойчивость растений. Имеются данные о влиянии цинка на утилизацию фосфора растениями. При недостатке цинка обнаруживается высокая концентрация неорганического фосфора в растениях. У гороха и томата при недостатке цинка увеличивается поступление фосфора в растения, однако утилизация его нарушается. При этом в несколько раз возрастает содержание неорганического фосфора и снижается содержание фосфора в составе нуклеотидов, в том числе и нуклеотидов с макроэргическими связями, а также липидов и нуклеиновых кислот. После добавления цинка в питательный раствор использование поглощенного фосфора растениями нормализуется.

Имеются данные об изменении под действием цинка накопле-

ния фосфора корнями и замедлении транспорта фосфора в надземные органы растения, о связывании цинка в почве соединениями фосфора. Недостаток цинка замедляет превращение неорганических фосфатов в органические формы.

Большой интерес представляет роль цинка в биосинтезе предшественников хлорофилла и в фотосинтезе. В этиолированных и зеленых листьях кукурузы обнаружен цинкпротопорфирин, который может быть предшественником железопорфиринов, а возможно, и магний-порфирина. Непосредственно в реакциях фотосинтеза, как это установлено для  $Mn$ ,  $Cu$ ,  $Fe$ , участие цинка не отмечено, но он участвует в образовании предшественников хлорофилла.

Определенную роль в фотосинтезе может выполнять цинксодержащий фермент карбоангидраза. Роль карбоангидразы в зеленых растениях заключается в улавливании диоксида углерода, который может выделяться в атмосферу в процессе фотодыхания. Возможно, карбоангидраза необходима для проникновения угольной кислоты через оболочку хлоропласта путем связывания  $CO_2$  или  $HCO_3^-$  в зависимости от ее формы.

В настоящее время известно более 200 ферментов, активируемых цинком. Дыхательный фермент карбоангидраза содержит 0,31—0,34 % цинка. Цинк входит в состав щелочной фосфатазы, малатдегидрогеназы, алкогольдегидрогеназы, глутаматдегидрогеназы и т. д.

Цинксодержащая карбоангидраза обнаружена у овса, петрушки, гороха, в хлоропластах томата. Цинк является компонентом многих, если не всех, дегидрогеназ, требующих присутствия НАД. Вхождение цинка в состав ферментов гликолиза и дыхания, многих НАД и некоторых ФАД-зависимых ферментов дает возможность понять его роль в гликолитическом и дыхательном циклах.

При недостатке цинка в растениях накапливаются редуцирующие сахара и уменьшается содержание сахарозы и крахмала, увеличивается накопление органических кислот, снижается содержание ауксина, нарушается синтез белка. При цинковом голодании происходит накопление небелковых растворимых соединений азота: амидов и аминокислот.

При цинковой недостаточности резко (в 2—3 раза) подавляется деление клеток, что приводит к морфологическим изменениям листьев, нарушению растяжения клеток и дифференциации тканей, гипертрофированию меристематических клеток, угнетению продольного растяжения столбчатых клеток у льна и уменьшению размеров его хлоропластов. В присутствии цинка формируется большое число митохондрий.

К недостатку цинка весьма чувствительны плодовые, особенно цитрусовые, культуры. У яблони, абрикоса, персика, айвы, вишни наблюдаются мелколистность и розеточность, у цитрусовых — пятнистость листьев. У кукурузы при недостатке цинка отмечает-

ся побеление, или хлороз, верхних листьев, у томата — мелколистность и скручивание листовых пластинок и черешков. Для всех растений при недостатке цинка характерна задержка роста.

Недостаток цинка может проявляться как на кислых сильно-оподзоленных легких почвах, так и на карбонатных, бедных цинком, и на высокогумусированных почвах. Усиливают проявление цинковой недостаточности применение высоких доз фосфорных удобрений и сильное припахивание подпочвы к пахотному горизонту.

Наиболее высокое валовое содержание цинка в тундровых (53—76 мг/кг) и черноземных (24—90 мг/кг) почвах, наиболее низкое — в дерново-подзолистых почвах (20—67 мг/кг). Недостаток цинка чаще всего проявляется на нейтральных и слабощелочных карбонатных почвах. В кислых почвах цинк более подвижен и доступен растениям.

Цинк в почве присутствует в ионной форме, где адсорбируется по катионообменному механизму в кислой или в результате хемосорбции в щелочной среде. Наиболее подвижен ион  $Zn^{2+}$ . На подвижность цинка в почве в основном влияют величина pH и содержание глинистых минералов. При  $pH < 6$  подвижность  $Zn^{2+}$  возрастает, что приводит к его выщелачиванию. Попадая в межпакетные пространства кристаллической решетки монтмориллонита, ионы цинка теряют свою подвижность. Кроме того, цинк образует устойчивые формы с органическим веществом почвы, поэтому он накапливается в основном в горизонтах почв с высоким содержанием гумуса и в торфе.

Цинковые удобрения следует применять, когда содержание цинка в подвижной форме в почвах Нечерноземной зоны менее 0,2—1,0 мг, в Черноземной зоне менее 0,3—2,0 мг/кг почвы.

В качестве цинковых удобрений применяют некоторые отходы промышленности, серноокислый цинк (содержит 22 % цинка) и полимикродобрения (ПМУ-7) — отходы, получаемые на заводах при производстве цинковых белил. Они содержат 19,6 % оксида цинка, 17,4 % силикатного цинка, 21,1 % оксида алюминия, а также небольшое количество алюминия, меди и марганца.

Под кукурузу вносят ПМУ-7 (20 кг/га) в почву при посеве в рядки. При некорневых подкормках используют серноокислый цинк (150—200 г на 1 га посевов). Подкормку проводят для большинства культур в период бутонизации или начала цветения растений; плодовые деревья опрыскивают весной по распустившимся листьям (200—500 г серноокислого цинка на 100 л воды с добавлением 0,2—0,5 % гашеной извести для нейтрализации кислотности раствора соли, чтобы избежать ожога листьев). Для опрыскивания 100 кг семян 50—100 г серноокислого цинка растворяют в 4 л воды. Для опудривания семян кукурузы на 100 кг семян расходуют 100 г полимикродобрения (ПМУ-7).

Применение цинка имеет важное значение на карбонатных

черноземах, каштановых, бурых почвах, сероземах. Эффективность цинковых удобрений проявляется на сахарной свекле, кукурузе и особенно на плодовых культурах.

**Кобальт.** Среднее содержание кобальта в растениях составляет 0,00002 %. Количество его может колебаться от 0,021 до 11,6 мг на 1 кг сухой массы растений.

Значительное количество кобальта содержится в бобовых культурах, где он сосредоточен в клубеньках. Кобальт концентрируется также в генеративных органах, накапливается в пыльце и ускоряет ее прорастание. В растениях около 50 % кобальта находится в ионной форме, около 20 % — в форме кобамидных соединений и в составе витамина  $B_{12}$ . Витамин  $B_{12}$  синтезируется микроорганизмами и поступает в растения из почвы или у азотфиксирующих растений образуется в клубеньках. В растениях он обнаружен у бобовых, репы, гороха, лука. Около 30 % составляют неидентифицированные высокостабильные органические соединения.

Выделена активированная, или коферментная, форма витамина  $B_{12}$  — 5,6-диметилбензимидазолкобамидный коэнзим. Данный кофермент в сочетании со специфическим белком образует метилмалонилизомеразу, которая катализирует переход пропионата в сукцинат.

Кобальт-метилкорриноид может служить донором метильных групп для метилирования т-РНК. Найдена  $B_{12}$  — коэнзимзависимая рибонуклеотид-редуктаза. Кобамидные коэнзимы участвуют в синтезе ДНК и в клеточном делении. Реакция метилирования имеет значение во многих процессах, в частности в повышении устойчивости растений к некоторым болезням. Например, возбудитель фузариозного вилта вырабатывает токсин — фузариевую кислоту. В результате метилирования образуется нетоксичное метиламидное производное.

Кобальт относится к металлам с переменной валентностью, что определяет высокое значение окислительно-восстановительного потенциала для системы  $Co^{3+} — Co^{2+}$  в кислой среде и позволяет иону кобальта принимать активное участие в реакциях окисления-восстановления. Однако вхождения кобальта в состав активных групп ферментов дыхательной цепи или фотосинтеза не обнаружено.

В ряде работ установлена связь кобальта с ауксиновым обменом и отмечается, что он способствует растяжению клеточных оболочек.

Кобальт необходим для бобовых культур в отсутствие связанного азота. Потребность в кобальте составляет 1/330 от потребности в молибдене, а уровень потребности в кобальте для азотфиксации составляет лишь 1/10 от потребности для обеспечения роста клубеньков. Кобальт изменяет ультраструктуру азотфиксирующего аппарата, бактериоиды активнее функционируют. Капсулы вокруг бактериоидов раньше формируются и дольше сохраняются. Ко-

бальт положительно действует на размножение клубеньковых бактерий.

Одной из сторон действия кобальта на азотфиксацию является его участие в биосинтезе леггемоглобина. Опыты показали повышение под действием кобальта активности дегидрогеназ, гидрогеназы, нитратредуктазы, увеличение содержания хлорофилла, общего гематина и генетически связанного с хлорофиллом витамина Е.

Таким образом, кобальт действует и на азотфиксирующую систему, и на другие физиологические процессы.

В природных условиях, тесно связанных с геохимическими циклами Fe и Mn, кобальт встречается в ионных формах  $\text{Co}^{2+}$  и  $\text{Co}^{3+}$ , возможно образование комплексного аниона  $\text{Co}(\text{OH})_3^-$ . В кислой среде кобальт относительно подвижен, но не мигрирует в растворах из-за активной сорбции оксидами Fe, Mn и глинистыми минералами. Кроме того, при низких значениях pH происходит взаимообмен  $\text{Co}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ , в результате чего образуется  $\text{Co}(\text{OH})_2$ , который осаждается на поверхности оксидов. С увеличением pH сорбция оксидами марганца резко усиливается.

В почвенных растворах концентрация кобальта изменяется от 0,3 до 87,0 мкг/л. На распределение кобальта по профилю почвы влияют органическое вещество почвы и содержание глинистых частиц. Монтмориллонит и иллитовые глины хорошо сорбируют этот элемент. Органические хелаты кобальта легкоподвижны, хорошо мигрируют в почве и легкодоступны растениям.

Кобальт необходим и пшенице. Имеются многочисленные данные о положительном действии данного элемента на урожай многих растений, которое в первую очередь проявляется на почвах, хорошо обеспеченных всеми остальными элементами минерального питания, с реакцией, близкой к нейтральной. Перспективно применение кобальтсодержащих удобрений на черноземах, окультуренных дерново-подзолистых почвах. Эффективно действие таких удобрений на черноземных почвах под зерновые бобовые и виноград. Очень важно применение кобальта для повышения диетической ценности продукции в результате увеличения его содержания в растениях.

При содержании кобальта в кормах менее 0,07 мг на 1 кг сухого сена животные заболевают акальтозом. Поэтому необходимо обязательно применять кобальтсодержащие удобрения на лугах и пастбищах в районах кобальтовой недостаточности.

Применение кобальтсодержащих удобрений улучшает качество урожая не только вследствие большего накопления растениями данного элемента. Например, в опытах на дерново-подзолистых почвах под действием кобальта урожай корней сахарной свеклы, по данным 44 опытов, повышался в среднем на 3,5 т, а сахаристость — на 0,8 %, в результате чего сбор сахара увеличился на 1 т/га.

Прибавка урожая люпина на дерново-подзолистых почвах при применении кобальтовых удобрений составила 0,12 т/га семян и 6,5 т/га зеленой массы (при урожае на контроле 32,5 т/га).

Кобальтсодержащие удобрения эффективны при количестве этого элемента в почвах в Нечерноземной зоне 1,0—1,1 мг, в Черноземной зоне 0,6—2,0 мг/кг почвы. Однако для выращивания полноценных кормов для скота и пищевых продуктов необходимо применять кобальтовые удобрения при содержании кобальта 2,0—2,5 мг/кг почвы. В почву кобальт можно вносить в количестве 200—400 г/га в расчете на элемент. Для некорневых подкормок и предпосевной обработки семян применяют 0,01—0,10%-ные растворы сернокислого кобальта.

**Селен.** Пока еще он не относится к необходимым для растений микроэлементам, но он жизненно необходим для теплокровных животных. При его дефиците установлено возникновение как специфических микроэлементозов, так и заболеваний другой этиологии. К заболеваниям человека, вызванным недостатком селена, в первую очередь относят кардиомиопатию — болезнь Кешана, онкологические заболевания, а к заболеваниям сельскохозяйственных животных — беломышечную дистрофию. Недостаток селена в пище и питьевой воде является патогенным фактором при некротической дегенерации печени, поражении поджелудочной железы и кишечника, экссудативном диатезе. Селен способен противостоять химическому мутагенезу, инициируемому токсичными дозами тяжелых металлов. При дефиците селена происходит снижение иммунитета и умственного развития у детей. В последние годы установлено влияние селена на обмен йода, активность щитовидной железы.

Суточная потребность человека в селене составляет 40—220 мкг, причем варьирование этой величины зависит от фенотипических особенностей организма, формы поступающего селена, содержания в пище белков, витаминов С и Е и в меньшей степени от возраста и пола.

Наиболее перспективный путь коррекции селенодефицита — получение продукции растениеводства, обогащенной селеном. При этом важным фактором являются неодинаковые возможности различных растений накапливать селен. Кроме того, следует учитывать, что селен распределяется по органам растений неравномерно. Например, стебли и листья пшеницы содержат примерно в 2—3 раза меньше селена по сравнению с зерном и корнями. В целом же концентрация селена в растениях часто варьирует так же широко, как и в почвах, — от 10 до 1100 мкг в 1 кг воздушно-сухой массы.

Во многих странах Европы и Азии проведено крупномасштабное картирование содержания селена в почвах, водах, растениях и предпринимаются меры по регулированию содержания селена в пищевых продуктах человека и рационах животных. В России

были выявлены обширные биогеохимические территории с различным уровнем недостатка селена в Нечерноземной зоне, на Южном Урале и в Забайкалье. Биогеохимическая провинция с избытком селена обнаружена в Уюгской и Барыкской долинах Тувы.

Агроэкологическое обследование ряда областей Нечерноземной зоны европейской части России на содержание селена позволило заключить, что концентрации его были невысокими — 61—729 мкг/кг. Наименьшее количество селена (до 169 мкг/кг) характерно для подзолистых и дерново-подзолистых почв, а также почв на песчаных почвообразующих породах. Максимальные концентрации селена (от 521 до 727 мкг/кг) обнаружены в торфянистых, оглеенных, обогащенных оксидами железа и образованных на карбонатных породах почвах. В большинстве случаев исследованные почвы содержат не более 400 мкг Se/кг почвы, и их следует отнести к дефицитным по содержанию этого элемента.

Анализ содержания селена в растениях различных семейств показал, что среднее содержание его в большинстве видов не превышало 100 мкг/кг (табл. 87).

**87. Содержание селена в растениях Нечерноземной зоны, мкг/кг сухой массы**

| Семейство    | Число видов | Амплитуда | Средневзвешенное значение |
|--------------|-------------|-----------|---------------------------|
| Мятликовые   | 14          | 12—409    | 102                       |
| Бобовые      | 16          | 8—356     | 116                       |
| Сельдерейные | 8           | 10—116    | 62                        |
| Капустные    | 6           | 10—121    | 68                        |
| Астровые     | 46          | 1—348     | 91                        |

Максимальные концентрации селена наблюдаются в растениях семейств бобовые, мятликовые и астровые, наименьшие — семейства сельдерейные.

В странах, где распространены болезни Кешана и Кашина—Бека (Китай), проводят обогащение селеном продуктов питания, например муки. Другим приемом обогащения является завоз в дефицитный по селену регион продуктов, производимых на почвах с высоким уровнем содержания селена. В Скандинавии, почвы которой, особенно на севере, содержат мало селена, в последние 20 лет используют удобрение селеном как зерновых культур, так и кормовых трав.

В почве существуют сложные взаимоотношения селена с другими элементами минерального питания растений. Установлено, например, что внесение Co, Zn, Ni усиливает микробиологическое образование летучих соединений Se, в то время как удобрение В и Mn не влияет на эти процессы, а поступление Mo, Hg, Cг и Pb ингибирует трансформацию соединений Se в летучие формы.

На протяжении нескольких лет в лаборатории микроэлементов МСХА ведут исследования по созданию сельскохозяйственной



продукции, обогащенной селеном. В серии опытов изучено влияние внесенного в почву биселенита натрия на урожай, его качество и содержание Se в растениях овощных культур, пшеницы, рапса и люпина (табл. 88).

**88. Содержание селена в некоторых сельскохозяйственных культурах при удобрении их биселенитом натрия**

| Доза Se, мкг/кг почвы | Укроп, надземная часть  |                         | Редис, корнеплоды       |                         | Доза Se, мкг/кг почвы | Петрушка (тяжелосуглинистая почва) |       | Доза Se, мкг/кг почвы | Салат, листья           | Чеснок |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------------|-------|-----------------------|-------------------------|--------|
|                       | легко-суглинистая почва | тяжелосуглинистая почва | легко-суглинистая почва | тяжелосуглинистая почва |                       | надземная часть                    | корни |                       | тяжелосуглинистая почва |        |
| 0                     | 61                      | 113                     | 187                     | 56                      | 0                     | 193                                | 67    | 0                     | 72                      | 303    |
| 25                    | 271                     | 314                     | 197                     | 225                     | 50                    | 467                                | 233   | 125                   | 170                     | —      |
|                       | 444                     | 278                     | 105                     | 402                     |                       | 242                                | 348   |                       | 236                     |        |
| 125                   | 389                     | 298                     | 291                     | 262                     | 250                   | 733                                | 623   | 250                   | 432                     | 1421   |
|                       | 638                     | 264                     | 156                     | 468                     |                       | 380                                | 930   |                       | 600                     | 469    |
| 250                   | 955                     | 289                     | 561                     | 206                     | 500                   | 733                                | 667   | 1000                  | 735                     | 5135   |
|                       | 1566                    | 256                     | 300                     | 368                     |                       | 380                                | 996   |                       | 1021                    | 1695   |
| r                     | 0,97                    | 0,50                    | 0,98                    | 0,49                    | r                     | 0,84                               | 0,91  | r                     | 0,95                    | 1,00   |

*Примечание* Над чертой — мкг/кг сухой массы, под чертой — % от контроля.

Изучаемые в опытах овощные культуры без внесения селена накапливали его в сравнительно небольших количествах — 56—303 мкг/кг сухой массы. Внесение биселенита натрия в возрастающих количествах (с 25 до 500 мкг Se/кг почвы) приводило к увеличению содержания селена в растениях укропа в 2,5—15,7 раза, редиса (корнеплоды) — в 4 раза, петрушки — в 2,4—3,8 (в корнях) и в 3,5—10,0 (в надземной части) раз. С увеличением дозы биселенита натрия с 50 до 1000 мкг Se/кг почвы содержание селена в листовом салате выросло в 10 раз, в яровом чесноке — в 3,7—16,0 раз, в люпине желтом — в 3—11 (зеленая масса) и 6—25 (зерно) раз. Некорневая подкормка люпина желтого 0,0005%- и 0,002%-ным раствором биселенита натрия в полевых опытах повышала содержание Se в зеленой массе в 4—9, в зерне в 4—8 раз.

Таким образом, в условиях опытов на дерново-подзолистых почвах применение селена в дозах 25—1000 мкг/кг почвы позволяет без снижения урожая значительно обогатить сельскохозяйственные культуры селеном. Из испытываемых культур наиболее выраженным концентратором селена оказался чеснок.

Для обогащения продукции растениеводства селеном в мировой практике используют внесение селенсодержащих материалов (селенаты и селениты) в почву, некорневые подкормки и обработ-

ку семян. Наиболее эффективный и часто используемый метод — внесение селена в почву совместно с макроудобрениями.

**Литий.** Он является биологически важным элементом в жизнедеятельности растений и может действовать как активатор и как ингибитор различных процессов. Литий оказывает влияние на содержание и гетерогенный состав белков и нуклеиновых кислот, ферментативную активность различных энзимов, связанных с белково-нуклеиновым обменом.

Имеются сведения о положительной роли лития в углеводном обмене растений. Он повышает интенсивность фотосинтеза в репродуктивный период, скорость фотодыхания и зерновую продуктивность озимой пшеницы. Отмечена специфическая роль лития в обмене алкалоидов. Установлено положительное влияние лития на накопление в растениях аскорбиновой кислоты. Кроме того, замечено его положительное действие в борьбе с вирусными инфекциями.

Необходимость лития для организма человека и животных доказана. Эффективность лития при различных заболеваниях зависит от его влияния на нейрорефлекторную деятельность, а также от его адренолитического, норадренолитического, антигистаминного, антисеротонинового действия и регулирующего влияния на гормональную деятельность эндокринных желез, особенно коркового слоя надпочечников. При гипертонии различного происхождения литий оказывает антистрессовое и седативное действие. Положительное влияние лития при некоторых патологических процессах во многом определяется его стимулирующим действием на иммунную систему и на неспецифические защитные реакции организма.

При избытке в организме человека лития он может оказывать и токсичное действие. При этом симптомы отравления указывают на нейротоксичное действие лития. Повышенное содержание лития в кормах приводит к декальцинации костной ткани и морфогенным изменениям у животных. Перспективна коррекция поступления этого элемента в организм человека и животных с помощью сельскохозяйственных растений, обогащенных литием.

В настоящее время не существует единого мнения о необходимости лития для сельскохозяйственных растений: реакция их зависит от условий обитания, возраста и систематического положения. Отмечено благоприятное действие лития на ряд культур: табак, хлопчатник, сахарную свеклу, томат, сладкий перец, картофель. С другой стороны, применяя Li как микроудобрение, следует учитывать возможную его токсичность. Избыток солей лития вызывает морфологические изменения у растений — нарушение митоза. Очень чувствительны к литию кипарисовые, крестоцветные, жимолостные, лилейные, ирисовые, злаковые.

Поступление лития в растения зависит прежде всего от содер-

жания его подвижных форм в почве. Содержание Li в почвах увеличивается с севера на юг — от 10—25 мг/кг (дерново-подзолистые почвы) до 65—90 мг/кг (обыкновенные черноземы). Количество элемента зависит от содержания Li в почвообразующих породах, а также от гранулометрического состава почвы (в тяжелых почвах Li больше), от количества гумуса в ней и степени выщелоченности. По профилю почвы концентрация обменного Li снижается, а в горизонтах с максимальным накоплением карбонатов кальция он наименее подвижен. Засоление почвы также снижает подвижность лития. Кроме того, существует взаимосвязь между содержанием лития и калия в почве.

Содержание лития в растениях значительно варьирует в зависимости от систематической принадлежности и условий питания. Среди растений выделяются концентрирующие литий в любых условиях и предпочитающие его повышенное содержание в почвах — пасленовые, фиалковые, лютиковые. Содержание в них лития около 60 мг/кг сухого вещества. Мальвовые и маревые накапливают Li только при высоком содержании его в почве. Индифферентные к литию растения (мята длиннолистная, верблюжья колючка) содержат его 20—45 мг/кг сухого вещества. Бобовые потребляют литий в небольших количествах (4,8—7,9 мг/кг сухого вещества), но не избегают обогащенных им мест. Злаковые и губоцветные, наоборот, потребляют литий в незначительных количествах и избегают мест с высоким содержанием его в почве. Существенное влияние на накопление лития в растениях оказывают почвенно-климатические условия. Распределение лития по органам растений имеет следующую закономерность: листья > корни > стебли > плоды. В связи с этим источником Li в пище могут служить листовые овощи и корнеплоды.

Взаимодействие лития при поступлении в растения с другими элементами может быть очень разнообразным, что оказывает влияние на элементный состав растения в целом. Применение лития в качестве микроудобрения под различные культуры дает в основном положительный результат. Многое зависит от способа применения и доз. Как правило, используют различные соли лития (хлористую, сернокислую, углекислую). Для предпосевного замачивания (увлажнения) семян (клубней картофеля) применяют растворы лития от 0,001 до 0,05 % из расчета на элемент в зависимости от культуры. Для некорневого питания используют растворы Li от 0,005 %-ного (виноград, картофель) до 0,1 %-ного (табак). В почву литий вносят в пределах 0,1—40,0 мг/кг почвы в зависимости от культуры и используемой соли.

**Перспективы использования микроудобрений.** Учитывая важную роль микроэлементов в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур и всевозрастающую потребность в них, необходимо поставить задачу обеспечения сельскохозяйственного производства перспективными формами микроудобрений, позволя-

ющими наиболее эффективно использовать эти нужные растением элементы питания.

Результаты многочисленных исследований по изучению перспективных видов и форм микроудобрений свидетельствуют о целесообразности производства и применения обогащенных микроэлементами удобрений, в том числе комплексных. Испытания опытных и опытно-промышленных партий основных удобрений с микроэлементами в производственных условиях показали, что только, например, за счет бора в нитроаммофоске, внесенной на выщелоченных черноземах и дерново-подзолистых почвах, получают следующие дополнительные прибавки к урожаю: корней сахарной свеклы 3—4 т/га, семян капусты 0,23—0,29, семян гороха 0,21—0,37 т/га.

Внесение на дерново-подзолистых почвах молибдена в составе суперфосфата обеспечивает дополнительный сбор 0,5—0,6 т/га сена бобовых трав. В условиях резкой недостаточности меди (осушенные торфяно-болотные почвы низинного типа) на фоне основных удобрений колосовые почти не дают зерна, в то время как внесение обогащенного медью хлористого калия позволяет получить урожай зерна ячменя 2,5—3,0 т/га, повысить на 15—18 % урожай трав, на 20 % урожай овощей.

По прогнозам, потребность сельского хозяйства в микроэлементах должна обеспечиваться на 60—70 % микроэлементами в составе основных удобрений и на 30—40 % за счет технических солей, применяемых для некорневой подкормки и предпосевной обработки семян.

Требование сбалансированного питания растений всеми питательными элементами для обеспечения максимальных сборов высококачественной сельскохозяйственной продукции не только не исключает, но и наоборот, резко усугубляет необходимость строго дифференцированного подхода к применению микроудобрений с учетом обеспеченности почв доступными формами микроэлементов, других почвенно-климатических факторов, биологических особенностей и особенностей питания культур.

Применение широкого набора микроэлементов в сочетании с макроэлементами в составе комплексных удобрений или питательных смесей должно быть весьма ограничено и допустимо лишь в условиях абсолютного недостатка питательных веществ при выращивании растений на малоплодородных песчаных и супесчаных почвах, в условиях гидропоники или защищенного грунта с использованием инертных малобуферных сред, в садоводстве и декоративном цветоводстве.

Однако и в этом случае необходимо строгое научное обоснование целесообразности совместного применения комплекса макро- и микроэлементов.

Особое внимание следует обратить на те направления исследований в области агрохимии микроэлементов, которые имеют пер-

воочередное значение для практического использования в земледелии микроэлементов, обеспечения наиболее высоких их агрохимической и экономической эффективности. К ним относятся:

разработка надежных методов прогнозирования эффективности микроудобрений на основе агрохимического анализа почв на содержание доступных форм микроэлементов и растительной диагностики;

изучение действия перспективных форм микроудобрений на величину и качество урожая важнейших сельскохозяйственных культур в сети географических полевых опытов, проводимых по единым методике и программе, на фоне возрастающих доз основных (NPK) минеральных удобрений;

исследование баланса макро- и микроэлементов в длительных полевых опытах с удобрениями в севообороте в различных почвенно-климатических зонах страны, в том числе при использовании необходимых микроудобрений в качестве составной части системы удобрения;

изучение взаимодействия макро- и микроэлементов в процессах питания и обмена веществ растений, влияния микроэлементов (микроудобрений) на размеры использования и продуктивность усвоения основных элементов питания из почвы и удобрений.

Исследования по первому из указанных направлений включают установление предельных величин содержания микроэлементов в почвах и растениях, разработку более совершенных методов определения доступных растениям форм микроэлементов в почвах, установление научно обоснованных градаций обеспеченности почв микроэлементами для отдельных почвенно-климатических зон, районов страны с учетом особенностей культур, типа, гранулометрического состава и других свойств почвы, уровня применения органических и минеральных удобрений и приемов водорегулирования.

Наряду с изучением эффективности перспективных форм, содержащих микроэлементы комплексных удобрений в течение длительного времени, будет иметь важное значение разработка приемов наиболее рационального использования отходов промышленного производства, содержащих микроэлементы, а также поиск сырья, пригодного для производства микроудобрений.

Изучение баланса макро- и микроэлементов в длительных полевых опытах с севооборотами должно сопровождаться исследованием влияния систематического применения высоких доз органических и минеральных удобрений, приемов химической мелиорации и химических средств защиты растений на содержание в почве и доступность растениям микроэлементов из почвы и микроудобрений.

Пристального внимания заслуживает исследование ранее не изучавшихся с агрономической точки зрения микроэлементов (йода, лития, алюминия, ванадия, титана, селена, рубидия, брома

и фтора), а также определение возможного негативного действия таких микроэлементов, как медь, фтор, мышьяк, хром, свинец, кадмий, никель, в связи с техногенным загрязнением и охраной окружающей среды.

На современном этапе развития сельскохозяйственного производства необходимо учитывать не только острый недостаток микроэлементов с явно выраженными признаками и большими потерями урожаев, но и скрытый недостаток без внешнего проявления признаков, приводящий к снижению урожая и его качества. В конечном урожае сельскохозяйственной продукции, его количестве и качестве суммировано громадное число постоянно изменяющихся факторов, воздействовавших на растения в период вегетации.

Долгое время рекомендации по внесению удобрений основывались на почвенных исследованиях, содержании элементов в растениях, ориентировочных таблицах, т. е. с учетом незначительного количества факторов. С использованием для планирования применения минеральных удобрений современной вычислительной техники появилась перспектива учета всех существенных факторов, влияющих на урожай растений и его качество, с одновременным учетом охраны окружающей среды. Например, в ряде стран применяется программа ЭВМ для внесения микроудобрений.

При внесении микроэлементов учитывают многочисленные факторы, относящиеся к растениям, почвенные факторы, а также факторы, относящиеся к внесению удобрений или возделыванию культуры, и др. На основании системы оценки всех условий определяют влияние их совокупности и принимают решения по внесению удобрений.

Для успешного совершенствования сельскохозяйственного производства очень важна разработка объективно обоснованных рекомендаций по рациональному применению макро- и микроудобрений.

Несомненно, что перечисленные направления в развитии исследований по агрохимии микроэлементов не полностью охватывают все вопросы, связанные с проблемой микроэлементов в земледелии. Однако они имеют первоочередное значение в системе исследований, осуществляемых в нашей стране с целью обеспечения наиболее рационального применения микроудобрений.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Каково содержание микроэлементов в различных почвах? 2. Какие микроэлементы наиболее широко применяют в сельском хозяйстве и в каких условиях они дают наибольший эффект? 3. Расскажите о физиологической роли бора и содержании его в растениях. 4. На каких почвах и под какие культуры прежде всего необходимо внесение борных удобрений? 5. Назовите формы борных удобрений, дозы и способы их внесения. 6. Каковы физиологическая роль кобальта и содержание его в растениях? 7. На каких почвах и под какие культуры прежде всего необходимо внесение кобальтовых удобрений? 8. Назовите формы кобальтовых

удобрений, дозы и способы их внесения. 9. Каковы физиологическая роль цинка и содержание его в растениях? 10. На каких почвах и под какие культуры прежде всего необходимо внесение цинковых удобрений? 11. Назовите формы цинковых удобрений, дозы и способы их внесения. 12. Расскажите о физиологической роли меди и содержании ее в растениях. 13. На каких почвах и под какие культуры прежде всего необходимо внесение медных удобрений? 14. Назовите формы медных удобрений, дозы и способы их внесения. 15. Каковы физиологическая роль молибдена и содержание его в растениях? 16. На каких почвах и под какие культуры прежде всего необходимо внесение молибденовых удобрений? 17. Назовите формы молибденовых удобрений и способы их внесения. 18. Расскажите о физиологической роли марганца и содержании его в растениях. 19. На каких почвах и под какие культуры прежде всего необходимо внесение марганцевых удобрений? 20. Назовите формы марганцевых удобрений, дозы и способы их внесения.

### 5.5. КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ

К *комплексным удобрениям* относятся удобрения, содержащие два, три и более элементов питания: азот, фосфор, калий, магний, серу и микроэлементы.

В зависимости от содержания компонентов различают *двойные* ( $P + K$ ,  $N + P$ ,  $N + K$ ) и *тройные* ( $N + P + K$ ) комплексные удобрения.

По способу производства эти удобрения подразделяют на сложные, сложносмешанные (комбинированные) и смешанные, а по агрегатному состоянию — на твердые и жидкие.

*Сложные удобрения* представляют собой одинарные соли, содержащие разные элементы питания, например  $KNO_3$ ,  $(NH_4)_2HPO_4$  и др. Они не содержат примесей (балласта) и поэтому отличаются высокой концентрацией элементов питания.

*Сложносмешанные (комбинированные) удобрения* содержат два и более элементов питания, получают их в едином технологическом процессе при взаимодействии азотной, фосфорной и серной кислот с аммиаком, природными фосфатами, солями калия, аммония и др.

*Смешанные удобрения* получают путем механического смешивания двух или более простых удобрений.

Чем больше общее содержание питательных веществ в удобрении, тем оно ценнее. Высокая концентрация действующих веществ и одновременное содержание нескольких элементов питания — большое преимущество комплексных удобрений.

Себестоимость производства комплексных удобрений (в пересчете на единицу питательного вещества) выше, чем простых удобрений. Однако затраты на доставку, хранение и внесение в почву комплексных удобрений по сравнению с простыми гораздо меньше. В итоге общая стоимость применения комплексных удобрений (с учетом затрат на их производство) примерно на 10 % ниже, чем простых.

Наличие в одной грануле комплексных удобрений нескольких

питательных веществ способствует их более равномерному распределению по поверхности почвы.

Комплексные удобрения обеспечивают лучшую позиционную доступность питательных веществ корневой системе. Опыты показали, что при раздельном питании азотом, фосфором и калием (при размещении их в разных частях сосуда) кукуруза развивалась хуже и поглощала меньше  $P_2O_5$ , чем при его совместном внесении с азотом и калием.

Эффективность равных доз питательных веществ в составе комплексных и смеси односторонних удобрений по действию на урожай растений практически одинакова, с некоторым преимуществом комплексных за счет более равномерного распределения питательных веществ в почве и лучшей их позиционной доступности корневой системе растений.

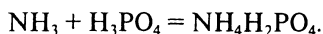
Для различных культур, почв, климатических и других условий требуются сложные удобрения с разным соотношением и содержанием азота, фосфора и калия. Их характеризуют массовым отношением  $N : P_2O_5 : K_2O$ , например 1 : 1,5 : 0,5 (азот принимается за единицу). Иногда удобрения характеризуют отношением  $N : P_2O_5 : K_2O$  в процентах по содержанию действующих веществ элементов, например 12 : 18 : 6 или 12 — 18 — 6; сумма этих чисел дает общее содержание действующих веществ в удобрении.

Наиболее распространенными являются трехкомпонентные удобрения марок 1 : 1 : 1; 1 : 1,5 : 1; 1 : 1 : 1,5; 1 : 1,5 : 1,5; 1 : 1 : 0,5 и двухкомпонентные — 1 : 2,5 : 0; 1 : 4 : 0; 1 : 1 : 0; 0 : 1 : 1; 0 : 1 : 1,5.

Однако соотношение между отдельными компонентами в составе комплексных удобрений не всегда соответствует потребностям культур при выращивании на почвах с различной обеспеченностью этими элементами. В таких случаях необходимо дополнять применение комплексных удобрений внесением односторонних удобрений или приготавливать соответствующие тукосмеси.

#### 5.5.1. СЛОЖНЫЕ УДОБРЕНИЯ

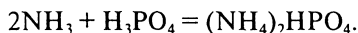
**Аммофос** —  $NH_4H_2PO_4$  (однозамещенный фосфат аммония). Содержит 11—12 % N и 46—60 %  $P_2O_5$ . В нем нет балласта. Получают путем нейтрализации аммиака фосфорной кислотой:



Недостаток этого удобрения — слишком широкое соотношение между азотом и фосфором, равное 1 : 4 и даже 1 : 5. Это ограничивает возможность его применения, так как отношение азота к фосфору в удобрении должно быть близким к единице и менее, поскольку большинству растений требуется больше азота, чем фосфора.



**Диаммофос** —  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  (двузамещенный фосфат аммония). Производство основано на насыщении аммиаком фосфорной кислоты:



В диаммофосе содержится 18 % и более азота и около 50 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Соотношение между азотом и фосфором составляет приблизительно 1 : 2,5. Суммарное содержание азота и фосфора в диаммофосе около 70 %. Это самое концентрированное из всех сложных удобрений.

Сравнительные испытания в качестве источников фосфора и азота (с выравниванием доз NPK) аммофоса и диаммофоса под все основные культуры и на основных типах почв показали, что ни в одном случае эти сложные удобрения не уступали эквивалентной смеси из простых удобрений. Наоборот, в большей части опытов эффективность фосфатов аммония была значительно выше.

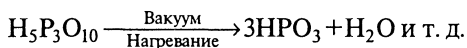
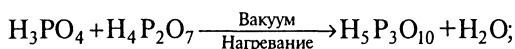
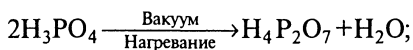
Фосфаты аммония удобны для локального применения в качестве припосевного или припосадочного удобрения всех культур. Они не содержат сколько-нибудь заметных количеств балласта, не создают высокой концентрации раствора и не повышают существенно его осмотического давления.

**Фосфоаммомагnezия** —  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (магний-аммоний-фосфат). Слаборастворимое сложное удобрение, содержащее 10,9 % N, 45,7 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 25,9 % MgO. Нитрификация аммония этого удобрения в почвенных условиях протекает так же быстро, как и других аммонийных удобрений. Пригодно для основного внесения в первую очередь на песчаных почвах, где возможны существенные потери азота из растворимых удобрений и на которых ощущается дефицит магния, а также в теплицах при выращивании овощей на гидропонике.

**Полифосфаты аммония.** Их получают аммонизацией полифосфорных кислот аммиаком.

До недавнего времени технология производства концентрированного суперфосфата, преципитата и фосфата аммония основывалась на ортофосфорной кислоте ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), которая в чистом от примесей состоянии содержит не более 54 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Производимые в настоящее время смеси полифосфорных кислот содержат от 70 до 83 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , что позволяет получать более концентрированные комплексные удобрения.

Процесс образования полифосфорных кислот требует нагревания и вакуума:



В этих реакциях происходит конденсация (уплотнение молекул фосфорной кислоты с выделением воды), поэтому полифосфорные кислоты называют конденсированными. В химической промышленности за ними утвердилось еще и название суперфосфорной кислоты, которое, однако, является коммерческим термином и не выражает сущности процесса.

Ряд полифосфорных кислот можно представить следующим образом:  $\text{HPO}_3$  — метафосфорная,  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$  — пирофосфорная,  $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  — триполифосфорная,  $\text{H}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$  — полифосфорная и т. д. У нас в стране полифосфаты были получены в 1964 г.

Перевозят полифосфорные кислоты в специальных цистернах (железнодорожных и автомобильных) из нержавеющей стали.

Исходным продуктом для производства полифосфатов служит смесь полифосфорных кислот, которые получают из концентрированной ортофосфорной кислоты экстракционного происхождения или из фосфора, добываемого термическим путем. Наиболее концентрированные полифосфорные кислоты образуются на основе термической ортофосфорной кислоты, из экстракционной же получают конденсаты с меньшей концентрацией  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

На основе полифосфорных кислот получают тройной суперфосфат (55 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). При аммонизации (насыщении аммиаком) полифосфорных кислот под давлением получают полифосфаты аммония (табл. 89).

**89. Характеристика некоторых полифосфатов аммония**

| Удобрение                                | Формула  | N    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | N : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | N +<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ,<br>% |
|--|--|------|-------------------------------|-----------------------------------|---|
|  |  | %    |                               |                                   |   |
| Диаммоний пирофосфат                     | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>       | 13   | 66,9                          | 1 : 5                             | 79,9  |
| Триаммоний пирофосфат                    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> HP <sub>2</sub> O <sub>7</sub>                     | 18,3 | 62,0                          | 1 : 3,4                           | 80,3  |
| Тетрааммоний пирофосфат                  | (NH <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>                      | 22,7 | 57,7                          | 1 : 2,5                           | 80,4  |
| Пентааммоний триполи-<br>фосфат дигидрат | (NH <sub>4</sub> ) <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> · 2H <sub>2</sub> O | 18,4 | 56,2                          | 1 : 3,1                           | 74,6  |

Для практических целей наиболее ценны второй и третий из приведенных полифосфатов аммония, отличающиеся высокой общей концентрацией фосфора и азота и более приемлемым их соотношением. Эти удобрения используют в твердом виде или вводят главным компонентом в состав жидких и суспендированных удобрений благодаря хорошей растворимости.

Особенности структуры полифосфатов позволяют вводить в состав их молекулы несколько элементов минерального питания (азот, калий, кальций), включая микроэлементы. Это открывает широкие перспективы для создания новых видов и форм таких удобрений.

Полифосфаты менее подвижны в почве, чем ортофосфаты, так

как активнее взаимодействуют с почвенными минералами. В почве под влиянием микроорганизмов протекает гидролиз полифосфатов, в результате которого они трансформируются в ортофосфаты.

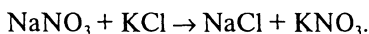
Гидролиз идет тем интенсивнее, чем выше биологическая активность почв. При пониженных температурах (7—12 °С) он протекает медленно, а с повышением температуры усиливается.

**Метафосфат калия** —  $\text{KPO}_3$ . Содержит до 60 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  и до 40 %  $\text{K}_2\text{O}$ . Высококонцентрированное сложное удобрение. Получают путем разложения хлористого или углекислого калия ортофосфорной кислотой при температуре 450 °С. В ряде опытов с картофелем, сахарной свеклой, ячменем, льном и другими культурами получен хороший эффект от применения этого удобрения.

**Калийная селитра** —  $\text{KNO}_3$  (азотнокислый калий). Содержит около 13 % N и до 45 %  $\text{K}_2\text{O}$ , не содержит балластных веществ и отличается хорошими физическими свойствами. В качестве источника калия особенно ценна для культур, чувствительных к хлору. Применяют в закрытом грунте.

Недостаток калийной селитры — широкое соотношение между азотом и калием (1 : 3,5). Поэтому при ее использовании требуется дополнительное внесение азотных удобрений, а если необходимо дать все три питательных элемента одновременно, то и фосфорных.

Получение  $\text{KNO}_3$  основано на обменном разложении  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{KCl}$ :



В качестве исходного сырья используют хлористый калий и упаренные растворы нитрата натрия, которые образуются в качестве побочного продукта в процессе производства азотной кислоты.

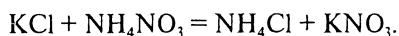
### 5.5.2. СЛОЖНОСМЕШАННЫЕ УДОБРЕНИЯ

Сложносмешанные удобрения получают путем обработки смесей готовых порошкообразных удобрений аммиаком, аммиакатами и кислотами (фосфорной, полифосфорной, азотной и серной). При механическом смешивании этих компонентов происходит их химическое взаимодействие.

**Нитрофосы и нитрофоски.** Их получают при обработке фосфатного сырья азотной кислотой. В результате такого взаимодействия образуются кальциевая селитра и монофосфат кальция с примесью дикальцийфосфата. Но эта смесь из-за высокой гигроскопичности кальциевой селитры еще не является полноценным удобрением: она отличается повышенной влажностью и плохо рассеивается. Поэтому необходима дальнейшая обработка смеси, чтобы перевести азот из кальциевой селитры в другие соединения. Существует несколько способов такой обработки.

1. В полученную смесь — пульпу, когда она еще горячая и кашцеобразная, вводят сульфат аммония. Он реагирует с кальциевой селитрой, образуются аммиачная селитра и безводный сернокислый кальций. Если эту смесь высушить и подвергнуть грануляции, получится удобрение, которое называется *нитрофос*.

Для получения тройного удобрения в горячую пульпу добавляют в необходимой пропорции хлористый калий. Частично он взаимодействует с аммиачной селитрой с образованием хлористого аммония и калийной селитры:



После высушивания и грануляции получается удобрение *сульфатная нитрофоска*. Оно обладает хорошими физическими свойствами и может быть использовано под большинство культур на всех почвах. Полученная смесь содержит  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ .

2. При добавлении в пульпу аммиака и серной кислоты достигается тот же результат, что при введении сульфата аммония. Но аммиак может вызвать вследствие местного подщелачивания среды частичную ретроградацию образовавшихся усвояемых солей фосфорной кислоты. Чтобы этого избежать, одновременно в пульпу прибавляют небольшое количество растворимой соли магния. Введение хлористого калия позволяет получить удобрение, которое называется *сернокислой нитрофоской*, очень близкое по составу и свойствам к сульфатной нитрофоске.

3. Перспективным способом является добавление к пульпе аммиака и фосфорной кислоты. Нитрат кальция превращается в одно- и двузамещенные фосфаты кальция и аммиачную селитру; кроме того, образуется аммофос.

В этом удобрении самое высокое содержание водорастворимой фосфорной кислоты (до 80 %), в двух предыдущих — около 55 % от усвояемой. При добавлении хлористого калия получается *фосфорная нитрофоска*.

В нашей стране выпускается несколько марок гранулированных нитрофосок. В таблице 90 приведена их характеристика.

90. Характеристика нитрофосфатов

| Нитрофосфаты                      | N         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(усвояемая) | K <sub>2</sub> O | Содержание<br>водораствори-<br>мой P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %* |
|-----------------------------------|-----------|--|------------------|---|
|                                   | %         |  |                  |   |
| Нитрофос марки А                  | 23,5      | 17   | —                | 50  |
| Нитрофос марки В                  | 24        | 14   | —                | 50  |
| Нитрофоска марки А (16 : 16 : 13) | 16—17     | 16—17  | 13—14            | 55  |
| Нитрофоска марки Б (13 : 10 : 13) | 12,5—13,5 | 8,5—9,5                                      | 12,5—13,5        | 55  |
| Нитрофоска марки В (12 : 12 : 12) | 11—12     | 10—11  | 11—12            | 55  |

\*В % от общего содержания P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Размер гранул нитрофосок 1—4 мм; они достаточно прочные и при кондиционировании путем добавления небольших количеств минеральных масел и припудривания тальком или тонкоразмолотым известняком не слеживаются при перевозке и хранении. Нитрофоски вносят в качестве основного удобрения, припосевного в рядки, а также в подкормку. Их эффективность практически такая же, как и эквивалентных количеств смеси простых удобрений.

**Нитроаммофос** —  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ . Получают при нейтрализации аммиаком смесей азотной и фосфорной кислот. Содержание азота и фосфора равное (примерно по 23 % каждого). При введении в смесь калийных компонентов получают *нитроаммофоски*. Содержание N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{K}_2\text{O}$  составляет по 16—17 %. Эти удобрения почти не имеют балласта. Количество водорастворимых фосфатов 90 % и более. Применяют эти удобрения теми же способами, что и нитрофоски. Эффективность нитроаммофосок такая же, как и смесей простых удобрений.

**Карбоаммофоска**. Получают ее из мочевины, фосфорной кислоты, аммиака и солей калия. Она содержит до 60 % питательных веществ (по 20 % N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{K}_2\text{O}$ ). Ее производят со следующим соотношением азота, фосфора и калия: 1:1:1; 1,5:1:1; 2:1:1; 1:1,5:1.

Без добавления калия получают карбоаммофос, содержащий до 60 % питательных веществ (по 30 % N и  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Соотношение азота и фосфора может быть такое же, как и в карбоаммофоске.

Нитроаммофосфаты, получаемые на основе аммофоса, и карбоаммофосфаты (табл. 91) выпускают в гранулированном виде (размер гранул 1—3 мм).

**91. Состав комбинированных удобрений, получаемых на основе фосфатов аммония, %**

| Удобрение                                | N  | $\text{P}_2\text{O}_5$ | $\text{K}_2\text{O}$ |
|--|----|------------------------|----------------------|
| Нитроаммофос:                            |    |                        |                      |
| марка А (1 : 1)                          | 23 | 23                     | —                    |
| марка Б (1 : 1,5)                        | 16 | 24                     | —                    |
| Нитроаммофоска сорта I (сумма NPK 50 %)  | 16 | 16                     | 18                   |
| Нитроаммофоска сорта II (сумма NPK 44 %) | 14 | 14                     | 16                   |
| Карбоаммофос (сумма NP 60 %)             | 30 | 30                     | —                    |
| Карбоаммофоска сорта I (сумма NPK 60 %)  | 20 | 20                     | 20                   |

**Фосфаты мочевины**. Получают при взаимодействии термической фосфорной кислоты и синтетической мочевины. Производство основано на способности последней образовывать комплексы с фосфорной кислотой:  $(\text{CONH}_2)_2 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  (содержит по 27 % N и  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Хорошо растворимы и применяются всеми способами.

Можно дополнительно вводить аммиак и добавлять хлорид калия. Удобрение содержит до 36 % N, 48 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  или по 24 % N и  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

### 5.5.3. СМЕШАННЫЕ УДОБРЕНИЯ

Эти удобрения представляют собой механическую смесь удобрений, содержащую два и более питательных элементов. Сухое смешивание удобрений — наиболее доступный, простой и экономичный метод получения комплексных удобрений.

По своим агрохимическим качествам смешанные удобрения практически не отличаются от сложных. Преимуществом их является возможность выпуска очень широкого ассортимента удобрений с любыми соотношениями питательных элементов, удовлетворяющими разнообразные требования сельского хозяйства. Например, в странах Западной Европы ассортимент смешанных удобрений включает около 100 марок (сортов), однако наиболее распространены десятки марок.

В зависимости от вида смешанных удобрений общее содержание питательных веществ в тукосмесях может изменяться от 25—30 % (при использовании простого суперфосфата, сульфата аммония или аммонийной селитры) до 40 % и больше (в смесях на основе более концентрированных удобрений).

В нашей стране в настоящее время имеется несколько способов получения сухих смешанных удобрений:

- смешивание непосредственно в хозяйствах при помощи стационарных или передвижных тукосмесительных установок;

- использование стационарных высокопроизводительных установок (40—60 т/ч) с перспективой обслуживания нескольких хозяйств;
- смешивание удобрений на химических предприятиях.

При смешивании твердых удобрений исходные компоненты должны быть сухими и рассыпчатыми; желательно, чтобы они мало различались по крупности и плотности зерен. Материалы, не удовлетворяющие этим требованиям, трудно превратить в однородное удобрение. Смеси, состоящие из зерен разных размеров и неодинаковой плотности, подвержены сегрегации, т. е. они расслаиваются, становятся неоднородными при хранении, перевозке, машинном внесении в почву.

Требования к физико-химическим свойствам смеси определяются рядом факторов: объемами смешивания, сроками и методами приготовления, схемой продвижения удобрений до поля и др.

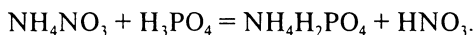
Возможны два пути использования смешанных удобрений: внесение непосредственно после смешивания и заблаговременное приготовление с последующим хранением.

Используемые при сухом смешивании односторонние и неуравновешенные по составу удобрения должны сохранять сыпучесть, неслеживаемость и гранулометрический состав в процессе транспортировки и при хранении насыпью в течение 6 мес. Содержание влаги не должно превышать в мочеvine и аммиачной селитре 0,12 %, аммофосе, диаммофосе и хлористом калии 1 %, двойном суперфосфате 3,5 % (при свободной кислотности не бо-

лее 1 %). Количество гранул размером 1—3 мм должно быть не менее 90 %, в том числе диаметром 2—3 мм не менее 50 % и частиц менее 1 мм не более 1 %. Разрушение гранул при смешивании не более 3 %, прочность их не менее 2 МПа (20 кг/см<sup>2</sup>).

Физические свойства смешанных удобрений можно улучшить введением нейтрализующих добавок: мела, известняка, фосфоритной муки. Однако не все удобрения можно смешивать друг с другом. Особенности физико-химических свойств исходных удобрений часто ограничивают возможность их смешивания.

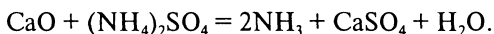
Например, при смешивании аммиачной селитры с суперфосфатом (в составе которого всегда присутствует некоторое количество фосфорной кислоты) могут выделяться пары азотной кислоты или оксиды азота:



Кроме того, образование нитрата кальция ведет к увеличению гигроскопичности смеси:



Карбонат и бикарбонат кальция, имеющие щелочную реакцию, и металлургические шлаки, содержащие свободный оксид кальция, нельзя смешивать с аммонийными удобрениями из-за возможных потерь аммиака:



При заблаговременном смешивании аммонийной селитры с суперфосфатом получается мажущаяся смесь, непригодная для рассева. Поэтому смешивать эти удобрения следует непосредственно в день внесения.

Рассмотрим диаграмму, показывающую возможность смешивания удобрений (0 — свойства смеси значительно ухудшаются; 1 — длительное хранение смесей недопустимо; 2 — заблаговременное смешивание допустимо).

*Диаграмма ограничений при смешивании удобрений*

|   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Аммиачная селитра                                   | 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Карбамид  | 2  | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Сульфат аммония                                     | 3  | 1 | 1 |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Суперфосфат нейтрализованный<br>(простой и двойной) | 4  | 1 | 1 | 2 |   |   |   |   |   |   |    |
| Преципитат  | 5  | 1 | 1 | 2 | 2 |   |   |   |   |   |    |
| Фосфоритная мука                                    | 6  | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |   |   |   |   |    |
| Металлургические шлаки                              | 7  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |   |   |   |    |
| Аммофос   | 8  | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 |   |   |    |
| Хлористый калий                                     | 9  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |   |    |
| Сернокислый калий                                   | 10 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |    |
|   |    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Как видно из диаграммы, в большинстве случаев смешивание допустимо незадолго до внесения удобрения в почву.

Использование нескольких исходных компонентов с улучшенными физико-химическими свойствами позволяет приготовить комплексные смешанные удобрения, пригодные для длительного хранения. Например, введение нейтрализующих добавок (доломит, костная или фосфоритная мука), а также аммонизированного суперфосфата устраняет образование азотной кислоты, превращение монокальцийфосфата в дикальцийфосфат, улучшает физические свойства удобрения.

Полная нейтрализация суперфосфата или снижение содержания в нем свободной фосфорной кислоты (до 1 %) и влажности (до 4 % в простом и до 3 % в двойном) позволяет получать в смеси с карбамидом и хлоридом калия удобрение состава с соотношением 1 : 1 : 1.

Смеси стандартного гранулированного аммофоса с хлористым калием, нейтрализованными суперфосфатами и сульфатом аммония имеют хорошие физические свойства; небольшая гигроскопичность этих смесей обеспечивает возможность длительного хранения.

Механизированные приготовление и внесение тукосмесей дают большой экономический эффект по сравнению с отдельным применением односторонних удобрений.

В настоящее время значительное количество смешанных удобрений производят непосредственно на химических предприятиях. При этом, как правило, совмещают смешивание удобрений с их дополнительной химической обработкой — введением кислот (фосфорной, азотной, серной) и нейтрализующих их материалов (газообразного аммиака, жидких аммиакатов и других реагентов), а также используют растворы и плавы взамен воды в процессе гранулирования. В результате этого при смешивании компонентов гранулы получаются более однородными и прочными. Такие смешанные удобрения, по существу, не отличаются от сложносмешанных. Перечень таких удобрений включает следующие виды.

1. Гранулированное сложносмешанное удобрение, получаемое аммонизацией смеси простого суперфосфата, хлорида калия и нитрата аммония с добавлением (при необходимости) серной и фосфорной кислот.

2. Полное сложносмешанное удобрение с микроэлементами и без них, получаемое аммонизацией смеси простого суперфосфата, хлорида калия и нитрата аммония.

3. Прессованное фосфорно-калийное удобрение, получаемое на основе смеси простого суперфосфата и хлорида калия.

4. Для розничной торговли выпускают питательную смесь марки 9-9-9 с микроэлементами (на основе суперфосфата, калимагнезии, сульфата аммония и соединений микроэлементов), удобри-тельную смесь разных марок с содержанием питательных веществ от 22 до 56 % (на основе суперфосфата, карбамида, аммонийной селитры, хлорида и сульфата калия, известняка, доломита и других компонентов) и удобри-тельную смесь марки 12-12-12.



#### 5.5.4. ЖИДКИЕ КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ (ЖКУ)

Представляют собой водные растворы или суспензии, содержащие соединения азота и фосфора или азота, фосфора и калия (полные ЖКУ), иногда с добавками микроудобрений, пестицидов и стимуляторов роста растений. Помимо известных достоинств жидких удобрений по сравнению с твердыми преимуществами комплексных жидких удобрений являются простота изготовления, меньшие капитальные и эксплуатационные затраты. В ЖКУ можно в широких пределах регулировать соотношение питательных элементов. Преимуществами ЖКУ перед жидкими азотными удобрениями являются отсутствие в них свободного аммиака, а также то, что их применение исключает дополнительные трудовые затраты на внесение в почву твердых фосфорных и калийных удобрений.

Проведенные испытания показали, что действие на растения твердых и жидких комплексных удобрений приблизительно одинаковое. Несколько большая эффективность ЖКУ отмечается на карбонатных и других почвах, насыщенных основаниями.

ЖКУ относятся к одним из самых перспективных видов минеральных удобрений. Принципиальная схема получения этих удобрений заключается в нейтрализации аммиаком фосфорной кислоты до pH 6,5. Существует два вида ЖКУ, производство которых различается формой используемого фосфора: ортофосфорной и суперфосфорной кислот (последняя представляет собой смесь орто- и полифосфорной кислот с содержанием  $P_2O_5$  72—80 %). Содержание азота увеличивается при добавлении аммиачной селитры, мочевины или смеси мочевины и аммиачной селитры.

ЖКУ на основе термической ортофосфорной кислоты — почти прозрачные жидкости, на основе экстракционной ортофосфорной — мутные растворы (вследствие образования дисперсных частиц — аммонизированных фосфатов алюминия и железа, кремниевой кислоты). Концентрация азотно-фосфорных ЖКУ на суперфосфорной кислоте значительно выше получаемых на основе ортофосфата (табл.92).

**92. Соотношение основных элементов питания в жидких удобрениях, получаемых на основе ортофосфорной и суперфосфорной кислот**

| $N : P_2O_5 : K_2O$ | Ортофосфорная кислота | Суперфосфорная кислота |
|---------------------|-----------------------|------------------------|
| 4 : 1 : 0           | 16-4-0                | 24-6-0                 |
| 3 : 1 : 0           | 18-6-0                | 24-8-0                 |
| 2 : 1 : 0           | 16-8-0                | 22-11-0                |
| 1 : 1 : 0           | 13-13-0               | 19-19-0                |
| 1 : 2 : 0           | 9-18-0                | 15-30-0                |
| 1 : 3 : 0           | 8-24-0                | 12-36-0                |

ЖКУ производят методами горячего и холодного смешивания. При горячем смешивании (210—250 °С) с помощью нейтрализации фосфорной или полифосфорной кислоты аммиаком на крупных предприятиях получают базовые (основные) растворы орто- и полифосфатов аммония. Методом холодного смешивания (35—45 °С) на небольших установках вблизи районов потребления изготавливают удобрения с требуемым соотношением питательных веществ, добавляя в базовые растворы карбамид, нитрат аммония, соли калия.

ЖКУ не содержат свободного  $\text{NH}_3$ , поэтому их можно разбрызгивать по поверхности поля с последующей заделкой различными почвообрабатывающими орудиями. Специальными машинами ЖКУ вносят местно, ленточно, под любые культуры, особенно пропашные. Эти удобрения можно применять на орошаемых землях (с поливной водой).

Использование ЖКУ позволяет механизировать все процессы погрузки и разгрузки удобрений, устранить потери при транспортировке, перегрузках, хранении и в процессе внесения в почву.

Можно перечислить еще ряд преимуществ жидких комплексных удобрений: легкость автоматизированного контроля распределения удобрений по полю, обеспечивающего высокую равномерность их заделки в почву, возможность растворения в ЖКУ и совместного внесения гербицидов, инсектицидов, микроэлементов. Кроме того, получение этих удобрений связано со значительно меньшими капитальными вложениями, что объясняется сокращением некоторых стадий технологического процесса производства (сушка, грануляция).

Капитальные затраты на строительство цехов по производству ЖКУ на 20—30 % ниже, чем твердых удобрений. Даже при равной себестоимости ЖКУ затраты труда на их применение в 3—3,5 раза ниже по сравнению с твердыми удобрениями.

При этом особенно большая экономия достигается на погрузочно-разгрузочных работах и транспортировке. Доставка и внесение ЖКУ в 2—2,5 раза дешевле, чем твердых удобрений.

Внедрение ЖКУ требует, однако, создания специальных высокопроизводительных машин. Необходимо учитывать, что эти удобрения (особенно суспендированные) обладают коррозионной активностью.

В последние годы для повышения концентрации питательных элементов в ЖКУ в более широких масштабах стали использовать стабилизирующие добавки к ним. Такие удобрения называются *суспендированные* или *суспензионные*.

В качестве стабилизирующих добавок используют аттапульгитовые или бентонитовые глины (1,0—1,5 %). Это замедляет кристаллизацию перенасыщенных растворов, благодаря чему суспендированные жидкие комплексные удобрения (СЖКУ) долгое вре-

мя сохраняются в виде тонкой суспензии, использование которой не вызывает затруднений. Сумма питательных веществ в таком удобрении может достигать до 45 %.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие удобрения называют комплексными? На какие группы их подразделяют в зависимости от способов получения? В чем преимущества и недостатки комплексных удобрений? 2. Перечислите наиболее распространенные трех- и двухкомпонентные комплексные удобрения. 3. Расскажите об основных свойствах и способах получения сложных удобрений. 4. Какие удобрения относятся к сложносмешанным? 5. Каковы способы их получения, свойства и особенности применения? 6. Какие требования предъявляют к смешиванию простых удобрений? Расскажите об их применении. 7. Какие преимущества имеют сухие смеси удобрений? 8. Как можно улучшить физические свойства смешанных удобрений? 9. С какой целью в состав комплексных удобрений вводят микроэлементы? 10. Какова экономическая эффективность комплексных удобрений? 11. Что такое жидкие комплексные и суспендированные удобрения? Расскажите об их свойствах и способах получения.

---

## Глава 6

# ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ

●

*Органические удобрения* — это разной степени разложения органические вещества растительного, животного, растительно-животного и промышленно-бытового происхождения. Количественный и качественный состав органических удобрений зависят от их происхождения, условий накопления и хранения. Эти удобрения содержат обычно много влаги и различных питательных элементов (практически все находившиеся в живых организмах, из которых они получены), но в небольших количествах, поэтому их называют *полными* удобрениями. Они обычно малотранспортабельны, их применяют на местах (или вблизи) получения и поэтому называют *местными*.

Применение местных полных органических удобрений (как и минеральных) — основной прием воздействия человека на круговорот питательных элементов в земледелии, причем не только для поддержания достигнутого уровня этого круговорота, но и с целью увеличения объемов его. Некоторые органические удобрения (навоз, птичий помет, фекалии, зеленые удобрения и др.) являются повторным использованием значительной части ранее взятых из почвы и различных удобрений питательных элементов, включая и дополнительно фиксированный азот атмосферы свободно живущими, симбиотическими и ассоциативными азотфиксаторами. Чем более полно на местах используются все возможные ресурсы таких органических удобрений, тем меньше потребность в дополнительном приобретении минеральных удобрений, и наоборот. Другие органические удобрения (торф, коммунально-бытовые отходы городов, сапропели и др.), как и минеральные, служат дополнительным источником увеличения объемов питательных элементов в круговороте их в любом агроценозе.

Все органические удобрения при минерализации их являются для растений дополнительным источником и диоксида углерода, т. е. улучшают не только корневое, но и воздушное питание растений.

Органические удобрения — это и энергетический материал, и источник пищи для почвенных микроорганизмов, причем многие из них (навоз, фекалии, компосты с их участием и др.) сами очень богаты микрофлорой и, следовательно, обогащают почву и этим

компонентом. Кроме того, органические удобрения — важнейший фактор практического регулирования многих показателей плодородия почв: содержания органического вещества, подвижных форм азота, фосфора, калия, кальция, алюминия, железа, марганца, других микро- и макроэлементов, кислотности, ЕКО, степени насыщенности основаниями, биологической активности, водно-воздушного режима и т. д.

Среди органических удобрений (навоз, навозная жижа, птичий помет, фекалии, торф, различные компосты, сидераты, сапропели, хозяйственно-бытовые отходы и т. д.) важнейшим является навоз.

### 6.1. НАВОЗ

Это смесь твердых и жидких выделений различных животных с подстилкой (подстилочный) или без нее (бесподстилочный).

Состав подстилочного навоза зависит от количества и соотношения твердых и жидких выделений животных и подстилки, а они неодинаковы для разных видов (и возраста) животных (табл. 93) и зависят от количества и качества кормов.

**93. Состав подстилочного навоза**

| Вид животного         | Количество экскрементов от 1 головы скота в сутки |           |                            |
|-----------------------|---|-----------|----------------------------|
|                       | твердых, кг                                       | жидких, л | отношение твердых к жидким |
| Крупный рогатый скот: |   |           |                            |
| взрослый              | 20—30   | 10—15     | 2,0                        |
| молодняк до 1,5 лет   | 10—20   | 5—6       | 2,0                        |
| телята до 6 мес       | 3—5   | 1,5—2,0   | 2,3                        |
| Свиньи                | 1,2—2,2   | 2,5—4,4   | 0,5                        |
| Овцы                  | 1,5—2,5   | 0,6—1,0   | 2,5                        |
| Лошади                | 15—20   | 4—6       | 3,5                        |

У лошадей, овец и крупного рогатого скота твердых выделений больше, а у свиней меньше, чем жидких. Твердые и жидкие выделения неравноценны по составу и удобрительной ценности: почти весь фосфор (более 95 %) содержится в твердых, а от 50 до 75 % азота и не менее 80—90 % калия — в жидких выделениях. В экскрементах животных содержание сухих веществ в среднем составляет примерно половину сухого вещества кормов, а содержание азота и зольных элементов может быть в 1,5—2,0 раза выше, чем в кормах.

При введении в рационы животных концентрированных кормов, переваримость которых значительно выше сена, экскременты будут содержать еще меньше сухого вещества, а содержание азота и фосфора в них будет еще больше. Содержание сухого вещества и питательных элементов в твердых и жидких выделениях у разных видов животных также неодинаково (табл. 94).

**94. Содержание (%) сухих веществ и питательных элементов в твердых (числитель) и жидких (знаменатель) выделениях животных**

| Вид животного        | Сухое вещество  | N                   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O    | CaO                  | MgO                 | SO <sub>4</sub>     |
|----------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Крупный рогатый скот | $\frac{16}{6}$  | $\frac{0,29}{0,58}$ | $\frac{0,17}{<0,01}$          | $\frac{0,10}{0,49}$ | $\frac{0,34}{0,01}$  | $\frac{0,13}{0,04}$ | $\frac{0,04}{0,13}$ |
| Свиньи               | $\frac{18}{3}$  | $\frac{0,60}{0,49}$ | $\frac{0,41}{0,07}$           | $\frac{0,26}{0,83}$ | $\frac{0,09}{<0,01}$ | $\frac{1,10}{0,07}$ | $\frac{0,04}{0,08}$ |
| Овцы                 | $\frac{35}{13}$ | $\frac{0,55}{1,95}$ | $\frac{0,31}{0,01}$           | $\frac{0,15}{2,26}$ | $\frac{0,46}{0,16}$  | $\frac{0,15}{0,34}$ | $\frac{0,14}{0,30}$ |
| Лошади               | $\frac{24}{10}$ | $\frac{0,44}{1,55}$ | $\frac{0,35}{<0,01}$          | $\frac{0,35}{1,50}$ | $\frac{0,15}{0,45}$  | $\frac{0,12}{0,24}$ | $\frac{0,06}{0,06}$ |

В экскрементах крупного рогатого скота и свиней содержание сухого вещества, а также большинства питательных элементов значительно меньше, чем у лошадей и овец. Благодаря этому экскременты овец и лошадей быстрее разлагаются и выделяют много тепла при хранении, поэтому навоз этих животных называют горячим, а свиней и крупного рогатого скота — холодным.

Азот, фосфор и сера твердых выделений всех животных входят в состав различных органических соединений и могут быть доступными растениям только после минерализации. В жидких выделениях все питательные элементы находятся в легкоминерализуемой и (или) легкорастворимой формах и очень быстро под влиянием микроорганизмов становятся доступными растениям. Калий, кальций и в меньшей степени магний и в твердых, и в жидких выделениях находятся в наиболее подвижных, усвояемых для растений формах.

Твердые выделения очень богаты микроорганизмами (иногда кал на 30 % состоит из их массы), а жидкие в момент выделений их вообще не содержат, но, перемешиваясь с твердыми, очень быстро обогащаются имеющимися в среде микроорганизмами.

Вместе с твердыми и жидкими выделениями животных в состав навоза входит подстилка, которая увеличивает количество навоза и влияет в зависимости от вида и количества ее на химический состав и потери питательных элементов из него. Подстилка впитывает (поглощает) жидкие выделения животных и образующийся при разложении мочи аммиак, т. е. уменьшает потери азота, калия и других растворимых в воде элементов и газов. Подстилка уменьшает влажность экскрементов, они становятся более рыхлыми, что убыстряет их микробиологическое разложение, облегчает погрузку, транспортировку, внесение и заделку навоза.

Трудно переоценить и санитарно-гигиеническую роль подстилки, способной создать мягкое теплое и сухое ложе для животных. Поэтому чрезвычайно важна способность подстилки поглощать жидкости и газы.

Разные подстилочные материалы значительно отличаются по содержанию питательных элементов и поглонительной способности (табл. 95).

**95. Среднее содержание (%) воды, питательных элементов и поглонительная способность подстилочных материалов**

| Вид подстилки    | H <sub>2</sub> O | N    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO  | Поглощение            |                        |
|------------------|------------------|------|-------------------------------|------------------|------|-----------------------|------------------------|
|                  |                  |      |                               |                  |      | H <sub>2</sub> O, т/т | NH <sub>3</sub> , г/кг |
| Солома:          |                  |      |                               |                  |      |                       |                        |
| злаков           | 14,3             | 0,5  | 0,25                          | 1,0              | 0,30 | 1,8—3,0               | 0,8—3,7                |
| бобовых          | 16,0             | 1,50 | 0,35                          | 0,6              | 1,60 | 2,8—3,3               | 5—8                    |
| Торф:            |                  |      |                               |                  |      |                       |                        |
| низинный         | 25,0             | 2,30 | 0,26                          | 0,15             | 3,00 | 4,0—7,5               | 8—18                   |
| верховой         | 30,0             | 1,00 | 0,10                          | 0,06             | 0,25 | 9,0—18,0              | 15—30                  |
| Листья древесные | 14,0             | 1,10 | 0,25                          | 0,30             | 2,00 | 2,0—4,0               | —                      |
| Опилки древесные | 25,0             | 0,20 | 0,30                          | 0,74             | 1,08 | 4,2—4,5               | 2—4                    |

Максимальной поглонительной способностью обладают торф и солома, причем торф содержит значительно больше азота, чем солома зерновых культур (озимые рожь, пшеница и овес), которую чаще других применяют как подстилку. Следовательно, торф является наилучшим подстилочным материалом. Навоз на соломенной подстилке называют *соломистым* (соломенным), на торфяной — *торфяным* (торфянистым).

При недостатке (или отсутствии) торфа и соломы или по санитарно-гигиеническим и экономическим причинам в качестве подстилки применяют листья, опилки. Качество навоза при этом ухудшается: повышается содержание клетчатки и лигнина, а с опилками еще снижается и содержание азота. Такой навоз гораздо дольше разлагается и менее эффективен в первый год после внесения.

Солому для подстилки нужно применять в резаном (длиной 10—15 см) виде для увеличения поглонительной способности ее к воде и аммиаку и облегчения погрузки-разгрузки, транспортировки, внесения и заделки в почву соломистого навоза.

Наилучшая подстилка — торф, особенно верховой, с невысокой (до 25—30 %) степенью разложения и влажностью 30—40 %, так как он более разложившийся и влажный — меньше поглощает жидкие выделения, а более сухой плохо поглощает и поэтому долго смачивается. Преимущество верхового торфа перед переходным и низинным обусловлено не только лучшим поглощением, но и более кислой реакцией, которая угнетает многие болезнетворные микроорганизмы (возбудители сибирской язвы, бруцеллеза, паратифа, кишечной палочки).

Средние суточные дозы (нормы) различных видов подстилочных материалов на 1 голову скота колеблются в зависимости от вида животных, количества и качества потребляемых ими кормов

и материально-технических возможностей производителей животноводческой продукции (табл. 96).

**96. Среднесуточные дозы подстилки (кг) на 1 голову скота (данные ВИУА)**

| Вид животного         | Солома зерновых | Верховой торф | Торфяная крошка (переходный, низинный) | Опилки, стружки |
|-----------------------|-----------------|---------------|--|-----------------|
| Крупный рогатый скот: |                 |               |  |                 |
| взрослый              | 4—6             | 3—4           | 10—20                                  | 3—6             |
| телята                | 2—3             | 1,5—2         | 5—10                                   | 2—3             |
| Свиньи                | 1—3             | 0,5—2,0       | 2—3                                    | 1,5—3           |
| Овцы, козы            | 0,5—1,0         | —             | —                                      | —               |
| Лошади                | 3—5             | 2—3           | 8—10                                   | 2—4             |

С увеличением в рационах животных сочных кормов (зеленая масса, корнеплоды, силос и др.) количество подстилки увеличивают, а при увеличении концентрированных кормов уменьшают. Количество навоза зависит от вида животных, продолжительности стойлового периода, количества и качества кормов и подстилочных материалов, сроков и способов хранения навоза.

За стойловый период 200 дней, по данным ВИУА, от 1 головы крупного рогатого скота при суточной дозе подстилки 2 кг получают 7 т солоmistого и 8 т торфяного навоза, потери азота за 3,5 мес хранения из первого составили 44 %, из второго — 25 %. С увеличением суточных доз подстилки до 4 кг за этот же период выход солоmistого навоза вырос до 8 т, торфяного — до 9 т, а потери азота за тот же период хранения из первого составили 31 %, из второго — 14 %. Увеличение суточных доз подстилки до 6 кг повысило выход солоmistого навоза до 9 т, а торфяного — до 10 т и снизило потери азота при хранении за тот же период из первого до 13 %, из второго до 3 %.

Количество навоза от каждой головы скота, естественно, снижается с уменьшением длины стойлового периода содержания всех видов животных (табл. 97).

**97. Примерный выход солоmistого навоза (т) от 1 головы скота при разной продолжительности стойлового периода**

| Вид животного        | Продолжительность стойлового периода, дней |         |         |           |
|----------------------|--|---------|---------|-----------|
|                      | 240—220                                    | 220—200 | 200—180 | Менее 180 |
| Крупный рогатый скот | 9—10                                       | 8—9     | 6—8     | 4—5       |
| Свиньи               | 1,5—2,0                                    | 1,2—1,7 | 1,0—1,5 | 0,8—1,2   |
| Лошади               | 7—8  | 5—6     | 4—5     | 3—4       |
| Овцы, козы           | 0,8—1,0                                    | 0,7—0,9 | 0,6—0,7 | 0,4—0,5   |

Общий выход свежего навоза в хозяйстве можно примерно определить по данным таблицы 97 с последующим пересчетом на общее поголовье животных.



Выход навоза можно подсчитать по формуле Вольфа:

$$\left(\frac{K}{2} + П\right) \cdot 4,$$

где  $\frac{K}{2}$  — половина сухого вещества кормов, переходящая в навоз;  $П$  — сухая масса подстилки; 4 — коэффициент, показывающий, что содержание воды в навозе в 4 раза больше, чем в сухом веществе кормов и подстилки.

Существуют и другие способы расчетов выхода навоза. Например, во Франции количество навоза определяют умножением массы всего стада на коэффициент 25.

Количество навоза изменяется в зависимости от способов и длительности хранения. При рыхлой укладке навоз через 3—4 мес теряет 33—50 % сухого вещества, а при плотной — только до 10 %. Объемная масса навоза также изменяется в зависимости от способа укладки и степени разложения: без уплотнения свежая масса 1 м<sup>3</sup> равна 300—400 кг, в уплотненном состоянии — 700, полуперепревшего навоза — 800 и сильноразложившегося — 900 кг.

По степени разложения различают: свежий, полуперепревший, перепревший навоз и перегной.

*Свежий навоз* — слаборазложившаяся масса, солома в которой еще сохраняет первоначальный цвет и прочность.

*Полуперепревший навоз* теряет по сравнению со свежим 10—30 % (в среднем 25 %) первоначальной массы и органического вещества. Солома в нем приобретает темно-коричневый цвет, теряет прочность и легко разрывается.

*Перепревший навоз* — однородная темная масса, содержащая 50 % исходной массы и органического вещества, в которой не замечены даже отдельные элементы подстилочного материала.

*Перегной* — рыхлая землистая темная однородная масса, содержащая не более 25 % массы и органического вещества исходного свежего навоза.

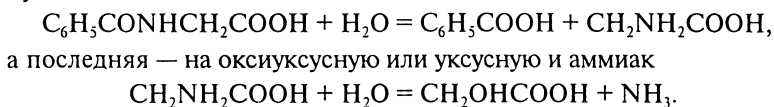
Без крайней необходимости не следует хранить навоз до перепревшего и тем более перегнойного состояния, так как это ведет к громадным потерям органического вещества и азота.

#### 6.1.1. ХРАНЕНИЕ (НАКОПЛЕНИЕ) НАВОЗА

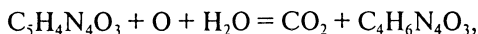
В процессе хранения (накопления) навоза в нем под действием микроорганизмов происходят различные изменения. Жидкие выделения животных содержат легкоминерализуемые азотные соединения — мочевины, гиппуровую и мочевую кислоты, скорость разложения которых уменьшается от первой к последней.

Мочевина под действием уробактерий быстро превращается в карбонат аммония:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , который распадается на аммиак, диоксид углерода и воду:  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

Гиппуровая кислота разлагается на бензойную и аминокусусную кислоты



Мочевая кислота (нередко еще в организме млекопитающих), выделяя диоксид углерода, переходит в аллантаин (глиоксилдиуреид)

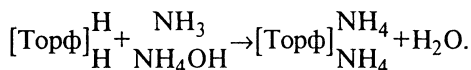


который разлагается с образованием глиоксилевой кислоты и мочевины



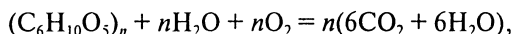
Мочевина по ранее описанной схеме превращается в карбонат аммония, а последний — в аммиак, диоксид углерода и воду.

Следовательно, все азотистые соединения жидких выделений животных отдельно (навозная жижа) и в составе навоза разлагаются до аммиака — основной формы потерь азота при хранении навоза и жижи. Торф, обладая кислотностью и обменно-поглощательной способностью, значительно уменьшает потери азота:

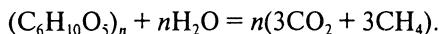


Азотистые соединения твердых выделений животных и подстилki также подвергаются аммонификации, но значительно медленнее, так как в них много клетчатки и более легкоразлагаемых углеводов (пектин, пентозаны, крахмал, сахар, органические кислоты и др.), являющихся энергетическим материалом многих микроорганизмов, которые и потребляют (иммобилизуют) образующийся аммиак. Чем грубее корма животных и более солоmistый навоз, тем больше в нем легкоразлагаемых безазотистых соединений и клетчатки и тем большее количество азота закрепляется в белки массы тел микроорганизмов.

Разложение безазотистых органических веществ в аэробных условиях происходит с повышением температуры навоза до 50—70 °С. Клетчатка под действием бактерий в аэробных условиях разлагается до диоксида углерода и вод



а в анаэробных — до диоксида углерода и метана



В процессе разложения навоза образуются также различные органические кислоты (масляная, уксусная и др.).

Скорость разложения органических веществ навоза зависит от

влажности, температуры, степени аэрации и химического состава навоза: чем больше аэрация, тем быстрее и при более высокой температуре он разлагается; чем больше в нем легкоразлагаемых органических соединений, тем быстрее протекают процессы брожения.

Нитрификации и денитрификации азота в навозе не происходит, так как нитрификаторы в аэробных условиях погибают от высокой температуры, а в анаэробных условиях существовать не могут. Кроме того, на них неблагоприятно действуют высокая концентрация аммиака и повышенное содержание растворимых органических соединений. В отсутствие нитратов нет и денитрификации.

В зависимости от способов накопления и хранения до внесения навоза в почву процессы минерализации (разложения) органических веществ его и, следовательно, размеры потерь азота (и других элементов) значительно различаются. Существует три способа хранения навоза: плотный (холодный), рыхлоплотный (горяче-прессованный) и рыхлый (горячий).

**Плотное (холодное) хранение.** Это укладка навоза в навозохранилище или в полевые штабеля послойно шириной 5—6 м и высотой 1 м (длина зависит от размеров хранилища и качества навоза) с немедленным уплотнением. На уплотненный слой укладывают и сразу же уплотняют последующие до тех пор, пока высота всех уплотненных слоев не достигнет 2,5—3,0 м. Уплотненный штабель сверху слоем 8—15 см накрывают торфом, резаной соломой или почвой, а сбоку, вплотную к первому, укладывают так же и уплотняют второй и тоже накрывают, затем следующий и т. д., пока не заполнится все навозохранилище.

В уплотненном навозе температура зимой не поднимается выше 15—25 °С, а летом — 30—35 °С, поэтому такой способ хранения называют холодным. Все поры навоза при этом максимально насыщены диоксидом углерода и водой, что замедляет микробиологическую деятельность, препятствует распаду карбоната аммония на аммиак, воду и  $\text{CO}_2$ , а свободный аммиак связывается угольной и органическими кислотами. Поэтому потери органического вещества и азота, а также количество стекающей навозной жижи при таком способе хранения минимальны. Полуперепревший навоз зимой образуется через 3—4 мес, перепревший — через 7—8 мес после закладки штабеля.

**Хранение навоза под скотом** — другой вариант плотного хранения. Его применяют при беспривязном содержании животных в полевых загонах, на выгульных площадках и в животноводческих помещениях. При этом по всей площади настилают торф или соломой слоем 30—50 см; эта подстилка перемешивается с экскрементами животных и ими же уплотняется. При переувлажнении верхнего слоя добавляют следующие слои подстилки и т. д. При обильном и своевременном добавлении подстилочных материалов все жидкие выделения (и жижа) сохраняются в навозе, что приво-

дит к минимальным потерям азота и органического вещества. При таком методе накопления и хранения навоза он в зимнее время согревает животных, облегчает уход за ними; при этом снижается себестоимость навоза, так как не нужно его убирать, строить навозохранилища и жижесборники. Убирать и сразу вносить в почву полуперепревший навоз можно не более 2—3 раз в год.

**Рыхлоплотное (горячепрессованное) хранение.** Применяется, когда нужно быстро разложить, например, сильносоломистый навоз, или с целью биотермического уничтожения семян сорняков и возбудителей желудочно-кишечных заболеваний, которыми чаще заражается свиней и овечьих навоз. Свежий навоз укладывают в навозохранилища рыхлым слоем высотой до 1 м, причем зимой его прикрывают соломой или торфом, чтобы сохранить тепло. Микробиологические процессы в аэробных условиях приводят к бурному разложению органических веществ, и когда температура навоза поднимается и достигает (на 4—6-й день) 60—70 °С, его уплотняют и на него укладывают следующий рыхлый слой, который при достижении 60—70 °С также уплотняют, и т. д., пока высота штабеля не достигнет 2—3 м. После уплотнения навоза температура его снижается до 30—35 °С и разложение соответствует плотному хранению. При таком способе хранения получается значительное количество жижи, полуперепревший навоз образуется через 1,5—2 мес, а перепревший — через 4—5 мес.

**Рыхлое (горячее) хранение.** Наблюдается только при отсутствии заботы об этом ценном удобрении. Кроме больших потерь азота и органического вещества плохое качество навоза при рыхлом хранении вызвано неравномерностью его разложения: в одних местах (обычно внутри куч) он сильно разлагается, в других (по краям) — пересыхает и остается плохоразложившимся. При таком бесхозяйственном хранении наблюдаются и максимальные потери жижи из навоза.

Следовательно, торфяная подстилка и плотные способы хранения навоза — основные приемы максимального снижения потерь органического вещества, жижи и азота из этого ценного местного удобрения (табл. 98).

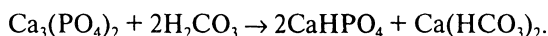
**98. Потери (%) органического вещества, жижи и азота соломистого и торфяного навоза за 4 мес при разных способах хранения**

| Способ хранения | Торфяной навоз        |       |      | Соломистый навоз      |       |      |
|-----------------|-----------------------|-------|------|-----------------------|-------|------|
|                 | Органическое вещество | Жижка | Азот | Органическое вещество | Жижка | Азот |
| Плотный         | 7,0                   | 0,6   | 1,0  | 12,2                  | 1,9   | 10,7 |
| Рыхлоплотный    | 32,9                  | 3,4   | 17,0 | 24,6                  | 5,1   | 21,6 |
| Рыхлый          | 40,0                  | 4,3   | 25,3 | 32,6                  | 10,5  | 31,4 |

Легкодоступным приемом увеличения выхода навоза и одновременно снижения потерь органического вещества, жижи и азота

даже при плотном хранении его является увеличение доз подстилочных материалов, а также устройство навозохранилищ с жижесборниками, резка соломы и применение торфа, особенно верхового. Для уменьшения потерь азота и повышения обеспеченности навоза доступными для растений фосфатами целесообразно добавлять к нему в процессе накопления и хранения фосфоритную муку. Этот прием, по данным ВИУА, снижает за 4 мес хранения навоза потери азота с 19,6 до 5,4 %, а органического вещества — с 58 до 43 %.

Добавление фосфоритной муки при хранении навоза — это способ эффективного применения наиболее дешевого фосфорного удобрения на нейтральных и близких к ним почвах, где одна фосфоритная мука неэффективна. Под влиянием угольной и органических кислот, образующихся при разложении навоза, трехзамещенные фосфаты этого удобрения переходят в растворимые в слабых кислотах, доступные растениям формы:



В опытах ВИУА с разными культурами на дерново-подзолистой суглинистой почве применение обогащенного в процессе хранения (компостированного) фосфоритной мукой навоза (3 % от массы) под картофель и озимую рожь в действии, а под яровую пшеницу и многолетние травы в последствии обеспечивало более высокие урожаи всех культур по сравнению с совместным применением их в тех же дозах без предварительного смешивания (компостирования).

Фосфоритную муку в количестве 1—4 % массы навоза (т. е. 10—40 кг на 1 т), но лучше столько, сколько требуется под культуру, удобряемую известной дозой навоза, можно добавлять в любое время с момента получения свежего навоза, но чем раньше, тем лучше. Для максимальной эффективности лучше всего добавлять ее в стойлах перед уборкой навоза, а при беспривязном содержании — сразу после внесения первого слоя подстилочного материала. В процессе работ по уборке, транспортировке и укладке навоза достигается наиболее длительное и полное перемешивание и взаимодействие муки с навозом, а при беспривязном содержании этот процесс усиливают сами животные.

Хранить подстилочный навоз можно в навозохранилищах и на специальных площадках в штабелях.

Существуют наземный (при близком залегании грунтовых вод) и котлованный типы навозохранилищ. Первый тип предпочтительнее, так как навозохранилище не заливается осадками и талыми водами. Но каждый из них должен соответствовать определенным требованиям: располагать навозохранилище следует на возвышенных, незатопляемых, согласованных с санитарно-эпидемиологическими станциями участках рельефа; оно

должно иметь водонепроницаемые, выдерживающие давление погрузочно-разгрузочных механизмов, дно и стены, водонепроницаемые жижеборники, расположенные и соединенные с учетом уклонов дна, удобные подъезд, въезд и выезд с соответствующими уклонами (обычно по узким сторонам хранилищ). Размеры навозохранилища зависят от количества скота, ожидаемых объемов навоза за стойловый период и высоты его укладки. Ориентировочно на 1 голову животного при плотном хранении навоза высотой 1,5 м в течение 3 мес необходима следующая площадь навозохранилища: для крупного рогатого скота 2,5 м<sup>2</sup>, в том числе для молодняка 1,5, для лошадей 2,0, свиней 0,8, овец и коз 0,3 м<sup>2</sup>. При двукратной за зимний период вывозке навоза из навозохранилища указанные площади уменьшают вдвое. Объем каждого жижеборника должен быть не менее 3—4 м<sup>3</sup>, а количество их определяется из расчета 1,3 м<sup>3</sup> на каждые 100 т навоза.

Укладку штабелей проводят так, чтобы навоз разной степени разложения не перемешивался. Для этого укладывают их с одного конца поперек хранилища, тогда на одном конце будут разложившиеся штабели (первые укладки), а далее к другому концу — все менее разложившиеся, что позволит использовать навоз желаемого качества.

Существует 8 вариантов проектов открытых навозохранилищ вместимостью 3,20 и 4,25 тыс. т подстилочного навоза с 2 колодцами-отстойниками и 2 жижеборниками объемом 20 м<sup>3</sup>, рассчитанных на шестимесячный срок хранения. Для районов избыточного увлажнения (> 600 мм осадков) существует 4 варианта проектов крытого двухсекционного хранилища вместимостью 2,2 и 3,1 тыс. т подстилочного навоза. Две секции предусмотрены для карантинной выдержки навоза в течение 5—6 мес.

Имеется несколько вариантов прифермских бетонированных площадок для плотного хранения навоза в штабелях шириной 5—6 м и высотой 2,5—3,0 м с несколькими секциями для навоза, торфа, для их смешивания и плотного хранения получаемой смеси (компоста).

Во всех проектах предусмотрена механизация работ по удалению, перемешиванию, транспортировке, укладке и уплотнению навоза. По организационно-экономическим причинам практикуется хранение навоза в полевых штабелях.

Вывозку из навозохранилищ, скотных дворов и ферм и укладку каждого штабеля навоза в поле зимой нужно выполнять за 1 день, иначе он промерзнет, что резко снизит его удобрительную ценность. Площадки в поле выбирают на возвышенных местах, очищают от снега и засыпают 20—25-сантиметровым слоем торфа или резаной соломы. Навоз укладывают штабелями шириной 3—4 м и более, высотой 2,0—2,5 м, которые располагают рядами на расстояниях ( $P_1$ , м), равных рабочему

ходу навозоразбрасывателя:

$$P_1 = \frac{10\,000}{D \cdot Ш} \Gamma,$$

где 10 000 — площадь 1 га, м<sup>2</sup>;  $D$  — доза навоза, т/га;  $Ш$  — ширина захвата разбрасывателя;  $\Gamma$  — грузоподъемность разбрасывателя, т.

Следует определить расстояния  $P_2$  между штабелями в каждом ряду:

$$P_2 = \frac{B \cdot Ш}{\Gamma},$$

где  $B$  — масса штабеля, т;  $Ш$  — ширина захвата, м;  $\Gamma$  — грузоподъемность разбрасывателя, т.

Для уничтожения прорастающих семян сорняков поверхность буртов навоза обрабатывают гербицидами в рекомендуемых дозах.

При беспривязном содержании скота и достаточном количестве подстилки навоз убирают из ферм, дворов и площадок во время внесения его под конкретную культуру. Более часто вывозку навоза при хранении его под скотом проводят только при недостатке подстилочных материалов.

### 6.1.2. ДЕЙСТВИЕ НАВОЗА НА ПОЧВУ И РАСТЕНИЯ

Навоз действует на почву и возделываемые на ней растения одновременно непосредственно и косвенно: обогащает их питательными элементами (азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера, микроэлементы и др.), углекислотой в почвенном и надпочвенном воздухе, различными микроорганизмами (в 1 г навоза содержится несколько миллионов бактериальных спор) и органическими веществами. Суммарное систематическое и длительное взаимодействие навоза, растений, микроорганизмов значительно улучшает физико-химические свойства и структуру почв: повышаются емкость поглощения (ЕКО), буферность, степень насыщенности основаниями и содержание подвижных форм питательных элементов, одновременно снижаются кислотность и содержание подвижных форм токсичных элементов (алюминия, марганца и др.). Улучшение перечисленных показателей плодородия и, следовательно, окультуренности почв, естественно, сопровождается значительным ростом урожайности возделываемых культур и улучшением качества получаемой сельскохозяйственной продукции.

По обобщению А. Д. Хлыстовского (1992), за 55—65 лет на неокультуренной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Долгопрудной агрохимической опытной станции им. Д. Н. Прянишникова умеренные дозы подстилочного навоза (в среднем

9 т/га за год) удваивали по сравнению с контролем без удобрений урожайность озимых ржи и пшеницы, картофеля, овса и трав, обеспечивая среднегодовую продуктивность севооборота 2,3—2,6 т/га зерн. ед., а при повышенных дозах (15 т/га) — 2,8—3,0 т/га зерн. ед.

В течение 52 лет подстильный навоз (при насыщенности 12 т/га) ежегодно оказывал нейтрализующее действие на кислотность почв, эквивалентное 100 кг/га  $\text{CaCO}_3$ , постоянно снижал в слое 0—20 см гидролитическую и обменную кислотность по сравнению с контролем на 0,5 мг · экв/100 г, содержание алюминия в 2 и более раз, повышал сумму поглощенных оснований не менее чем на 1 мг · экв/100 г почвы и степень насыщенности основаниями на 10 %. Нейтрализующее действие навоза в меньшей степени, но достоверно проявилось и в подпахотном горизонте (20—40 см) почвы.

Содержание гумуса в систематически унавоживаемой более 50 лет почве по сравнению с контролем без удобрений уже через 15 лет было постоянно выше в пахотном горизонте не менее чем на 0,2 % углерода и общего азота на 0,02—0,05 %, в подпахотном горизонте (20—40 см) изменения содержания азота были такими же, а по углероду в 4—5 раз меньше.

Содержание подвижного фосфора в почве (по Кирсанову) под влиянием навоза уже через 4 года в пахотном слое увеличилось на 12 мг/кг по сравнению с контролем без удобрений, в последующем оно с колебаниями возрастало, и через 52 года эта разница составила при насыщенности 9 т/га навоза 16 мг/кг, а при 15 т/га навоза — 24 мг/кг. При этом соответственно возрастала степень подвижности фосфатов. Через 40 лет аналогичные изменения в содержании подвижных форм и степени подвижности фосфатов были обнаружены и в подпахотном горизонте.

В течение 52 лет умеренные дозы навоза (в среднем 9 т/га) повышали по сравнению с контролем без удобрений содержание обменного калия в пахотном слое на 15—36 мг/кг, а повышенные дозы (15 т/га) за последние 18—20 лет — еще на 16 мг/кг. В подпахотном горизонте (20—40 см) под влиянием навоза содержание обменного калия через 40 лет увеличилось не менее чем на 100 мг/кг, а через 50 лет — еще на 20 мг/кг и более.

Не менее убедительны и данные В. А. Францессона о влиянии степени и длительности удобрения подстильным навозом на агрохимические свойства дерново-среднеподзолистой почвы совхоза «Грибово» Московской области (табл. 99).

**99. Агрохимические показатели почвы совхоза «Грибово» при разных степени и длительности удобрения ее навозом**

| Образцы почвы                    | S                  | Hr  | ЕКО  | V, % | pH <sub>сол</sub> | Подвиж-<br>ный<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Обмен-<br>ный<br>K <sub>2</sub> O |
|----------------------------------|--------------------|-----|------|------|-------------------|---|-----------------------------------|
|                                  | мг-экв/100 г почвы |     |      |      |                   | мг/кг   |                                   |
| Неокультуренная (из-под леса)    | 6,6                | 5,5 | 12,1 | 54   | 4,2               | 23  | 140                               |
| Поле (мало удобрявшееся навозом) | 8,0                | 4,6 | 12,7 | 63   | 4,5               | 45  | —                                 |



Продолжение

| Образцы почвы   | S                  | Hг  | ЕКО  | V, % | pH <sub>сол</sub> | Подвиж-<br>ный<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Обмен-<br>ный<br>K <sub>2</sub> O |
|---|--------------------|-----|------|------|-------------------|---|-----------------------------------|
|   | мг-экв/100 г почвы |     |      |      |                   | мг/кг   |                                   |
| Приусадебный участок (систематически применяли навоз) | 14,5               | 4,3 | 18,8 | 77   | 5,3               | 195   | 190                               |
| Огород (сильно унавоживали)                           | 18,7               | 2,8 | 21,5 | 86   | 5,5               | 900   | 612                               |
| Старый огород (длительно и сильно унавоживали)        | 44,4               | 0,4 | 44,8 | 99   | 6,8               | 1920  | 805                               |

Как видно из данных таблицы 99, повышение насыщенности посевов навозом и переход к систематическому применению возрастающих доз его существенно улучшают агрохимические показатели и, следовательно, плодородие и уровень окультуренности бедной дерново-подзолистой почвы, а сочетание систематического внесения высоких доз его с известкованием превращает бедную почву в очень плодородную, не отличающуюся по агрохимическим показателям от черноземов. Разумеется, это делать абсолютно не обязательно и, как правило, экономически убыточно, а экологически вредно и опасно. С учетом экономических возможностей следует повышать плодородие бедной конкретной почвы до оптимального уровня, обеспечивающего получение максимальной (по среднесулетним данным) продуктивности возделываемых культур хорошего качества при квалифицированном научно обоснованном применении удобрений и мелиорантов без дальнейшего повышения агрохимических показателей почвы.

Усвояемость растениями азота, фосфора и калия навоза зависит от вида и качества его, свойств конкретной почвы и климатических условий конкретной территории. Навоз содержит все необходимые растениям питательные элементы, но в разных количествах и формах, а так как растения потребляют минеральные формы, то степень доступности их из навоза зависит от исходных количеств минеральных форм, а также содержания и скорости минерализации органических форм элементов в нем.

Содержание и формы азота в навозе каждого вида животных определяют соотношением в нем твердых, жидких выделений и подстилочного материала. Азот кала и подстилки содержит медленно разлагающиеся азотистые соединения и поэтому малодоступен растениям в первый год, а мочи — легкорастворимые, быстро превращающиеся в аммиак формы и легко доступны растениям сразу после внесения. Чем больше мочи и аммиака поглощает подстилка, тем больше в навозе общего и аммиачного азота, поэтому торфяной навоз и другой, хранящийся (или укрытый) с торфом, наиболее богаты и общим, и аммиачным азотом. В полупрепревшем навозе плотного хранения содержание общего азота в зависимости от вида животных и качества кормов колеблется от

0,3 до 1,0 %, а аммиачного в зависимости от вида и количества подстилки — от 20 до 40 % от общего азота.

Считается, что в первый год из навоза растения усваивают весь аммиачный азот. В действительности же это зависит и от содержания углеводов в навозе, и от времени между внесением навоза и началом интенсивного потребления его культурами. При большом количестве углеводов развивающаяся на них микрофлора потребляет и аммиачный азот навоза, следовательно, усвоение его растениями будет меньше. При заблаговременном внесении навоза в пару или под основную обработку почвы осенью он разлагается полнее и культуры усваивают из него больше азота, чем при предпосевном и весеннем внесении.

В сравнении с минеральными удобрениями общий азот навоза первой культурой усваивается в среднем в 3 раза слабее, однако однажды внесенный может обеспечить (в той или иной степени) этим элементом культуры в течение не менее 3—4 лет, а иногда значительно дольше в зависимости от дозы и качества навоза и почвенно-климатических условий.

Использование азота подстилочного навоза в первый год при прочих равных условиях наиболее значительно (в среднем 30 % от общего) из овечьего (козьего) навоза, заметно меньше из конского (20 %) и навоза крупного рогатого скота (18 %) и минимально (10 %) из свиного, хотя при обильном откорме свиней использование азота из него в первый год может превысить 20 % общего содержания.

Фосфор навоза практически весь находится в составе твердых выделений животных и подстилки и усваивается растением по мере их минерализации. Благодаря защитному воздействию органических веществ навоза минерализованный в нем фосфор значительно меньше подвергается химическому закреплению почвой, дольше остается в усвояемых для растений формах, чем фосфор минеральных удобрений. Поэтому уже в первый год после внесения в эквивалентных дозах фосфора из навоза растения потребляют в 1,5—2,0 раза больше (в среднем 35 % от общего), чем из минеральных удобрений.

Усвоение растениями фосфора навоза в зависимости от дозы и качества последнего и почвенно-климатических условий продолжается 3—4 года и более. Причем за более продолжительный период первоначальное преимущество фосфора навоза перед минеральными удобрениями постепенно уменьшается и в сумме за все годы может превратиться в равноценное усвоение растениями.

Калий во всех компонентах подстилочного навоза находится в наиболее подвижных и легкоусвояемых для растений формах. В отличие от хлорсодержащих минеральных удобрений калий навоза представлен практически бесхлорными формами, что особенно важно для чувствительных к хлору культур — табака, винограда, картофеля и др. Калий навоза усваивается растениями в первый

год практически так же, как из эквивалентной дозы минеральных удобрений. Суммарное действие его в навозе для практических целей следует учитывать в среднем 3—4 года или более (при увеличении доз навоза и на более плодородных почвах). Продолжительность действия на культуры калия навоза и минеральных удобрений в эквивалентных дозах за несколько лет обычно бывает близкой или с некоторым преимуществом навоза и зависит от состава возделываемых культур, доз удобрений и почвенно-климатических условий.

При разложении навоза одновременно с минерализацией азота, фосфора и серы не менее 70 % углерода органического вещества превращается в диоксид углерода, а оставшийся углерод (около 30 %) расходуется на новообразование гумуса почвы. Диоксид углерода, образуя в почвенном растворе угольную кислоту, повышает подвижность (растворимость) почвенных фосфатов и кальция, что улучшает питание растений этими (и другими) элементами, а кальций благодаря коагуляции коллоидов улучшает структуру почвы. Выделяющийся из почвы диоксид углерода (30—40 т навоза при разложении ежедневно выделяют 35—55 кг  $\text{CO}_2$ ) обогащает припочвенный атмосферный воздух и улучшает воздушное питание растений. Все стелющиеся (огурец, кабачок, тыква и др.) и другие культуры при плотном (густом) травостое почти полностью поглощают выделяющийся из почвы диоксид углерода, в том числе и разлагающегося навоза. Для культур, возделываемых в условиях закрытого грунта (теплицы, парники), особенно важно улучшение питания углекислотой при разложении навоза и других органических удобрений.

Усвояемость растениями других питательных элементов навоза (кальция, магния, серы, микроэлементов и др.), как правило, не хуже, если не лучше, чем из соответствующих минеральных удобрений. Длительность усвоения определяется дозами и качеством навоза, составом и продуктивностью культур и почвенно-климатическими условиями агроландшафтов.

Итак, общий азот навоза усваивается первой удобряемой культурой примерно в 3 раза хуже, чем из минеральных удобрений, фосфор — в 1,5—2,0 раза лучше, а калий — так же как из минеральных. Поэтому для получения высокого урожая культур хорошего качества при внесении под них навоза, как правило, следует дополнительно вносить и минеральные азотные удобрения.

Необходимость дополнять навоз прежде всего азотными минеральными удобрениями подтверждается и конкретными расчетами. Если, например, общее содержание в полуперепревшем навозе азота составляет 0,5 %, фосфора — 0,25 и калия — 0,6 %, то при внесении 20 т/га его в почву попадет 100 кг/га азота, 50 кг/га фосфора и 120 кг/га калия. При средних в первый год размерах усвоения культурами усваивается соответственно: азота (30 %) 30 кг/га,

фосфора (35 %) 17,5 кг/га и калия (60 %) 72 кг/га при соотношении  $N : P_2O_5 : K_2O$ , равном 1,7 : 1 : 4,1.

Подавляющее большинство сельскохозяйственных культур (за исключением калиелюбивых) для получения урожаев хорошего качества больше всего потребляет азота, затем калия и меньше всего фосфора в следующих ( $N : P : K$ ) соотношениях: зерновые колосовые 2,8 : 1 : 1,9, травы 3,5 : 1 : 3,0, крупяные 3 : 1 : 3, зернобобовые 5 : 1 : 2, прядильные 2,0 : 1 : 1,5 и т. д. Калиелюбивые культуры потребляют калия больше азота, и соотношение  $N : P : K$  составляет соответственно: картофель 3 : 1 : 4, корнеплоды 3—4 : 1 : 4—6, подсолнечник 2 : 1 : 6—7 и т. д. Как видно из приведенных расчетов соотношений элементов для всех культур, включая калиелюбивые (кроме подсолнечника), при удобрении их навозом нужны прежде всего дополнительные количества азота минеральных удобрений.

### 6.1.3. ПРИМЕНЕНИЕ НАВОЗА

Применение навоза начинают с распределения имеющихся ресурсов его в каждом хозяйстве по севооборотам и внесевооборотным участкам в следующем порядке: овощные, кормовые (прифермские), полевые — с учетом специализации по наиболее ценным культурам и удаленности от животноводческих ферм, выгонов и площадок.

В пределах каждого агроценоза устанавливают дозы и место внесения навоза с учетом ряда факторов: неодинаковой отзывчивости культур на это удобрение и длительности его действия, организационно-технических возможностей для качественного внесения и заделки удобрения в почву, максимально возможной экономической эффективности и экологической безопасности.

Овощные культуры наиболее требовательны к плодородию почв (5-й класс); многие из них используют как продукты питания без всякой обработки, но отзывчивость на органические удобрения у них неодинакова. На органические удобрения по сравнению с минеральными (при эквивалентных дозах элементов) среди них лучше отзываются стелющиеся (огурец, кабачок, тыква, дыня и т. д.), лук, чеснок, капуста белокочанная (средняя и поздняя), цветная, зеленые культуры и редис.

Кормовые культуры, как правило, располагают вблизи ферм (в прифермских севооборотах), поэтому транспортные расходы по внесению навоза здесь минимальны. Отзывчивость на органические удобрения по сравнению с минеральными выше у следующих кормовых культур: кукуруза, однолетние и особенно многолетние травы и кормовые корнеплоды (свекла, турнепс, брюква, морковь).

В полевых севооборотах при удобрении навозом овощных и

кормовых культур на него лучше, чем на минеральные удобрения, отзываются кукуруза на зерно и сахарная свекла.

В полевых севооборотах навоз традиционно применяют также под картофель и озимые зерновые. Однако, по данным длительных (более 50 лет) полевых опытов Долгопрудной агрохимической опытной станции, при эквивалентных по питательным элементам дозах под картофель навоз и минеральные удобрения равноценны, а под озимыми (и яровыми) зерновыми культурами навоз значительно уступает минеральным удобрениям.

Наиболее качественное внесение и заделка навоза под любую культуру севооборота наблюдаются в чистых и занятых парах и после рановубираемых предшественников.

Максимально возможная экономическая эффективность и экологическая безопасность определяются дозами и способами внесения навоза под каждую культуру, уровнями достигнутой при этом продуктивности культур и конъюнктурой рынка на произведенную продукцию.

Дозы навоза зависят от количества и качества его, способов внесения, биологических особенностей возделываемых культур и возможных уровней продуктивности последних. Но при этом они должны быть экономически выгодными и экологически безопасными.

Минимальные дозы навоза на бедных (слабокультуренных) почвах при допосевном (основном) внесении сплошным методом с немедленной заделкой на глубину обработки почвы в зонах достаточного (и избыточного) увлажнения 20 т/га, на плодородных (окультуренных) почвах и в зонах недостаточного увлажнения 10 т/га. При локализации основного внесения навоза (в борозды, ряды) минимальные дозы его уменьшают в 2 раза, а при локальном внесении при посадке (в лунки) — в 4 раза. Локализация, а также уменьшение доз при любом способе внесения навоза резко повышают оплату единицы его прибавками урожаев первой удобряемой культурой во всех почвенно-климатических зонах (табл. 100).

**100. Прибавки урожайности клубней картофеля (т/га) в зависимости от доз и способов внесения навоза (по данным ВИУА)**

| Способ внесения и доза навоза,<br>т/га | Суглинистая почва |        | Супесчаная почва |        |
|--|-------------------|--------|------------------|--------|
|  | всего             | на 1 т | всего            | на 1 т |
| Сплошное внесение:                     |                   |        |                  |        |
| 40                                     | 7,0               | 0,17   | 14,4             | 0,36   |
| 20                                     | 4,8               | 0,24   | 11,3             | 0,56   |
| Локально в борозду:                    |                   |        |                  |        |
| 20                                     | 7,5               | 0,38   | 14,3             | 0,72   |
| 10                                     | 4,4               | 0,44   | 9,2              | 0,92   |
| Локально в лунку, 5                    | 2,6               | 0,52   | 7,7              | 1,54   |

На легких (бедных) почвах общая прибавка в 1,5—2,0, а оплата

каждой тонны в 2—3 раза выше, чем на суглинистых (более плодородных) почвах. Локализация навоза при внесении вдвое меньших доз обеспечивает под первой культурой практически такую же прибавку продукции, как вдвое бóльшая доза при сплошном внесении, а оплата навоза при этом возрастет почти в 2 раза.

С увеличением доз навоза возрастают прибавки урожаев не только первой, но и последующих на этом поле культур (последствие). Поэтому оценку действия любой дозы навоза следует учитывать за все годы достоверного воздействия его на все культуры севооборота. Во всех почвенно-климатических зонах с увеличением доз навоза последствие его проявляется более значительно, чем прямое действие (табл. 101).

Систематическое внесение в любом севообороте малых и повышенных доз навоза из ротации в ротацию увеличивает разницу в эффективности их применения в результате возрастающей эффективности последствия повышенных доз навоза.

**101. Прибавки урожайности первой и последующих культур севооборота при разных дозах навоза (по данным ВИУА)**

| Культура       | Доза навоза под первую культуру, т/га |      | Увеличение прибавки с ростом дозы навоза, % |
|----------------|---------------------------------------|------|---|
|                | 20                                    | 40   |   |
| Озимая пшеница | 0,56                                  | 0,72 | 29  |
| Картофель      | 2,7                                   | 4,6  | 67  |
| Яровая пшеница | 0,32                                  | 0,56 | 75  |

При любой обеспеченности навозом (и другими органическими удобрениями) в пределах каждого агроценоза оптимальные дозы навоза (под одной или двумя культурами) устанавливают после предварительной оценки экономической эффективности каждого из возможных вариантов.

Следует всегда помнить, что чем беднее почвы и выше планируемый урожай культур и продуктивность севооборота, тем эффективнее более высокие дозы органических удобрений.

В качестве примера рассмотрим рекомендуемые Научно-исследовательским институтом овощного хозяйства дозы органических удобрений под некоторые, наиболее отзывчивые на них культуры на почвах средне- (5-й класс) и повышенно-обеспеченных (6-й класс) питательными элементами (табл. 102).

**102. Средние дозы органических удобрений (т/га) под овощные культуры**

| Культуры                                 | Дерново-подзолистая суглинистая почва |           | Пойменная суглинистая почва |           |
|--|---------------------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|
|  | 5-й класс                             | 6-й класс | 5-й класс                   | 6-й класс |
| Огурец                                   | 80                                    | 60        | 80                          | 60        |
| Капуста белокочанная (средняя и поздняя) | 60                                    | 40        | 60                          | 40        |

Продолжение

| Культуры        | Дерново-подзолистая<br>суглинистая почва |           | Пойменная суглинистая<br>почва |           |
|-----------------|--|-----------|--------------------------------|-----------|
|                 | 5-й класс                                | 6-й класс | 5-й класс                      | 6-й класс |
| Капуста цветная | 40                                       | 30        | 40                             | 30        |
| Лук репчатый    | 40                                       | 30        | 30                             | 20        |
| Зеленные        | 40                                       | 30        | 40                             | 30        |
| Редис           | 30                                       | 20        | 30                             | 20        |

Дозы органических удобрений следует увеличивать и с ростом планируемых урожаев возделываемых культур. Для центральных областей Нечерноземной зоны можно рекомендовать дифференцированные по уровням возможных урожаев дозы органических удобрений под наиболее отзывчивые и традиционно удобряемые культуры (табл. 103).

**103. Дозы органических удобрений (т/га) в зависимости от планируемой урожайности культур на нечерноземных почвах Центрального района России**

| Культура, продукция               | Плановая<br>урожайность,<br>т/га | Доза органических удобрений |           |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------|
|                                   |                                  | средняя                     | интервалы |
| Корнеплоды                        | < 25                             | 30                          | 20—40     |
|                                   | 25—50                            | 40                          | 30—50     |
|                                   | > 50                             | 50                          | 40—60     |
|                                   | < 40                             | 30                          | 20—40     |
| Капуста средняя и поздняя, кочаны | 40—60                            | 40                          | 30—50     |
|                                   | > 60                             | 50                          | 40—60     |
|                                   | < 25                             | 25                          | 20—30     |
| Силосные, зеленая масса           | 25—40                            | 35                          | 30—40     |
|                                   | 40—60                            | 45                          | 40—50     |
|                                   | < 16                             | 20                          | 15—25     |
| Картофель, клубни                 | 16—20                            | 30                          | 20—40     |
|                                   | 20—30                            | 40                          | 30—50     |
|                                   | < 3,5                            | 20                          | 15—25     |
| Озимые зерновые, зерно            | > 3,5                            | 30                          | 25—35     |

Научно-исследовательские и проектно-изыскательские учреждения по почвенно-климатическим зонам и административным территориям России разрабатывают (уточняют) более детальные рекомендации по дозам навоза и других органических удобрений с учетом плодородия почв, уровня планируемых урожаев культур и районированных сортов.

Увеличение доз навоза и других органических удобрений не может быть безграничным, так как чрезмерно большие дозы экономически убыточны и экологически опасны. Максимально допустимые дозы (величины их зависят от качества удобрения, видов и продуктивности культур, уровня плодородия и свойств почв и климатических условий) в каждом конкретном случае должны

быть экономически выгодны (обеспечивать получение плановых урожаев культур хорошего качества и ожидаемой прибыли) и экологически безопасны (количество питательных элементов удобрений должно удовлетворять потребности в них возделываемых культур с одновременным поддержанием оптимальных параметров плодородия почв и предотвращением загрязнений ими всех сопредельных сред).

Требования к степени разложения навоза в момент его внесения в почву зависят от почвенно-климатических условий и биологических особенностей удобряемых им культур. В засушливых районах чаще вносят перепревший навоз, в Нечерноземье — полуперепревший, а при осеннем внесении здесь эффективен и свежий навоз.

Ранние сорта, отзывчивые на органические удобрения, и культуры с коротким периодом вегетации во всех зонах удобряют более разложившимся навозом, поздние — менее разложившимся.

Эффективность навоза под первой культурой очень сильно снижается с увеличением времени между внесением и заделкой его в почву, так как разбросанный и не заделанный в течение 10—20 ч навоз теряет содержащийся в нем аммиачный азот.

Глубина заделки навоза в почву при допосевном внесении колеблется от 15 до 30 см в зависимости от почвенно-климатических условий и степени его разложения. При мелкой заделке во влажной почве разложение навоза ускоряется, при глубокой — замедляется. При недостатке влаги (и в засушливых условиях) мелкая заделка замедляет разложение навоза и еще более иссушает почву. На тяжелых по гранулометрическому составу почвах требуется относительно мелкая заделка навоза, на легких — более глубокая.

Эффективность навоза в действии на первую и последующие культуры севооборота (последствие) снижается при переходе от бедных к более плодородным почвам и с уменьшением влагообеспеченности (табл. 104).

**104. Прибавки урожайности (т/га зерн. ед.) возделываемых культур в зависимости от действия и последствия навоза**

| Зона          | Действие на первую культуру | Последствие        |                    | Сумма за 3 года |
|---------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
|               |                             | на вторую культуру | на третью культуру |                 |
| Нечерноземная | 0,65                        | 0,34               | 0,25               | 1,24            |
| Черноземная   | 0,45                        | 0,40               | 0,32               | 1,17            |
| Юго-восточная | 0,22                        | 0,35               | 0,20               | 0,77            |

Длительность последствия в пределах каждой почвенно-климатической зоны зависит при прочих равных условиях от гранулометрического состава почвы. На песчаных и супесчаных разностях суммарное действие навоза в севообороте 3—4 года, на легко- и среднесуглинистых 6—8 лет, на тяжелосуглинистых и глинистых 10—12, иногда 16 лет.



По действию на урожай культур и продуктивность севооборотов навоз не уступает эквивалентному количеству минеральных удобрений, а на легких, бедных органическим веществом почвах даже превосходит их. Преимущество навоза на легких почвах сохраняется и на известкованных дерново-подзолистых разностях их. На хорошо обеспеченных гумусом почвах положительное влияние органического вещества навоза не наблюдается, но и преимущество минеральных удобрений не превышает 5—10 %, т. е. заметно меньше, чем преимущество навоза на бедных гумусом почвах (табл. 105).

**105. Действие навоза и эквивалентных количеств минеральных удобрений на продуктивность севооборотов (т/га зерн. ед.) на разных почвах (по данным ВИУА)**

| Почвы   | Число ротаций севооборота | Урожай на контроле | Прибавка урожая |                      | Разница (больше +, меньше -) |
|---|---------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
|   |                           |                    | по навозу       | по минеральным тукам |                              |
| Дерново-подзолистые песчаные и легкосуглинистые | 26                        | 1,54               | 1,13            | 0,94                 | +0,19                        |
| Те же, известкованные                           | 15                        | 1,46               | 1,49            | 1,21                 | + 0,28                       |
| Дерново-подзолистые тяжело- и среднесуглинистые | 26                        | 1,41               | 0,96            | 0,98                 | -0,02                        |
| Черноземы                                       | 11                        | 2,57               | 0,57            | 0,69                 | - 0,12                       |
| Окультуренные (по зарубежным данным)            | 90                        | 1,80               | 1,68            | 1,85                 | - 0,17                       |

Наивысший эффект наблюдается обычно под всеми культурами и на всех почвах при сочетании навоза (органических удобрений) с минеральными удобрениями. Причем даже в половинных дозах совместное применение удобрений всегда обеспечивает прибавки урожаев более высокие, чем раздельное применение удвоенных доз тех или других удобрений. Однако на практике из-за недостатка органических удобрений приходится применять навоз (и другие органические удобрения) под одну-две, а чаще только одну культуру севооборота, а под последующие с учетом последнего действия добавлять только минеральные удобрения.

#### 6.1.4. БЕСПОДСТИЛОЧНЫЙ НАВОЗ

*Бесподстилочный навоз* — полидисперсная суспензия твердых и жидких выделений животных (нередко с примесью воды) с текучими свойствами. Текучесть навоза значительно упрощает уборку его из животноводческих помещений, создает условия для полной механизации этих трудоемких работ.

В зависимости от содержания воды, что обусловлено технологией его удаления, бесподстилочный навоз делят на полужидкий

(до 90 %), жидкий (90—93 %) и навозные стоки (более 93 %). Увеличение влажности навоза сопровождается значительным ростом объемов его. Например, при увеличении влажности на 2 % (с 90 до 92 %) объем возрастает на 25 %, при увеличении на 4 % (до 94 %) — на 65—70 %, при увеличении на 6 % (до 96 %) объем возрастает в 2,5 раза и т. д. Следовательно, повышение влажности навоза приводит к серьезным экономическим и материально-техническим последствиям накопления, хранения, транспортировки и внесения (скорее уже утилизации) громадных объемов этого удобрения.

Состав свежего полужидкого бесподстилочного навоза и куриного помета, по средним данным ВИУА (табл. 106), при кормлении животных на комплексах согласно существующим рекомендациям свидетельствует о высокой питательной ценности этих удобрений для растений.

**106. Содержание сухого вещества и питательных элементов (%) в полужидком навозе и помете (по данным ВИУА)**

| Показатель          | Крупный рогатый скот |                 | Свиньи,<br>108 тыс.<br>голов | Овцы | Куриный помет |                          |
|---------------------|----------------------|-----------------|------------------------------|------|---------------|--------------------------|
|                     | 10 тыс.<br>бычков    | 2 тыс.<br>коров |                              |      | сырой         | термически<br>высушенный |
| Сухое вещество      | 14,5                 | 10,0            | 9,8                          | 28,3 | 36,0          | 83,0                     |
| Общий азот (N)      | 0,77                 | 0,43            | 0,72                         | 0,95 | 2,10          | 4,5                      |
| Фосфор ( $P_2O_5$ ) | 0,44                 | 0,28            | 0,47                         | 0,22 | 1,44          | 3,7                      |
| Калий ( $K_2O$ )    | 0,76                 | 0,50            | 0,21                         | 0,75 | 0,64          | 1,70                     |

Содержание аммиачного азота в бесподстилочном навозе составляет 50—70 % от общего. Следовательно, первую удобряемую культуру это удобрение обеспечивает азотом не менее чем в 2—3 раза лучше, чем эквивалентная по общему азоту доза подстилочного навоза.

Фосфор и калий бесподстилочного навоза при внесении в эквивалентных по этим элементам дозах по действию на растения равноценны подстилочному навозу.

Содержание сухого вещества и питательных элементов в бесподстилочном навозе значительно уменьшается пропорционально возрастающим объемам при разбавлении его водой. Потери азота из него при хранении в течение 3—4 мес, по данным ВИУА, составляют 10—12 %.

Органическое вещество составляет 70—80 % сухой массы бесподстилочного навоза, а соотношение С : N значительно уже, чем в подстилочном, поэтому он быстрее минерализуется и лучше обеспечивает не только азотом, но и другими элементами первую удобряемую культуру. По этой же причине бесподстилочный навоз обладает более коротким последствием на культуры и при эквивалентных по содержанию органического вещества количе-

ствах на 40 % слабее, чем подстилочный, участвует в новообразованиях гумуса почв.

**Накопление и хранение бесподстилочного навоза.** Количество бесподстилочного навоза можно определять разными методами: при стабильной структуре стада — по нормативам выхода экскрементов у различных групп животных (см. табл. 93 и данные справочников):

$$\text{полужидкий навоз} \frac{(\text{кал} + \text{моча}) D \mathcal{C}}{1000} = \text{м}^3;$$

$$\text{жидкий навоз} \frac{(\text{кал} + \text{моча} + \text{вода}) D \mathcal{C}}{1000} = \text{м}^3,$$

где (кал + моча) — количество экскрементов в сутки от конкретной головы скота, кг;  $D$  — продолжительность стойлового периода, дни;  $\mathcal{C}$  — численность поголовья; 1000 — для перевода в м<sup>3</sup>; (кал + моча + вода) — суточное количество экскрементов плюс количество воды при данной технологии, кг.

Другой вариант расчета основан на результатах анализов и данных балансовых опытов:

$$G = \left[ (C - P) \frac{100 - K}{100} + P \right] \cdot 10,$$

где  $G$  — годовой выход экскрементов, т;  $C$  — годовой расход сухого вещества рационов, т;  $P$  — годовые потери сухого вещества при кормлении, т;  $K$  — коэффициент переваримости кормов, % (для КРС 60 %, свиней 70 %); 10 — содержание сухого вещества в экскрементах, %.

Существуют и другие (см. соответствующие справочники) способы определения выходов (накопления) бесподстилочного навоза и помета.

Разнообразные технологии, сооружения и технические средства для уборки, обеззараживания, дезодорации, хранения, транспортировки и внесения бесподстилочного навоза в разных почвенно-климатических условиях существенно влияют на состав, свойства и удобрительную ценность навоза, навозных стоков и продуктов их обработки. Из множества факторов, влияющих на удобрительную ценность бесподстилочного навоза, наиболее важными являются: способы удаления, т. е. степень разбавления водой, и разделение на фракции, а также анаэробная и термическая обработки.

При хранении бесподстилочного навоза влажностью более 90 % он расслаивается на три слоя: верхний, плавающий (остатки кормов и часть твердых экскрементов) влажностью 78—84 %, почти не содержит аммиачного азота; нижний — осевшие твердые частицы навоза, песка, ила влажностью 84—88 % и мало аммиач-

ного азота; средний между верхним и нижним — осветленная жидкость (88—94 % воды), богатая аммиачным азотом.

Для качественных работ по погрузке, транспортировке и внесению необходимо перемешивание — гомогенизация бесподстилочного навоза в хранилищах с помощью специальных устройств.

При подготовке к использованию для удобрительных поливов навоз разделяют на твердую и жидкую фракции обычно с помощью естественного отстаивания, реже путем фильтрования, процеживания, декантации, прессования и сепарирования, еще реже путем электрической и химической коагуляции. При естественном отстаивании в жидкую фракцию попадает тем больше питательных веществ, чем выше разбавление навоза (стоков) водой — при влажности навозных стоков 98 %; по данным ВИУА, в отстоявшейся жидкой фракции содержится 71 % общего и 78 % аммиачного азота, 37 % фосфора и 82 % калия.

*Термическая обработка* — надежное средство обеззараживания и дегельминтизации бесподстилочного навоза и помета, основанное на свертывании белков (в том числе бесспоровых микроорганизмов, яиц и зародышей гельминтов) при температуре более 56 °С. Прогрев в течение суток при температуре 56 °С практически не вызывает потерь азота из бесподстилочного навоза (стоков) и помета, а высушивание до постоянной массы при 105 °С приводит к потерям 50—75 % общего и 95—99 % аммиачного азота.

Высокоэффективна термическая обработка птичьего (куриного) помета, которая, не снижая удобрительных свойств, превращает его в высококонцентрированное (так как содержание сухого вещества и питательных элементов в помете в 4—5 раз больше, чем в навозе), быстродействующее органическое удобрение с благоприятными физико-механическими свойствами.

*Анаэробная обработка* — эффективный способ обеззараживания, дегельминтизации и дезодорации навоза с помощью метановых бактерий при температуре 30—32 °С (мезофильный режим) или 56—58 °С (термофильный режим), причем последняя предпочтительнее, так как здесь за трое суток гибнут яйца гельминтов, мух и возбудителей заразных болезней. По удобрительной ценности сброженный навоз почти не отличается от исходного, а полученный при этом метан — прекрасное отопительное средство в быту и на производстве.

*Обработка формалином* в дозах 1—5 л на 1 т навоза обеззараживает его, замедляет микробиологические процессы (т. е. снижает скорость минерализации), устраняет зловонный запах, снижает потери азота, так как с аммиачным азотом формалин образует гексаметиленetetрамин (уротропин) — медленно действующее азотное удобрение, тормозит при внесении такого навоза в течение трех месяцев нитрификацию азота почвы и связанные с ней возможные потери азота.

Объем навозохранилища зависит от выхода навоза и длитель-

ности периода, в течение которого его нельзя использовать на удобрение (осенне-весеннее бездорожье, отсутствие свободных полей и др.), и, как правило, обеспечивает в зависимости от климата 2—6-месячное хранение.

Для повышения надежности работы насосов, трубопроводов и дождевальных установок при удобрительных поливах навоз после карантинирования лучше разделить на фракции и предусмотреть рациональное сочетание поливов с внесением его цистернами-разбрасывателями на непригодных для орошения площадях.

**Применение навоза.** Зависит от состава его и транспортных возможностей. При этом необходимо соблюдать следующее:

навоз нельзя долго не использовать для удобрения, так как это приводит к переполнению хранилищ, загрязнению окружающей среды и распространению инфекций и инвазий; дозы его определяют по результатам содержания питательных элементов для получения планируемых урожаев культур с одновременным регулированием окультуренных почв; применяют навоз на полях, где можно быстро заделать его в почву;

осенью на малоемких почвах (песчаные, супесчаные, легкосуглинистые) его вносят с соломой (торфом) или под озимые (вставочные, промежуточные) культуры для предотвращения вымывания питательных элементов; зимой избегают внесения на затопляемых весной площадях и на склонах;

при углублении пахотного горизонта навоз вносят на вывернутый слой под перепашку и дискование;

в засушливых регионах навоз вносят под отвальную обработку, которую чередуют с безотвальной; минимальные дозы при сплошном внесении гомогенизированного навоза под пропашные 25 т/га, под зерновые культуры 15 т/га; меньшие дозы недостаточно эффективны, и их сложно равномерно вносить.

За счет допосевого внесения навоза целесообразно удовлетворять 50—80 % (в зависимости от вида и продуктивности растений) потребности культур в азоте.

Для удобрительных поливов вегетирующих растений навоз в период внесения разбавляют водой в 6—8 раз, а во вневегетативный период — в 2—4 раза. Дренажные воды с орошаемых разбавленным навозом площадей для предотвращения загрязнений водных источников желательно направлять на повторные орошения.

Для предотвращения загрязнения поверхностных и грунтовых вод на унавоживаемых площадях следует сочетать внесение навоза с измельченной соломой, а с помощью промежуточных и вставочных посевов различных культур (рапс, сурепица, горчица и др.) — содержать их постоянно занятыми растениями, перехватывающими подвижные формы питательных элементов и навоза, и почвы.

Дозы бесподстилочного навоза определяют по потребности возделываемых культур в азоте с учетом содержания его в конкретном удобрении. Дозы азота для разных культур в зависимости

от уровня продуктивности их колеблются от 120 до 360 кг/га. Бесподстилочный навоз можно применять не только до посева (осенью, зимой или весной), но и в подкормки под пропашные, кормовые и другие культуры (кроме овощных).

Допосевное внесение бесподстилочного навоза в почву по оросительно-осушительным магистралям и установкам или цистернами-разбрасывателями с последующей заделкой при больших дозах ( $> 150$  кг/га N) сочетают с подкормками такими же устройствами на многих культурах. Однако чаще его применяют на многолетних злаковых и злаково-бобовых травах в севооборотах, на лугах и пастбищах после укосов (или скармливаний) равными частями (по числу этих операций) от общей дозы.

Усвоение растениями азота, фосфора и калия в год внесения бесподстилочного навоза возрастает не менее чем в 2 раза при заделке его в почву в сравнении с разбрасыванием по поверхности без заделки и практически не отличается от полуперепревшего подстилочного навоза плотного хранения (25—30 % от общего N, 20—30 %  $P_2O_5$  и 40—60 %  $K_2O$ ).

## 6.2. НАВОЗНАЯ ЖИЖА

Это перебродившая моча животных, стекающая в жижесборники животноводческих помещений и навозохранилищ. Общее количество ее в среднем составляет 10—15 % массы свежего навоза, но резко изменяется в зависимости от способа хранения его.

По данным ВИУА, из 10 т свежего подстилочного навоза за 4 мес выделилось при плотном хранении 170 л жижи, рыхлоплотном — 450 л и рыхлом — 1000 л, т. е. чем быстрее разлагается навоз, тем больше выделяется навозной жижи.

Навозная жижа в среднем содержит 0,25—0,30 % N, 0,4—0,5 %  $K_2O$  и 0,01—0,06 %  $P_2O_5$ ; это азотно-калийное удобрение, по эффективности не уступающее в эквивалентных дозах минеральным удобрениям. Содержание питательных элементов в нем существенно изменяется в зависимости от рационов и видов животных, способов накопления и хранения жижи (0,01—1,0 % N и 0,2—1,2 %  $K_2O$ ).

Основные способы уменьшения потерь азота из навозной жижи подробно были изложены в разделе «Подстилочный навоз». Здесь отметим, что все жижесборники должны плотно закрываться, а жижа в них — покрываться жирными пленками.

Навозную жижу можно применять в чистом виде до посева и в подкормки культур с обязательной быстрой заделкой в почву, а в составе компостов — до посева культур. Дозы допосевого внесения колеблются от 20 до 50 т/га в зависимости от качества навозной жижи, потребностей удобряемых культур и окультуренности

почв. Для подкормок многолетних трав в севооборотах, на лугах и пастбищах вносят 10—30 т/га, в междурядья пропашных культур — 8—15 т/га.

Каждая тонна навозной жижи при квалифицированном применении повышает урожайность удобряемых культур на 1 ц/га зерн. ед., а добавление к ней суперфосфата (для уменьшения потерь аммиачного азота при хранении) значительно увеличивает ее эффективность, так как фосфора в ней очень мало. Максимальный эффект достигается при компостировании жижи с торфом и (или) другими органическими компонентами.

### 6.3. ПТИЧИЙ ПОМЕТ

Это ценное, наиболее концентрированное и быстродействующее среди других органических удобрений местное удобрение (табл. 107), содержащее в бесподстилочном виде 30—50 %, а в подстилочном — около 10 % аммиачного азота (от общего количества азота).

**107. Среднее содержание (% на сырую массу) воды и питательных элементов в помете птиц**

| Вид птицы | H <sub>2</sub> O | N   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO | MgO | SO <sub>3</sub> |
|-----------|------------------|-----|-------------------------------|------------------|-----|-----|-----------------|
| Куры      | 56               | 2,2 | 1,8                           | 1,1              | 2,4 | 0,7 | 0,4             |
| Утки      | 70               | 0,8 | 1,0                           | 0,6              | 1,6 | 0,3 | 0,3             |
| Гуси      | 80               | 0,6 | 0,5                           | 0,9              | 0,7 | 0,3 | 1,1             |

Содержание питательных элементов в помете птиц сильно изменяется в зависимости от состава и качества кормов и менее значительно — от способов содержания. Азота и фосфора в бесподстилочном курином помете значительно больше, чем в подстилочном навозе сельскохозяйственных животных.

За год от каждой птицы накапливается неодинаковое количество помета: от курицы 6—7 кг, от утки 7—9 кг и от гуся 10—12 кг. Усушка экскрементов кур при клеточном содержании через 8 ч составляет 10—12 %, через 12 ч — 13—16 %, через сутки — 27—32 %. При напольном содержании получают подстилочный навоз, усушка которого происходит быстрее — за 12 ч под курами она достигает 50 %, а под утками и гусями — 35 %.

**Подстилочный куриный помет.** Обладает достаточной сыпучестью, невысокой влажностью; применяется как обычный (подстилочный) навоз в дозах, рассчитанных по азоту. При влажности 56 % он содержит в среднем 1,6 % N, 1,5 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 0,9 % K<sub>2</sub>O. Для подстилки применяют торф, измельченную солому и древесные из лиственных пород опилки, которые укладывают слоем 30—40 см, а по мере загрязнения верхний слой перемешивают с ниж-

ним. Убирают подстилочный помет при смене поголовья 2—3 раза в год. Существует и другой вариант применения подстилки: торф укладывают слоем 5—10 см и по мере загрязнения добавляют из расчета 15—20 г на 1 голову, а когда высота подстилочного помета достигнет 0,5—1,0 м, его убирают.

**Бесподстилочный куриный помет.** Это липкая, мажущаяся масса зловонного запаха с более высоким, чем в подстилочном помете, количеством питательных элементов, содержит много семян сорняков, яиц и личинок гельминтов и мух и различных микроорганизмов, многие из которых — возбудители болезней.

Все питательные элементы в птичьем помете находятся в усвояемых для растений формах. Азот мочевой и гиппуровой кислот быстро аммонифицируется, что усиливает потери его при неправильном хранении, которые за 6 мес могут достигать 50 % общего его содержания. Для уменьшения потерь азота при накоплении и хранении бесподстилочного помета к нему следует добавлять 20—40 % (от массы) торфяной крошки (еще лучше компостировать с торфом), а при отсутствии торфа — до 30 % почвы.

На птицефабриках для обеззараживания, дезодорации, сохранения питательных элементов, улучшения физико-механических свойств бесподстилочного помета применяют быструю термическую сушку его при 600—800 °С. При такой сушке влажность его снижается до 20 %, потери азота не превышают 5 %, масса уменьшается, а концентрация питательных элементов возрастает примерно в 3 раза по сравнению с исходной и составляет 4—6 % N, 3—4 %  $P_2O_5$  и 1,5—2,0 %  $K_2O$ , исчезает запах.

**Сухой помет.** Это сыпучее органическое удобрение. Сухой помет более транспортабелен, может храниться в сухом месте и при этом за 6 мес в мешках и открытом штабеле теряет только 4—11 % органического вещества и 3—8 % азота.

Применяют птичий помет до посева культур и в процессе вегетации их — в подкормки. В качестве допосевного удобрения его используют в зависимости от вида, продуктивности культур и окультуренности почвы в следующих дозах: бесподстилочный помет — 5—10 т/га, подстилочный — 10—20 т/га и термически высушенный — 2—4 т/га. При подкормках сплошным методом дозы бесподстилочного помета 0,8—1 т/га, а при локальном внесении в борозды и лунки 400—500 кг/га, дозы подстилочного помета на 20—30 % выше, а сухого в 3 раза меньше.

По действию и последствию на урожайность различных культур все виды помета птиц при внесении в эквивалентных с минеральными удобрениями дозах не уступают последним, а под культурами, чувствительными к повышенной концентрации почвенного раствора и положительно реагирующими на улучшение воздушного питания углекислотой, нередко превосходят минеральные удобрения.



## 6.4. ТОРФ

Запасы торфа в России превышают половину мировых запасов его, причем около 70 % их расположено в Западно-Сибирском, 13 % — в Северо-Западном, 6 % — в Уральском и по 3—4 % — в Дальневосточном, Центральном и Восточно-Сибирском районах страны. Более половины (50,6 %) месторождений торфа представлено верховым, треть (31,1 %) — низинным, а остальные — переходным типом.

### 6.4.1. СОСТАВ И СВОЙСТВА ТИПОВ ТОРФА

Тип торфа определяется расположением болота по элементам рельефа и составом его растительности.

**Верховой тип.** Образуется на возвышенных элементах рельефа из белых сфагновых мхов с небольшими количествами пушицы, багульника, голубики, нередко клюквы и других малотребовательных к элементам питания растений.

**Низинный тип.** Формируется под влиянием грунтовых вод с большим содержанием минеральных веществ в понижениях рельефа с осоками, тростниками, вейниками, хвощами, зелеными гипновыми мхами, ольхой, ивой, березой и другими влаголюбивыми и более требовательными к питательным элементам растениями.

**Переходный тип.** Промежуточный между первым и вторым типом и в зависимости от условий питания приближается либо к тому, либо к другому. Причем нижние слои его обычно ближе к низинному, а верхние — к верховому.

Вид торфа определяется малоразложившимися остатками растений — торфообразователей, содержание которых не менее 20 % от массы сухого вещества.

Для агрохимической оценки торфов важны следующие свойства их: ботанический состав, степень разложения, зольность, содержание питательных элементов, кислотность, влагоемкость и емкость поглощения (ЕКО).

*Ботанический состав* — определяет зольность, кислотность, степень гумификации, обеспеченность элементами питания и другие агрохимические показатели. Сфагновый верховой торф наиболее беден элементами, очень кислый, малогумифицирован (до 20 %), малозольный, но наиболее влаго- и газоёмкий, богат гемицеллюлозой и целлюлозой (до 40 %). Он является наилучшим подстилочным материалом для животных и хорошим компонентом многих компостов.

Низинный торф — остатки травянистой и древесной растительности — гораздо богаче питательными элементами, наименее кислый, высокозольный, богат гуминовыми веществами (до 50 %), высокеемкий, обогащенный известью и фосфором. Его можно использовать при осушении для возделывания на нем овощных,

кормовых и других культур, применять как самостоятельное органическое удобрение в открытом и закрытом грунте, для приготовления горшочков и в качестве компонента различных компостов.

*Степень разложения торфа* — важный показатель его агрономического использования. Слаборазложившийся (5—25 % гумифицированных веществ) торф используют преимущественно для подстилки животным, среднеразложившийся (25—40 %) — после добычи и проветривания как непосредственное удобрение, для приготовления компостов или для возделывания на нем различных культур после гидромелиорации торфяников и добычи какого-то количества его или без добычи.

*Зольность* торфов может быть нормальной (до 12 %) и высокой (более 12 %). Классификация нормальнозольных типов торфа представлена в таблице 108, а высокозольные, обычно низинные, торфа (20—30 % и более) получают при наличии в них наносов песка, глины, а также повышенных количеств извести (торфотуфа) или вивианита. Повышенная зольность за счет кальция (известь) и фосфора (вивианит) увеличивает ценность торфа. Торфотуфы и вивианитовый торф без компостирования применяют как непосредственное удобрение, а также соответственно для известкования кислых почв и фосфоритования бедных этим элементом почв.

**108. Агрохимические показатели, % на абсолютно сухую массу различных типов торфа**

| Тип торфа  | Зола | рН               |         | Органическое вещество | N       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO     | Hг      | Т       |
|------------|------|------------------|---------|-----------------------|---------|-------------------------------|------------------|---------|---------|---------|
|            |      | H <sub>2</sub> O | KCl     |                       |         |                               |                  |         |         |         |
| Низинный   | 8—15 | 5,5—7,0          | 4,8—5,8 | 85—92                 | 2,5—3,5 | 0,2—0,6                       | 0,15—0,20        | 2,0—6,0 | 70—80   | 160—250 |
| Переходный | 5—8  | 4,0—6,0          | 3,5—4,8 | 90—95                 | 1,2—2,5 | 0,10—0,25                     | < 0,15           | 0,4—0,2 | —       | —       |
| Верховой   | <5   | 3,0—4,5          | 2,6—3,2 | 95—98                 | 0,7—1,5 | < 0,15                        | < 0,10           | < 0,4   | 120—180 | 100—200 |

*Содержание питательных элементов* снижается при переходе от низинного к верховому торфу. Из отдельных элементов в торфах больше всего азота, причем основная его часть находится в органической форме и может стать доступной растениям только после разложения (минерализации), которое в кислых средах почти не протекает и может быть резко ускорено после нейтрализации и при компостировании с навозом, жижей, птичьим пометом, фекалиями и другими компонентами.

Фосфора в торфах мало, причем 2/3 его обычно растворимы в слабых кислотах и, следовательно, доступны растениям.

В первом минимуме в торфах из макроэлементов находится калий, причем только менее половины его легкодоступно растени-

ям, а из микроэлементов — медь. Поэтому при возделывании на осушенных торфяниках любых культур удобрять их нужно прежде всего калийными и медными удобрениями.

*Кислотность* торфа — важный показатель типа и способов его применения. С pH 5,5 и менее даже низинный разложившийся торф нельзя использовать как удобрение без предварительного компостирования с известью, фосфоритной мукой, золой, навозом, жижей и т. д. С учетом гидролитической кислотности все торфа способны при компостировании с фосфоритной мукой переводить фосфор последней в усвояемые для растений формы.

*Поглотительная способность* имеет важное значение при использовании торфов в качестве подстилочного материала для птиц и животных, способного поглощать влагу (влагоемкость) и газы, в частности аммиак. Максимальная влагоемкость (1000—1800 % на сухую массу) верховых типов постепенно уменьшается при переходе к низинным, но и при этом остается довольно высокой (500—1000 %). Емкость поглощения всех типов торфов значительно выше, чем мощного чернозема. Это очень важно не только для поглощения аммиака из экскрементов животных и птиц, но и для хранения в торфах (при отсутствии хранилищ в хозяйствах) значительных количеств жидкого аммиака промышленного производства и местного приготовления торфоаммиачных удобрений (ТАУ).

#### 6.4.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРФА И ТОРФЯНИКОВ

Использовать торф можно разнообразно: для подстилки животным и птицам, в качестве компонента различных компостов, для приготовления торфоперегнойных горшочков и кубиков, как мульчирующий материал, субстрат для возделывания культур в закрытом грунте, как самостоятельное удобрение и т. д.

В качестве подстилки используют прежде всего верховой сфагновый торф со степенью разложения до 25 %, зольностью до 10—15, влажностью 50, содержанием древесных частиц размером до 6 см до 10 %. Гипновый, осоковый и тростниковый виды для этих целей применяют редко и только в слаборазложившемся (до 20 %) состоянии.

Во всех компостах любые торфы — наиболее ценный компонент, но лучше со степенью разложения более 20 %, зольностью до 25 % и содержанием древесных включений до 10 %, а с известью, золой и фосфоритной мукой — с pH менее 5 и зольностью менее 10 %.

Изготовление рассадных кубиков и горшочков основано на добавлении к торфу при тщательном перемешивании различных веществ: компоста, перегноя, помета птиц, ила, дерновой почвы, минеральных удобрений, извести или золы. Лучшими для этих целей являются низинный и переходный торфы с

нейтральной или слабокислой реакцией, степенью разложения 30—40 % и зольностью до 15 %.

Как непосредственное удобрение прежде всего на легких почвах применяют только низинные торфы, богатые известью (торфотуфы) или фосфором (вивианитовый торф), с pH 5,5 и более, зольностью более 10 % (в том числе CaO более 4 %) и степенью разложения 40—50 % и более. Дозы чистого торфа (50—100 т/га) можно значительно уменьшить, если одновременно с ним вносить и запахивать в небольших дозах (5—10 т/га) навозную жижу, полужидкий навоз, фекалии, птичий помет. Дозы торфотуфов определяют по содержанию CaO, а вивианитовых торфов — по содержанию  $P_2O_5$ .

В качестве мульчирующего материала применяют поверхностно проветренные низинные и переходные торфа слоем до 5 см в междурядьях посадок ягодных, плодовых и овощных культур. Мульчирование улучшает в верхнем слое почвы водно-воздушный, температурный и пищевой режимы, предотвращает рост и развитие сорняков и образование почвенной корки, что существенно повышает агрономическую и экономическую эффективность производства любой продукции.

Использование осушенных торфяников для возделывания сельскохозяйственных культур возможно без и после снятия верхнего слоя торфяника, но в последнем случае мощность оставляемого торфяного слоя должна быть не менее 50 см.

Торфяные почвы нуждаются в известковании.

Так как все торфяные почвы бедны фосфором, и особенно калием и медью, при возделывании на них любых культур именно на эти удобрения прежде всего следует обратить внимание. На вновь осваиваемых торфяниках эффективны и азотные удобрения, а на освоенных (через 8—10 лет) они, как правило, неэффективны. Учитывая бедность торфяников микрофлорой, на вновь осваиваемых из них для ускорения разложения органического вещества целесообразно применение в небольших дозах богатых микрофлорой удобрений (фекалии, птичий помет, навоз, навозная жижа, бактериальные препараты). Дозы макро- и микроудобрений определяют с учетом потребности культур в соответствующих элементах и ожидаемой (плановой) продуктивности посевов.

## 6.5. СОЛОМА КАК УДОБРЕНИЕ

Излишки соломы в качестве удобрения обогащают почву и возделываемые на ней культуры органическим веществом и питательными элементами. Солома при влажности 16 % содержит в среднем 0,5 % N, 0,25 %  $P_2O_5$ , 1,0 %  $K_2O$  и 35—40 % углерода, а также небольшие количества кальция, магния, серы и микроэлементов. Соотношение C:N в соломе очень широкое (60—100),

поэтому разлагающие органическое вещество ее микроорганизмы нуждаются в дополнительном питании азотом, который перехватывают у растений из почвы и удобрений. Для предотвращения этого при запашке соломы нужно дополнительно вносить 0,5—1,5 % азота от ее массы, т. е. 5—15 кг N на 1 т в виде минеральных или органических удобрений.

По соломе, оставленной равномерно по полю после зерноуборочного комбайна, эффективно вносить полужидкий, жидкий навоз, навозные жижу и стоки или другие органические удобрения из расчета 15—20 кг/га азота (или минеральные удобрения) и сразу заделывать лущильником или дисками на глубину 6—8 см. При этом разложение ее ускоряется и не сопровождается накоплением токсичных веществ.

Основную же обработку почвы на принятую глубину проводят в обычные для конкретной зоны календарные сроки.

Запашка соломы с добавлением азота более эффективна осенью, так как образующиеся при ее разложении вредные для растений фенольные соединения за осенне-зимне-весенний период более полно вымываются (и разлагаются) из корнеобитаемого слоя почвы.

Высокоэффективно внесение соломы с добавлением азота под пропашные культуры с длительным периодом вегетации, а при систематическом применении в севооборотах эффективность ее во времени возрастает: прибавки урожайности культур севооборота с 0,1 т/га корм. ед. увеличиваются до 0,2—0,3 т/га от каждой тонны соломы.

По обобщенным Г. Е. Мерзлой данным длительных опытов ВИУА, солома при выравнивании ее доз по питательным элементам минеральными удобрениями по своему действию на урожайность культур и плодородие почв не уступает навозу.

Так, на мощном малогумусном черноземе в опытах Драбовской опытной станции при выравнивании доз питательных элементов по соломе и навозу под сахарную свеклу урожайность ее составила 40,8 и 40,5 т/га, тогда как при внесении одной соломы (4—6 т/га) — 35,7 т/га, при добавлении к соломе 90 кг/га д. в. азотных удобрений — 37,9 т/га, а в варианте без удобрений — 33,5 т/га.

В исследованиях Сумской опытной станции на черноземе при внесении под кукурузу соломы, подстильного и бесподстильного навоза в эквивалентных по питательным элементам дозах урожайность зеленой массы культуры составляла соответственно 54,5; 52,9; 53,2 т/га, а в контроле без удобрений — 41,4 т/га.

В опытах Краснодарского НИИСХ на выщелоченном черноземе урожайность озимой пшеницы при внесении под нее 5 т/га соломы составила 2,66 т/га, 5 т/га соломы + N<sub>30</sub> — 3,20 т/га, а в контроле без удобрений — 2,80 т/га.

На типичном мицеллярно-карбонатном черноземе в опытах Ставропольского НИИСХ урожайность озимой пшеницы на фо-

новом варианте ( $N_{30}P_{30}$ ) составила 2,89 т/га, фон + 10 т/га соломы — 3,00 т/га, фон + 10 т/га соломы +  $N_{120}$  — 3,13 т/га.

При систематическом внесении соломы эффективность ее возрастает, а недостаток азота проявляется только в первые годы. В последующие годы азота высвобождается больше, чем закрепляется, поэтому последствие соломы нередко наблюдается и без дополнительного внесения азота других удобрений.

Солома улучшает физико-химические свойства почвы, предотвращает вымывание водорастворимых форм азота и других элементов, повышает биологическую активность почвы, доступность растениям питательных элементов почвы и удобрений.

Многие страны используют солому в качестве удобрений в значительно больших, чем Россия, количествах. Так, например, по данным ФРГ, доля соломы в общем объеме органических удобрений в этой стране в последние годы составляет: под сахарной свеклой 72 %, под пшеницей 71, под озимым ячменем 58 %, а в начале 70-х годов этот показатель не превышал 15—25 %.

## 6.6. САПРОПЕЛЬ

*Сапропель* — органические и минеральные отложения пресноводных озер и прудов. Добывают его земляными снарядами с намывами пульпы в отстойники или сразу на поля (полосами, чеками и др.), где после промораживания и естественной сушки он превращается в сыпучую массу влажностью около 80 %.

По зольности сапропели разделяют (классификация А. Я. Рубинштейна) на мало- (до 30 %), средне- (30—50 %), повышенно- (50—70 %) и высокозольный (70—85 %), а при зольности более 85 % их называют илом.

Состав сапропеля из разных мест даже одного водоема, а тем более из разных водоемов, может сильно различаться (табл. 109).

**109. Средний состав различных сапропелей (из разных источников)**

| Вид сапропеля                   | Содержание, % на сухое вещество |      |     |          |      |     |
|---------------------------------|---------------------------------|------|-----|----------|------|-----|
|                                 | Органическое вещество           | Зола | N   | $P_2O_5$ | CaO  | MgO |
| Малозольный                     | 80                              | 19   | 3,4 | 0,14     | 2,5  | 0,5 |
| Среднезольный                   | 60                              | 38   | 2,6 | 0,18     | 2,3  | 0,7 |
| Повышеннозольный:               |                                 |      |     |          |      |     |
| глинистый, песчаный             | 37                              | 63   | 1,9 | 0,19     | 2,7  | 1,5 |
| известковистый                  | 40                              | 60   | 1,6 | 0,14     | 16,0 | 1,2 |
| Высокозольный (озерная известь) | 26                              | 73   | 1,2 | 0,18     | 34,0 | 0,8 |
| Ил:                             |                                 |      |     |          |      |     |
| глинистый, песчаный             | 12                              | 88   | 0,6 | 0,17     | 4,5  | 1,3 |
| известковистый                  | 13                              | 87   | 0,6 | 0,15     | 15,0 | 2,3 |

Сухая масса сапропелей состоит из минеральных и органических веществ; последние представлены различными соединениями, содержание которых сильно варьирует: гуминовые кислоты 11—43 %, фульвокислоты 2—24, нерастворимый осадок 5—23, битумы 5,6—17,5, гемицеллюлоза 10—53, целлюлоза 0,4—6,0 и водорастворимые вещества 2—14 %.

Азотистые вещества сапропелей находятся в высокомолекулярных соединениях, поэтому доступных для растений форм азота и фосфора в них очень мало (в 2—3 раза меньше, чем в навозе), а калия ничтожное количество.

Обобщенные в ВИУА данные полевых опытов показали сравнительно невысокую эффективность сапропелей: для получения от них таких же прибавок урожаев культур, как от навоза, дозы сапропелей должны быть в среднем в 3 раза больше, чем навоза.

Сапропель целесообразно применять для удобрения культур при недостатке навоза и прежде всего на полях, расположенных вблизи мест его добычи.

## 6.7. ГОРОДСКОЙ МУСОР (БЫТОВЫЕ ОТХОДЫ)

Городской мусор — кухонные отходы, бумага, тряпки, грязь, пыль, зола — по содержанию питательных веществ и удобрительным качествам сопоставим с подстилочным навозом. Скорость минерализации его в почве зависит от количеств и соотношений его компонентов. При большом количестве кухонных (пищевых) отходов и пыли мусор разлагается быстро; его можно применять как удобрение без компостирования, а с преобладанием бумаги и тряпок разлагается медленно и более эффективен после компостирования.

Городской мусор в расчете на сухую массу содержит в среднем 0,6—0,7 % N, 0,5—0,6 %  $P_2O_5$  и 0,6—0,8 %  $K_2O$ .

В качестве допосевого удобрения под основную обработку почвы мусор без предварительного компостирования применяют под разные культуры в таких же дозах, как подстилочный навоз (20—60 т/га). В защищенном грунте он эффективен в парниках и теплицах как биотопливо, после чего становится однородным, рассыпчатым и хорошо разложившимся органическим удобрением для открытого грунта.

После компостирования или использования в парниках разложившийся однородный мусор применяют под разные культуры уже в гораздо меньших дозах (до 20 т/га), чем неразложившийся.

## 6.8. ОСАДКИ СТОЧНЫХ ВОД (ОСВ)

В крупных городах на очистных сооружениях скапливается от 0,5 до 1,0 % объема всех очищаемых сточных вод в виде их осадков влажностью 92—95 %. В зависимости от существующей техноло-

гии ОСВ подвергают компостированию, сбраживанию или термической сушке.

При *компостировании* свежие ОСВ подсушивают до влажности 50—55 % (путем боронования, фрезерования, вспашки) и смешивают их с торфом (3 : 1). Затем сгребают в штабеля, температура в которых быстро достигает 60 °С, что приводит к гибели неспоровых микроорганизмов, яиц и личинок гельминтов и мух, т. е. к обеззараживанию ОСВ.

При *сбраживании* ОСВ обеззараживают в метантенках при температуре 56—58 °С, сброженные ОСВ за счет фильтрации и испарения влаги подсушивают на иловых площадках до влажности 60—80 %.

При *термической сушке* обезвоженные на центрифугах или виброфильтрах до 80 % влажности ОСВ сушат при температуре 600—800 °С до влажности 40 %. Содержание питательных элементов в ОСВ сильно колеблется в зависимости от состава сточных вод и технологий получения ОСВ (табл. 110).

**110. Средний состав ОСВ, % на сухую массу (из разных источников)**

| ОСВ                      | N       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO       | MgO      |
|--------------------------|---------|-------------------------------|------------------|-----------|----------|
| Из первичных отстойников | 1,6—4,0 | 0,6—5,2                       | 0,2—0,6          | 11,8—35,9 | 2,1—4,3  |
| Активный ил              | 2,4—6,5 | 2,3—8,0                       | 0,3—0,4          | 8,9—16,7  | 1,4—11,4 |
| Сброженный ил            | 1,7—6,0 | 0,9—6,6                       | 0,2—0,5          | 12,5—15,6 | 1,5—3,6  |
| После термической сушки  | 1,0—3,0 | 2,0—6,0                       | 0,5—1,0          | 13,0—40,0 | 4,0—10,0 |

Дозы ОСВ с иловых площадок колеблются от 20 до 50 т/га (и более) в зависимости от содержания в них питательных элементов и вредных (опасных) веществ, а также потребностей удобряемых культур и степени окультуренности почв.

В ОСВ наряду с питательными элементами попадают тяжелые металлы, нефтепродукты, моющие вещества и многие другие вредные (опасные) вещества. Поэтому необходимо постоянно контролировать состав ОСВ, так как без этого резко возрастает опасность загрязнений сельскохозяйственной продукции и окружающей среды опасными веществами. При прочих равных условиях всегда безопаснее применять ОСВ на тяжелых, более гумусированных почвах, чем на легких и малогумусированных, причем на последней обязательно в сочетании с химическими мелиорантами.

ОСВ следует применять для удобрения парков, лесопитомников, газонов и лубяных культур, для других культур — только с разрешения санэпидеминспекций (станций) под контролем агрохимслужбы (проектно-изыскательские центры и станции химизации). Под овощные культуры ОСВ не применяют.



## 6.9. КОМПОСТЫ

*Компостирование* — биотермический процесс минерализации и гумификации обычно двух органических компонентов (иногда с добавками минеральных), уменьшающий потери питательных элементов одних (навоз, его жиж и стоки, фекалии, помет птиц, ОСВ и др.) с одновременным ускорением разложения других (торф, солома, опилки, бытовой мусор и др.) и переводом в доступные для растений формы питательных элементов их (фосфоритная мука).

При компостировании органических отходов происходит их биотермическое обеззараживание, компост нагревается до 60 °С, что убивает яйца и личинки мух и гельминтов, а также болезнетворные неспоровые микроорганизмы.

В органических компостах один из компонентов выступает в роли поглотителя влаги, аммиака, диоксида углерода и без компостирования слабо разлагается (торф, опилки, бытовой мусор, дерновая земля, солома), а другой (навоз, его стоки и жиж, фекалии, птичий помет и др.) обогащен микрофлорой и содержит значительные количества легкоразлагающихся азотистых и безазотистых органических соединений.

Важны и часто необходимы и органо-минеральные компосты, которые повышают усвояемость растениями питательных элементов их компонентов, обогащают недостающие элементы, устраняют кислотность удобрения, предотвращают потери и др.

Компоненты компостов смешивают и выдерживают до тех пор, пока содержимое их не превратится в однообразную рассыпчатую массу.

**Торфонавозные компосты.** Их готовят вблизи животноводческих помещений, в навозохранилищах или в полевых штабелях. Отношение навоза к торфу в компосте зависит от качества компонентов и обеспеченности ими — зимой это обычно 1 : 1, а летом до 1 : 3. Для компостирования пригодны любые торфы с влажностью до 60 %.

*Послойное компостирование* возможно в любое время года; при этом торф слоем до 50 см разравнивают на подготовленных местах шириной 4—5 м и длиной в зависимости от возможностей. Затем покрывают его слоем навоза, который вновь покрывают торфом, затем вновь навозом и т. д. Слои торфа и навоза чередуют, пока высота штабеля не достигнет 2 м. Толщина слоев зависит от принятого соотношения компонентов; завершают укладку слоем торфа.

*Очаговое компостирование* предпочтительнее зимой, когда навоз по подготовленному (50—60 см) слою торфа размещают непрерывным или прерывистым слоем 70—80 см и шириной на 1,0—1,5 м меньше нижележащего торфа. При недостатке навоза его размещают прерывистым слоем (кучами) на торфе и, как и в первом случае, со всех сторон укрывают торфом слоем 50—70 см. Зимой штабель очагового компоста закладывают за 1—2 дня, обычно во время оттепелей, тогда температура внутри него не опускается ниже 25—30 °С.

При послойном и очаговом компостировании для улучшения

качества торфа с навозом к массе компонентов добавляют 1,5—3,0 % (15—30 кг/т) фосфоритной муки, при этом получают торфо-навозно-фосфоритные компосты, которые по эффективности даже при содержании навоза 30—50 % не уступают хорошему навозу. Фосфоритной мукой пересыпают каждый слой торфа и навоза.

Иногда при компостировании навоза с торфом вместе с фосфоритной мукой на 1 т торфа добавляют 5—6 кг калийных удобрений и в зависимости от кислотности нужную дозу известковых удобрений, причем фосфоритную муку в этом случае добавляют к навозу, а калийные и известковые удобрения — к торфу. Эффективность такого 5-компонентного органо-минерального компоста часто выше (при равных дозах), чем хорошо приготовленного навоза.

Со стоками, жидким и полужидким навозом торф компостируют так же, как с навозной жижей.

**Торфожижевые компосты.** Их готовят с любым торфом, кроме известкового (содержание  $\text{CaO}$  более 5 %), зимой в навозохранилищах или рядом с животноводческими помещениями, а летом в полевых штабелях или на осушенных торфяниках. На каждую тонну проветренного торфа в зависимости от влажности берут 1—3 т навозной жижи и 1,5—2,0 % от массы компоста фосфоритной муки. Торф укладывают в два смежных вала с корытообразным углублением между ними, в которое сливают навозную жижу.

После поглощения жижи торфом массу сгребают бульдозером в штабеля, которые покрывают торфом, а при достижении температуры 60 °С уплотняют. В зависимости от свойств компонентов компоста и времени года массу выдерживают в течение 1—4 мес, затем применяют в качестве основного удобрения под различные культуры в таких же дозах, как подстилочный навоз. Торфожиже-фосфоритные компосты по эффективности не уступают хорошо приготовленному навозу.

**Торфофекальные компосты.** Получают при компостировании фекальных масс с торфом (можно с соломой, городским мусором и другими слаборазлагающимися материалами). Это быстрodeйствующее удобрение. В фекальной массе в среднем содержится 0,5—0,8 % N, 0,2—0,4 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 0,3—0,4 %  $\text{K}_2\text{O}$ , азот в них на 70—80 % представлен аммиаком и мочевиной, да и фосфор с калием находятся в легкоусвояемых для растений формах. Высушенные фекальные массы — *пудреты* содержат около 2 % N, 4 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 2 %  $\text{K}_2\text{O}$ . Для уменьшения потерь азота при сушке фекальных масс к ним добавляют сухой торфяной порошок в количестве 8—10 % их массы. Пудреты можно применять под декоративные и лубяные культуры в дозе 2—3 т/га; по эффективности они не уступают эквивалентным дозам минеральных удобрений.

С санитарной, агрономической и экологической точек зрения фекальные массы лучше применять в виде компостов. Для приготовления их к 1 т низинного торфа влажностью около 70 % добавляют до 0,5 т фекалий, к 1 т верхового — 2 т, а при влажности тор-

фа до 50 % — до 3,5 т фекалий. Компостирование при температуре 56—60 °С с последующим уплотнением — лучший способ обеззараживания, снижения потерь питательных элементов и ликвидации неприятного запаха фекальных масс. Способ приготовления компостов такой же, как с навозной жижей.

Торфофекальные компосты на второй год после закладки можно применять под любые культуры, кроме овощных, в дозах 10—25 т/га.

По эффективности торфофекальные компосты нередко превосходят навоз при эквивалентных по питательным элементам дозах на 30—50 %.

**Торфоминеральные компосты.** В качестве компонентов они могут содержать известь, золу, фосфоритную муку, жидкий аммиак и другие минеральные добавки.

Торфоизвестковые и торфозольные компосты. Их готовят с кислым торфом ( $pH_{\text{сод}}$  менее 5), пересыпая ими каждый 15—20-сантиметровый слой при укладке штабеля. Дозу извести рассчитывают по 0,8 гидролитической кислотности (Нг) торфа, что при влажности торфа 60—70 % составляет в среднем 1—3 % его массы. Лучшей формой известковых удобрений для этих целей является доломитовая мука. Такие обогащенные кальцием и магнием, но бедные калием и фосфором компосты выдерживают до применения в течение 4—5 мес.

Компосты с золой приготавливают для обогащения торфа кальцием, калием, фосфором и другими элементами с одновременной нейтрализацией обменной кислотности его. Штабель готовят так же, как с известью, добавляя на каждую тонну проветренного торфа 2,5—5,0 % золы (25—50 кг/т).

Торфофосфоритные компосты позволяют при тщательном перемешивании компонентов уже через месяц их хранения перевести в усвояемую для растений форму 30—60 %  $P_2O_5$  фосфоритной муки и одновременно несколько уменьшить кислотность торфа.

Для этих целей применяют кислый торф, не содержащий подвижных форм алюминия, на тонну которого при влажности 65—70 % добавляют 10—30 кг фосфоритной муки и выдерживают 2—3 мес.

Торфоизвестковые и торфофосфоритные компосты применяют в таких же дозах, как навоз, причем эффективность их значительно возрастает при сочетании с азотно-калийными минеральными удобрениями.

Торфоаммиачные (ТАУ) и торфоминерально-аммиачные (ТМАУ) удобрения (компосты). Их готовят насыщением торфа аммиаком (жидкий аммиак, аммиачная вода) и добавлением к нему фосфорных и калийных минеральных удобрений. Для этих целей применяют торфа с зольностью до 25 %, влажностью 55—65 % и степенью разложения для низинного 15—20 %, для верхового 20—25 %. В состав ТМАУ в каждую тонну сухого торфа вводят 30—35 кг фосфоритной муки или смеси ее (1 : 1) с суперфосфатом, 10—12 кг хлористого калия (или другого

калийного удобрения) и 30—35 л 25%-ного раствора аммиака (или эквивалентную по  $\text{NH}_3$  дозу жидкого аммиака).

В ТМАУ на основе низинного торфа количество перечисленных минеральных компонентов уменьшают на 30—50 %.

Приготовление различных компостов на осушенных торфяниках вблизи удобряемых ими полей значительно снижает себестоимость и повышает их эффективность.

Технология приготовления компостов на торфяниках заключается в сочетании обработок и рыхления их с внесением соответствующих компонентов (навоза, навозной жижи, фекальных масс, извести, фосфоритной муки и т. д.) с последующим сгребанием и уплотнением желаемых смесей в штабеля.

При расчетах количеств любых компонентов и всего компоста учитывают, что при массе  $1 \text{ м}^3$  400 кг и глубине сгребаемого слоя 20 см на каждом гектаре торфяника за сезон получают 800 т торфа.

**Торфорастительные компосты.** Получают при выращивании на торфяниках бобовых и других (или смесей разных) культур (сидератов) с последующей заправкой их и приготовлением штабелей из полученных смесей торфа и растений.

Растительную массу сидератов в фазе цветения прикапывают, измельчают и запахивают на глубину 15 см. Через 2—3 нед после заправки торфяник дискуют, торфосидеральную массу сгребают в штабеля высотой 1,5—2,0 м и выдерживают 1—2 мес. Торфорастительные компосты применяют под различные культуры в таких же дозах, что и подстилочный навоз. По эффективности в эквивалентных по питательным элементам дозах они не уступают полупрепревшему навозу плотного хранения.

**Компосты из бытовых отходов.** В связи с возрастающими требованиями к охране окружающей среды и ростом количества бытовых отходов в городах все более широкое распространение получают промышленные методы биотермического обеззараживания отходов и приготовления из них компостов. Компост заводского приготовления в среднем содержит (% на сухую массу): 40—52 органических веществ, 1—1,3 N, 0,7—0,8  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 0,4—0,6  $\text{K}_2\text{O}$ , 3 раздробленного стекла (< 15 мм), 4 посторонних включений. Влажность таких компостов 30—40 %,  $\text{pH}_{\text{сол}}$  6,0—7,8.

По действию на урожай заводской компост из бытовых отходов не уступает в эквивалентных дозах навозу и при наличии соответствующего сертификата качества может применяться с агрохимическим контролем под различные культуры.

## 6.10. ЗЕЛЕННЫЕ УДОБРЕНИЯ (СИДЕРАТЫ)

Зеленые удобрения — свежая растительная масса, запахиваемая в почву для обогащения ее и последующих культур органическим веществом и питательными элементами. Растения, выращиваемые

на зеленые удобрения, называют *сидератами*, а прием обогащения ими почв — *сидерацией*.

В качестве сидератов чаще используют бобовые (люпин, сераделла, донник, вика, чина, эспарцет, астрагал и др.), реже — смеси бобовых со злаками или промежуточные (вставочные) небобовые культуры (горчица, сурепица, рапс и др.). Дополнительное обогащение почв и растений азотом в значительных количествах наблюдают при бобовых сидератах, обладающих симбиотической азотфиксацией атмосферного азота.

Зеленые удобрения оказывают такое же многостороннее положительное действие на свойства почвы, урожай и качество сельскохозяйственных культур, как и хорошо приготовленный подстилочный навоз.

По данным различных источников, в 1 т сырой массы разных бобовых сидератов в среднем содержится: в люпине 210 кг сухого вещества; 4,5 N; 1,3 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 1,8 K<sub>2</sub>O; 5,0 кг CaO; в доннике 220 кг сухого вещества; 7,7 N; 0,5 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 2,0 K<sub>2</sub>O; 10,0 кг CaO; в сераделле 210 кг сухого вещества; 6,2 N; 2,2 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 5,5 кг K<sub>2</sub>O; в эспарцете соответственно 200; 6,2; 1,2; 3,2 кг.

В сравнении с содержанием в 1 т смешанного навоза плотного хранения (5 кг N, 2,5 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 6 кг K<sub>2</sub>O) бобовые сидераты богаче азотом, но беднее фосфором и калием. Смеси бобовых со злаками, а также небобовые сидераты, естественно, беднее азотом.

Процессы разложения зеленых удобрений в почве протекают значительно быстрее, чем других органических удобрений, богатых медленно разлагающимися веществами.

Различают самостоятельные и уплотненные (смешанные) посевы сидератов. *Самостоятельные посевы* могут занимать поле 1—2 и более лет или короткие промежутки времени — от уборки одной до посева другой культуры (*вставочные*, или *промежуточные*, сидераты).

*Уплотненные (смешанные) посевы* бывают сплошные (занята часть поля целиком) и кулисные (чередование полосами или рядами основной культуры и сидерата, например сидераты в междурядьях садов и ягодников или пропашных культур поперек склонов в противоэрозионных целях и др.). В зависимости от времени (до или после уборки основной культуры в поле) различают *подсевные* (подсевают под основную) и *пожнивные* (после уборки основной) посевы сидератов.

Приемы использования сидератов также разнообразны: полное, укосное и отавное зеленые удобрения.

*Полное зеленое удобрение* — запахивают на месте всю выращенную массу сидерата.

*Укосное зеленое удобрение* — скошенную массу сидерата транспортируют, размещают на другом поле и запахивают.

*Отавное зеленое удобрение* — запахивание после удаления скошенной или съеденной массы отросших стерневых и корневых остатков сидератов.

Основные районы применения сидератов — бедные органическим веществом с неблагоприятной реакцией почвы разных зон, нуждающиеся в окультуривании. Сидераты применяют при недостатке других органических удобрений и (или) на удаленных от источников последних полях и участках.

Наиболее обширный район применения сидератов — бедные дерново-подзолистые почвы Нечерноземной зоны европейской части страны, в Сибири и на Дальнем Востоке — дерново-подзолистые и солонцеватые почвы. В Поволжье, Ростовской области, Краснодарском и Ставропольском краях и в других регионах на орошаемых почвах наиболее целесообразны пожнивные и подсевные сидераты.

Наиболее распространенные бобовые сидераты: люпины, донники и сераделла.

**Люпины** (однолетний и многолетний с разным содержанием алкалоидов). Это наиболее распространенные сидераты кислых почв Нечерноземной зоны европейской и азиатской частей России. Алкалоидный люпин возделывают только на удобрение, а безалкалоидный — для комбинированного использования: надземную массу на корм скоту, а отросшие пожнивные и корневые остатки как отавное удобрение. Все люпины способны усваивать фосфор труднорастворимых (трехзамещенных) фосфатов почвы и удобрений (фосфоритная и костная мука) и улучшать фосфорное питание следующих за ними культур в севообороте. Еще более важна способность люпинов симбиотически фиксировать молекулярный азот атмосферы и тем самым существенно улучшать баланс азота в севооборотах (агроценозах) даже на наиболее бедных песчаных и супесчаных почвах.

Люпины хорошо растут на кислых почвах; на очень кислых необходимо известкование, но иногда однолетние люпины плохо переносят известкование, а многолетние — лишь в начале вегетации. Одной из причин угнетения люпинов на очень кислых свежеизвесткованных почвах является ухудшение условий фосфорного питания их: известь мешает усвоению труднорастворимых фосфатов почв и удобрений. Поэтому под люпины известь и фосфоритную муку следует вносить послойно: известь — в глубине, под вспашку с предплужниками; фосфоритную муку — мельче, под предпосевную обработку.

Послойное внесение извести и фосфоритной муки в сочетании с калийными удобрениями под люпин с последующей заправкой его — эффективный прием окультуривания почв. При этом происходят одновременное обогащение почвы органическим веществом, азотом, фосфором, калием и кальцием и устранение кислотности среды.

Однолетние алкалоидные люпины (синий узколистный и желтый). Их выращивают в самостоятельных и смешанных посевах и запахивают в качестве полного удобрения в период

максимального накопления азота — образования блестящих бобов на главном стебле. В занятых парах эти сидераты измельчают дисками и запахивают не меньше чем за 2—3 нед до посева озимых, а перед посевом последних поле прикатывают, чтобы почва полностью осела и не вызвала обнажения узла кушения после посева. С выведением кормовых (безалкалоидных) люпинов районы возделывания алкалоидных люпинов остались в северных областях — Вологодской, Костромской, частично Смоленской, Владимирской, Нижегородской и др.

**Однолетние кормовые люпины.** Более ценны при комбинированном использовании. Являются дополнительным высокобелковым кормом для животных и одновременно отавным сидератом, повышающим плодородие почвы за счет отавных остатков и навоза, полученного при скармливании зеленой массы его. Кормовые однолетние люпины особенно эффективны в качестве зеленых кормов и пожнивного отавного удобрения после уборки озимой ржи на зеленый корм.

Надземную массу кормовых люпинов при комбинированном использовании скашивают в фазе бутонизации или цветения на высоком (8—15 или 10—20 см) срезе, что обеспечивает высокое кормовое качество и хорошее отрастание отавы.

**Многолетний люпин.** Благодаря холодостойкости вызревает повсеместно, вплоть до Архангельска, с высоким коэффициентом размножения. Цветет и образует семена на второй год, максимальную зеленую массу при возделывании без удобрений дает на 3—4-й год жизни.

Многолетний люпин в севооборотах сеют в сидеральных парах или под покров озимой ржи. Перспективен подзимний подсев его как промежуточной культуры в звене занятый пар, озимая рожь с подзимним подсевом многолетнего люпина, картофеля.

На очень бедных органическим веществом почвах для их окультуривания многолетний люпин сеют в выводных полях, на пустошах, в междурядьях плодово-ягодных питомников, садов и ягодников, лесных питомников и на склонах оврагов. На таких участках люпин оставляют иногда на 6—8 лет и используют как укосное зеленое удобрение на близлежащих полях, ягодниках и питомниках или в приствольных кругах садов.

**Донник.** Бывает однолетний и двулетний, белый и желтый, причем белый более урожайный, а желтый раньше созревает. Эта культура прекрасно растет на богатых кальцием нейтральных почвах; на известкованных дерново-подзолистых почвах донник более продуктивен, чем однолетний и многолетний люпин. Благодаря мощной корневой системе донники очень засухоустойчивы, холодостойки и высокопитательны в качестве полного и отавного удобрения даже при сравнительно слабо развитой надземной массе.

Используют донники как на удобрение, так и в качестве корма для животных. Повышенное содержание кумарина несколько

снижает кормовые достоинства, но есть сорта, не содержащие ку-марина.

Для комплексного использования хороши однолетний и дву-летний виды, а на полях с большим уклоном в качестве сидерата лучше двулетний. Формы использования подсевных и самостоя-тельных посевов донников разнообразны:

скашивание в начале цветения на корм животным и отавное удобрение;

первый укос — на другие поля (укосное удобрение), второй — на корм, отава — на корм или отавное удобрение;

первый укос — на корм, второй — на укосное удобрение, ота-ва — на корм или удобрение;

самостоятельный посев в качестве парозанимающей культуры и запашка в качестве удобрения под озимые и др.

**Сераделла посевная.** Однолетняя влаголюбивая бобовая трава предпочитает легкие слабокислые ( $pH_{\text{сол}} 5,0-5,5$ ) почвы, хорошо использует труднорастворимые фосфаты почв и удобрений, фосфоритную муку. На песчаных и супесчаных почвах хорошо реагирует на калийные, особенно содержащие магний, удобрения. На влагообеспеченных почвах сераделла наиболее эффективна как подсевная культура под покров яровых и озимых (весной) зерно-вых культур. Чем раньше убирается покровная культура, тем выше продуктивность сераделлы. На чистых от сорняков, достаточно влажных и ранубираемых полях эффективно и пожнивное возде-лывание сераделлы.

Самостоятельные, а лучше вставочные (промежуточные) посе-вы сераделлы можно использовать как полное, укосное и отавное удобрение, но более эффективно комплексное использование: на корм скоту (укос или отаву) и в качестве зеленого удобрения (укос, отаву или корневые и пожнивные остатки).

*Пожнивные остатки растений* (стерня и корни) — важная ста-тья прихода в балансе органического вещества и транслокации питательных элементов в почвах. Следовательно, они могут расце-ниваться как разновидность отавного зеленого удобрения.

Количество и качество послеуборочных остатков зависят от биологических особенностей растений, а в пределах одного вида — от сорта, уровня продуктивности, почвенно-климатичес-ких и других условий. Возможные количества послеуборочных (пожнивных) остатков некоторых культур значительно колеблют-ся (т/га сухого вещества): люпины однолетние 0,5—1,5, многолет-ние 2,0—3,0, клевер 3,0—7,0, люцерна 4,0—9,0, горох 1,5—3,0, озимые рожь и пшеница 2,2—6,5, ячмень 2,0—4,5, кукуруза 1,5—6,0, картофель 0,8—1,2, сахарная свекла 1,0—1,5, рожь на зеленый корм 1,0—2,0, озимая сурепица 0,5—1,5, горчица 0,4—1,0, много-летние злаковые травы 5,0—11,0.

По уменьшению количества остающихся в почве пожнивных и корневых (послеуборочных) остатков культуры можно располо-



жить в следующей последовательности: многолетние злаковые — злаково-бобовые — бобовые травы — кукуруза — зерновые озимые — яровые — озимые на зеленый корм — сахарная и кормовая свекла — картофель — вставочные (промежуточные) культуры.

Если баланс органического вещества улучшает в разной степени пожнивно-корневые остатки всех культур, то баланс азота за счет симбиотической азотфиксации — только бобовые и зернобобовые культуры в чистых и смешанных культурах. Содержание азота в корнях бобовых культур достигает 2,0—2,5 %, тогда как у других (небобовых) культур оно не превышает 0,5—1,0 % на сухую массу. Поэтому послеуборочные остатки многолетней люцерны по содержанию в них сухого вещества и азота на 1 га могут быть эквивалентны 40 т/га навоза, а клевера и клеверо-тимофеечной смеси — 20—25 т/га.

Злаковые многолетние травы по массе пожнивных и корневых остатков занимают первое место среди всех культур, но из-за низкого содержания азота в них (0,5—0,7 %) соотношение С : N у них значительно шире, чем у бобовых. Поэтому при минерализации этих остатков микроорганизмы закрепляют (иммобилизуют) усвояемые формы азота не только почвы, но и удобрений примерно так же, как при запахивании соломы на удобрение.

Количество и качество поступающих в почву послеуборочных остатков растений можно регулировать структурой посевных площадей и промежуточных культур и обязательно учитывать при определении нуждаемости и мест внесения органических удобрений в каждом агроценозе.

**Эффективность зеленых удобрений.** Она зависит от вида, продуктивности и способа использования (применения) сидерата. Чем более значительная и качественная зеленая масса сидерата запахана на удобрение, тем сильнее действие и последствие его.

Темпы разложения зеленых удобрений зависят от гранулометрического состава и влажности почвы, фазы развития растений в момент заделки и глубины заделки их в почву. С увеличением глубины заделки, возраста сидератов в момент заделки и количества глинистых частиц в гранулометрическом составе почвы минерализация зеленых удобрений замедляется. И наоборот — изменение перечисленных условий в противоположном направлении, а также добавление к сидератам при заделке небольших доз навоза, помета птиц, фекальных масс и других богатых микроорганизмами компонентов при любых условиях ускоряют темпы минерализации зеленых удобрений.

Создание благоприятной реакции среды с помощью мелиорантов и оптимальные (с учетом потребностей конкретных сидератов и обеспеченности почв) дозы макро- и микроудобрений — мощный фактор повышения эффективности любых культур и способов использования зеленых удобрений.

Бобовые сидераты за счет симбиоза с клубеньковыми бактерия-

ми способны полностью удовлетворять собственные (а частично и последующих культур) потребности в азоте. Эффективными приемами усиления фиксации азота бобовыми культурами являются инокуляция семян (заражение, обработка) активными расами клубеньковых бактерий и обработка их молибденом (20—25 г Мо на гектарную норму высева семян).

Клубеньковые бактерии весьма специфичны и могут активно взаимодействовать только с конкретным видом бобовой культуры. Штаммы клубеньковых бактерий различаются также по вирулентности (способность проникать в корень культуры и образовывать там клубеньки) и активности (способность к усвоению молекулярного азота атмосферы). Бактериальные препараты для обработки семян различных бобовых культур — нитрагин и ризоторфин — специфичны для каждой культуры и содержат высоковирулентные и активные штаммы соответствующих бактерий.

На гектарную норму семян достаточно 500 г бактериального препарата, причем обрабатывают только ту часть семян, которая будет высеяна в этот же день. Инокуляцию можно совмещать с обработкой молибденом (в одной порции воды растворяют молибденовое удобрение и готовят бактериальную болтушку), но нельзя с протравливанием семян. Протравливание семян проводят за 3—4 нед до посева, и его также можно совмещать с обработкой молибденовыми удобрениями.

## 6.11. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Все органические удобрения обладают длительным действием, поэтому при определении их агрономической и экономической эффективности нужно суммировать достоверные прибавки от них за все годы (минимум за 3—4 года). Все затраты на приготовление (приобретение), хранение, транспортировку, погрузочно-разгрузочные работы, уборку и доработку прибавочной продукции следует распределять пропорционально полученным прибавкам урожаям среди всех культур, получивших эти прибавки от того или иного органического удобрения.

Экономическая эффективность органических удобрений зависит от расстояния их транспортировки, а для разбавляемых водой видов (полужидкий, жидкий навоз, навозная жижа и стоки и др.) — в еще большей степени от разбавления: чем дальше транспортировка и особенно более разбавленные водой виды удобрений, тем менее прибыльна, а нередко более убыточна такая технология. Даже при транспортировке по трубопроводам и использовании навоза для удобрительных поливов экскременты следует разбавлять водой не до и в период хранения, а при внесении: в смесительной камере и транспортном потоке трубопроводов.

Разбавление навоза до (при гидросмыве) и при хранении требу-

ет строительства дорогостоящих прудов-накопителей с хорошей гидроизоляцией. Поэтому на фермах и комплексах следует получать и хранить навоз, а не навозные стоки.

Экономическая эффективность органических удобрений сильно зависит и от конъюнктуры рынка на ту или иную сельскохозяйственную продукцию.

Максимально возможный учет всех перечисленных факторов позволяет в каждом конкретном случае наиболее обоснованно определять все имеющиеся (и возможные) ресурсы разных видов органических удобрений по севооборотам и внесевооборотным участкам, а внутри них — с учетом действия и последствий под наиболее выгодные с агрономической, экономической и экологической точек зрения культуры.

Более подробные методики (и соответствующие нормативные материалы) расчетов экономической эффективности конкретных органических удобрений изложены в соответствующих (лучше зональных) справочниках и пособиях.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое органические удобрения? Какова их роль в питании растений и регулировании плодородия почв? Перечислите виды органических удобрений.
2. Что такое подстилочный навоз и от чего зависит вещественный и элементный состав его? 3. Каковы составы подстилочных материалов и их роль в накоплении навоза? 4. От чего зависит общий выход навоза на конкретной ферме? 5. Перечислите способы хранения и степени разложения навоза. 6. Что происходит с азотистыми и безазотистыми соединениями навоза при хранении? 7. Как изменяются потери азота при разных способах его хранения? 8. Что вы знаете о навозохранилищах и других способах накопления навоза? 9. Как действует навоз на почву и растения? 10. Какова доступность растениям питательных элементов навоза и от чего она изменяется? 11. Какие условия нужно учитывать при установлении места и дозы внесения навоза в севооборотах? 12. Раскройте содержание терминов «минимальная», «оптимальная» и «максимальная» дозы навоза. 13. Как влияют сроки и способы внесения навоза в почву на его эффективность? 14. Что такое бесподстилочный навоз, каковы его разновидности и состав? 15. Расскажите о способах накопления и хранения бесподстилочного навоза. 16. Что вы знаете о способах применения и дозах бесподстилочного навоза? 17. Расскажите о составе и особенностях применения навозной жижи. 18. Каковы состав, хранение и применение птичьего помета? 19. Что вы знаете о составе и свойствах разных типов торфов? 20. Расскажите о способах использования различных торфов. 21. Что вы знаете о соломе в качестве удобрения? 22. Что такое сапропель и зачем он нужен? 23. Расскажите о возможностях использования городского мусора в качестве удобрения. 24. Что такое осадки сточных вод (ОСВ), можно ли их использовать как удобрение? 25. Что такое компост, каковы его виды и состав? 26. Каковы особенности применения различных компостов? 27. Что называют зеленым удобрением и каков его состав? 28. Расскажите о приемах выращивания и использования сидератов. 29. Что вы знаете о повышении эффективности разных сидератов? 30. Расскажите о методах расчетов агрономической и экономической эффективности органических удобрений.

---

## Глава 7

### СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ

●

Удобрения в зависимости от видов, доз, сроков и способов внесения, комбинаций и соотношений их и почвенно-климатических условий обладают неодинаковым действием и последствием. Они наиболее полно используются (и, следовательно, наиболее эффективны) культурами в севооборотах и в других агроценозах при определенном чередовании их, обусловленном структурой посевных площадей каждого хозяйства. Эти обстоятельства вызывают настоятельную необходимость перехода от удобрения отдельных культур к всесторонне обоснованным системам удобрения каждого севооборота (или другого агроценоза) в любом хозяйстве.

*Система удобрения* — это основанное на знаниях свойств и взаимоотношений растений, почвы и удобрений, агрономически и экономически наиболее эффективное и экологически безопасное применение удобрений при любой обеспеченности ими хозяйства в каждом севообороте и внесевооборотном участке (агроландшафте) с учетом конкретных климатических и экономических условий. Более подробное определение системы удобрения можно сформулировать так: система удобрения в севообороте (агроценозе) — всесторонне обоснованные виды, дозы, соотношения и способы применения удобрений (и мелиорантов), определенные с учетом биологических потребностей культур в питательных элементах при принятом чередовании их и фактическом плодородии почвы, для получения максимально возможных урожаев культур хорошего качества при имеющихся ресурсах с одновременным регулированием окультуренности почв в конкретных природно-климатических условиях.

Общую схему системы удобрения каждого севооборота (агроценоза) разрабатывают (и используют), как минимум, на полную ротацию севооборота (или более продолжительный период) на основании среднесрочной (5—10 лет) обеспеченности хозяйств удобрениями и средневзвешенного (по результатам последнего агрохимического обследования) плодородия почв всех полей севооборота с указанием видов, доз, соотношений и общей обеспеченности (потребности) ими в кг/га действующих веществ, а также возможного баланса питательных элементов при ее реализации.

Дозы и соотношения удобрений (и мелиорантов) общей схемы системы удобрения ежегодно корректируются в годовых планах применения удобрения с учетом размещения культур по полям и плодородия почв этих полей, погодных условий и фактической обеспеченности удобрениями каждого севооборота (хозяйства) за год с указанием сроков и способов внесения конкретных форм их в кг/га или т/га физической массы.

На основании годового плана составляют календарный план приобретения (накопления) и применения удобрений (и мелиорантов) с указанием общих количеств конкретных видов их на всю удобряемую площадь каждого севооборота и всего хозяйства. Это позволяет правильно определить объемы складов и хранилищ для агрохимических средств, очередность приобретения количеств и видов их и лучше управлять всеми материально-техническими ресурсами предприятия.

При реализации годовых планов применения удобрений перед внесением скорректированных ранее доз азотных удобрений перед посевом (по результатам почвенной) и в подкормки культур (по результатам растительной диагностики) их еще раз корректируют.

Цель системы удобрения — ежегодно обеспечивать максимально возможную агрономическую и экономическую эффективность и экологическую безопасность имеющихся природно-экономических ресурсов (удобрений, мелиорантов, почв, культур, техники и т. д.) каждого хозяйства при любой обеспеченности ими.

Задачи системы удобрения в каждом агроценозе (хозяйстве) решаются при успешной разработке и реализации ее и заключаются в следующем:

- повышение продуктивности всех возделываемых культур и улучшение качества получаемой продукции с ростом удобренности посевов до оптимальных уровней;

- устранение различий (выравнивание) в плодородии отдельных полей каждого севооборота при любой обеспеченности удобрениями и (или) повышение плодородия почв всех полей до оптимального уровня при соответствующем росте обеспеченности посевов удобрениями;

- повышение оплаты единицы удобрений прибавками урожаев всех возделываемых культур, т. е. рост экономической эффективности применяемых удобрений при любой обеспеченности ими вплоть до максимальной;

- получение сертифицируемой продукции всех культур при постоянном контроле за изменением агрохимических показателей плодородия почв;

- повышение производительности труда всех работников, организационно-хозяйственной и управленческой деятельности специалистов и руководителей;

- постоянное выполнение все возрастающих требований по охра-

не окружающей среды от загрязнения средствами химизации земледелия.

Степень достижения указанных цели и задач системы удобрения существенно изменяется не только от биологических особенностей (природы) возделываемых культур, но и от почвенно-климатических и агротехнических условий, а также от количества (насыщенности) и качества (видов и форм) применяемых удобрений (и мелиорантов), т. е. от всего сложного комплекса факторов жизни и продуктивности возделываемых культур.

### **7.1. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОТРЕБНОСТИ КУЛЬТУР В ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

Неодинаковая потребность различных видов и сортов сельскохозяйственных культур в элементах питания в одних и тех же почвенно-климатических условиях обусловлена (и объясняется) неодинаковым вещественным (сахар, крахмал, белки, клетчатка, жиры, витамины и т. д.) и, следовательно, элементарным (азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера и т. д.) составом основной (товарной) и побочной (нетоварной) продукции, а также разными соотношениями этих двух видов продукции в хозяйственных урожаих.

Существенное влияние на изменение вещественного и элементного состава и, следовательно, потребностей в питательных элементах любой культуры (и сорта) оказывают все жизненно важные факторы внешней среды, влияющие на рост, развитие, а в конечном итоге на величину, качество и соотношения основной и побочной продукции каждой культуры (и сорта).

Сведения о вещественном и элементарном составе основной и побочной продукции большинства сельскохозяйственных культур приведены в главе 2, а более широко и подробно — в различных (лучше зональных) справочниках и рекомендациях научно-исследовательских сельскохозяйственных учреждений.

Неодинаковая потребность различных культур в питательных элементах еще более наглядно выражается в абсолютных величинах в виде биологического, а чаще хозяйственного выноса их с соответствующими урожаями (кг/га) или в виде затрат их (относительного выноса) на единицу основной с соответствующим количеством побочной продукции (кг/т).

Для практического определения оптимальных доз, соотношений удобрений под отдельные культуры в севооборотах обычно используют хозяйственный вынос и затраты питательных элементов (кстати, затраты определяют именно по хозяйственному выносу) на единицу основной с соответствующим количеством побочной продукции.

Корневые и пожнивные (послеуборочные) остатки культур, яв-

ляясь частью биологического выноса, для живых растений — дополнительный к надземной массе потребитель, а для следующих за ними после уборки — дополнительный источник (после минерализации) тех же самых количеств питательных элементов. Учитывая этот факт, а также трудоемкость работ и возможные ошибки в количественном и качественном (элементном) определении послеуборочных остатков, на практике определяют обычно хозяйственный вынос, а по нему — затраты питательных элементов на единицу продукции (табл. 111).

**111. Примерные затраты питательных элементов (кг) на единицу (т) основной с соответствующим количеством побочной продукции у некоторых культур**

| Культура             | Основная продукция | Затраты |                               |                  |
|----------------------|--------------------|---------|-------------------------------|------------------|
|                      |                    | N       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Озимая рожь          | Зерно              | 25—30   | 12—13                         | 25—30            |
| Озимая пшеница       | »                  | 25—35   | 10—12                         | 20—30            |
| Яровая пшеница       | »                  | 30—40   | 10—12                         | 20—30            |
| Ячмень               | »                  | 25—30   | 10—12                         | 20—25            |
| Овес                 | »                  | 27—33   | 12—15                         | 28—33            |
| Просо                | »                  | 30—35   | 10—12                         | 30—35            |
| Кукуруза             | »                  | 23—30   | 9—13                          | 30—40            |
| Гречиха              | »                  | 35—45   | 20—27                         | 55—65            |
| Рис                  | »                  | 20—25   | 8—12                          | 28—32            |
| Горох                | »                  | 55—65   | 13—20                         | 17—25            |
| Вика                 | »                  | 50—60   | 12—16                         | 16—20            |
| Люпин                | »                  | 70—80   | 15—25                         | 40—50            |
| Подсолнечник         | Семена             | 55—65   | 20—30                         | 160—200          |
| Картофель            | Клубни             | 5—6     | 1,5—2,0                       | 7—9              |
| Турнепс              | »                  | 2—3     | 1,0—2,0                       | 3—5              |
| Свекла               | Корнеплоды         | 4—5     | 1,5—2,0                       | 7—9              |
| Лен                  | Соломка            | 14—16   | 7—8                           | 12—14            |
| Клевер с тимфеевкой  | Сено               | 15—25   | 6—10                          | 10—20            |
| Клевер               | »                  | 20—30   | 5—8                           | 10—20            |
| Люцерна              | »                  | 25—35   | 5—8                           | 10—20            |
| Горохо-овсяная смесь | Зеленая масса      | 3—5     | 1—2                           | 3—5              |
| Кукуруза             | »                  | 3—5     | 1—2                           | 4—6              |
| Капуста белокочанная | Кочаны             | 2,5—3,8 | 1,0—1,5                       | 3,5—4,5          |
| Капуста цветная      | »                  | 9—10    | 3—4                           | 12—13            |
| Огурец               | Плоды              | 3—4     | 1—2                           | 4—5              |
| Томат                | »                  | 3—4     | 1,0—1,5                       | 4—6              |
| Морковь              | Корнеплоды         | 3—4     | 1,0—1,5                       | 4—6              |
| Свекла столовая      | »                  | 4—6     | 1,5—2,0                       | 6—7              |
| Лук                  | Луковица           | 3—4     | 1,0—1,5                       | 3—4              |
| Земляника            | Ягоды              | 4—5     | 1—2                           | 5—6              |
| Крыжовник            | »                  | 3—4     | 1—2                           | 4—5              |
| Смородина            | »                  | 5—6     | 1,5—2,0                       | 5—6              |
| Яблоня               | Плоды              | 2—3     | 0,5—1,0                       | 3—4              |
| Груша                | »                  | 2—3     | 0,5—0,9                       | 2,5—3,0          |
| Слива                | »                  | 3,0—3,5 | 0,5—1,0                       | 3—5              |

С ростом продуктивности возделываемых культур, вызванным улучшением почвенно-климатических, агротехнических условий и уровнем удобренности их, почти пропорционально возрастают и хозяйственные выносы питательных элементов с урожаями. Затраты элементов на единицу продукции при этом для одного и того же сорта в конкретных почвенно-климатических условиях остаются постоянными до тех пор, пока рост продуктивности этого сорта лимитируется недостатком удобрений.

Поэтому среднепогодовое содержание питательных элементов на единицу продукции при той или иной продуктивности каждого сорта в конкретных почвенно-климатических условиях как генотипический признак — величины относительно постоянные и служат основой для расчетов хозяйственных выносов, балансов питательных элементов и оптимальных доз удобрений при любой, вплоть до максимальной, продуктивности этого сорта.

Вот почему оптимальное содержание питательных элементов в основной (желательно и в побочной) продукции следует указывать в агротехнике рекомендуемых для производства новых сортов сельскохозяйственных культур. Это одновременно и дополнительное подтверждение основных показателей качества товарной продукции (содержание белка, крахмала, сахара и т. д.) рекомендуемого сорта.

Каждая культура в индивидуальном развитии от семени до семени проходит характерный только для нее цикл (динамику) потребления питательных элементов, поэтому с помощью удобрений можно и нужно регулировать этот процесс на разных этапах роста и развития растений.

Первый этап — прорастание семян — всходы — характеризуется для всех культур относительно слабой потребностью в элементах питания. Но именно в этот период культуры наиболее чувствительны к недостатку, избытку и повышенной концентрации солей в почвенном растворе. Культуры еще не имеют развитую корневую систему и значительные корневые выделения, поэтому нуждаются в небольших количествах макроэлементов (5—20 кг/га д. в.), но обязательно находящихся в легкоусвояемой водорастворимой форме.

Известно, что водорастворимые соли азота и калия, как правило, даже в бедных почвах содержатся, хотя и в небольших количествах, на глубине заделки семян, а водорастворимых солей фосфора даже в плодородных почвах практически нет. Поэтому небольшие дозы суперфосфата (10 кг/га  $P_2O_5$ ) обычно наиболее эффективны в качестве припосевного (припосадочного) удобрения под все культуры на всех почвах.

Под некоторые культуры (бобовые, овощные, пропашные и др.), особенно на очень бедных минеральным азотом почвах, совместно с фосфором эффективно применение азота, лучше в виде комплексного удобрения. И только отдельные культуры (все виды



свеклы) положительно реагируют на добавление к фосфору и азоту калия также в виде соответствующего комплексного удобрения. Микроэлементы в состав припосевного удобрения добавляют (также лучше в виде комплексного удобрения) только тогда, когда посевной (посадочный) материал не обрабатывали соответствующим микроэлементом. Дозы припосевного (стартового) удобрения обычно не превышают 3—10 % общей потребности в них возделываемых культур, хотя иногда (при недостатке удобрений) этим и ограничиваются. Следует подчеркнуть, что недостаток в этот период того или иного элемента не может быть полностью компенсирован впоследствии даже избыточным питанием.

Второй этап — период интенсивного роста и развития вегетативной массы — для большинства культур характерен интенсивным поглощением прежде всего азота, затем фосфора и калия, а для калиелюбивых культур (подсолнечник, свекла, картофель, кукуруза и др.) калий занимает второе место. В этот, как и в последующий, период удобрения могут быть уже в виде солей, растворимых в слабых кислотах, но располагаться должны в зоне активно поглощающих их и воду корней растений. Здесь важна глубина заделки удобрений (особенно в зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения). В зависимости от биологических особенностей культур, агротехнических и почвенно-климатических условий удобрения могут быть внесены как до посева (мелиоранты, органические, фосфорные, калийные и частично или полностью в условиях недостаточного увлажнения азотные), так и после всходов в виде подкормок (обычно микроудобрения, часто азотные и реже калийные). Микроудобрения применяют как некорневые, азотные — как корневые и некорневые и калийные — только как корневые подкормки.

Третий этап — период плодоношения или образования репродуктивных органов — для большинства культур характерен общим снижением интенсивности потребления элементов с одновременной сменой минимумов: возрастает потребность в фосфоре и калии, а для калиелюбивых культур в первую очередь в калии и снижается в азоте. В этот период происходит и интенсивное перераспределение ранее поглощенных элементов: отток их из листьев к семенам, плодам и корнев клубнеплодам. Потребляемые элементы удобрений должны быть в зоне активно поглощающих корней, т. е. внесены раньше в виде допосевного (фосфор и калий) удобрения, но могут быть и в виде подкормок (азотные, а для калиелюбивых культур — часть калийных).

Имея одинаковые этапы роста и развития, сельскохозяйственные культуры существенно различаются по длительности этих этапов и всего вегетационного периода и, следовательно, по динамике потребления питательных элементов.

Наиболее короткий период потребления, заканчивающийся к концу второго этапа роста, у конопли, льна, риса и яровых зерно-

вых культур. Конопля, например, около 2/3 всех питательных элементов потребляет в период от бутонизации до цветения, рис и яровые зерновые (пшеница, ячмень, овес) до 70—80 % элементов — от кущения до цветения, причем на третьем этапе роста и развития эти культуры могут даже терять часть ранее потребленных элементов с отпадом отмерших нижних листьев.

Следовательно, для культур с таким коротким периодом потребления питательных элементов все фосфорные, калийные и часть азотных (в зависимости от почвенно-климатических условий и ожидаемой продуктивности культур) удобрений должны быть внесены до посева и при посеве. Подкормки возможны только для части азотных удобрений с целью уменьшения потерь азота в зонах достаточного и избыточного увлажнения или повышения белковости зерна.

Подавляющее большинство остальных культур (картофель, свекла, кукуруза, озимые зерновые, капуста, огурец, лук, морковь и др.) имеют растянутый на три этапа период потребления питательных элементов, максимум потребления приходится на второй этап. Для этих культур наряду с допосевным и припосевным удобрениями целесообразны и подкормки наиболее подвижными формами (азотные, калийные, микроэлементные) удобрений.

Есть культуры (например, хлопчатник, томат), потребление элементов у которых растянуто до конца вегетации, но максимум наблюдается на третьем этапе роста и развития. Для таких культур наряду с допосевным (фосфорно-калийные и часть азотных) и припосевным [фосфорные и (или) фосфорно-азотные] удобрениями обязательны подкормки (азотные, микроэлементные и азотно-калиевые).

Сельскохозяйственные культуры при неодинаковой динамике потребления питательных элементов поглощают их в разных соотношениях. Например, соотношение  $N : P_2O_5 : K_2O$  в хозяйственных урожаях в среднем у зерновых колосовых культур составляет 3 : 1 : 2,5, у корне-клубнеплодов — 3 : 1 : 4, у зернобобовых — 4 : 1 : 2, т. е. на единицу фосфора различные культуры потребляют неодинаковые количества азота и калия.

Даже для одной и той же культуры (и сорта) соотношение элементов изменяется во времени, так как по мере роста и развития меняются массы и элементный состав образующих органов. Это обуславливает изменения порядка минимумов в разные этапы вегетации культуры.

Динамика потребления питательных элементов зависит и от скороспелости сортов. Ранние (скороспелые) сорта культур, имея наиболее короткий период вегетации, обладают более интенсивным потреблением элементов. Поэтому они более требовательны к условиям питания, которое в виде удобрений обычно получают до посева (посадки) и при посеве (посадке).

Средне- и позднеспелые сорта потребляют элементы за более

длинный период вегетации, обычно в больших количествах, поэтому под них удобрения вносят в несколько приемов: до посева, при посеве и в одну-две и более подкормок.

Итак, для определения общих доз и соотношений удобрений, а также для расчета баланса питательных элементов необходимо иметь данные о затратах питательных элементов на единицу основной и побочной продукции с целью получения того или иного уровня продуктивности каждой культуры (а лучше сорта). Для правильного распределения доз на допосевное, припосевное удобрения и подкормки нужны сведения о динамике потребления отдельных элементов за вегетацию.

Такие данные обычно приводятся в справочниках и рекомендациях зональных научно-исследовательских учреждений или в агротехнической характеристике районированных сортов культур. При отсутствии таких данных их можно (а специалистам нужно) определить самостоятельно. Для этого в хозяйстве выбирают поле (или участок) с выращенным высоким урожаем хорошего качества интересующей культуры (а лучше сорта), отбирают и анализируют (или сдают на анализы) образцы основной и побочной продукции.

По результатам анализов и урожайным данным рассчитывают хозяйственный вынос и затраты питательных элементов на единицу основной с соответствующим количеством побочной продукции, т. е. получают данные, как в таблице 111, но уже максимально уточненные для данного хозяйства. Отбирая и анализируя образцы с лучших участков несколько раз за вегетацию, можно получить максимально уточненные данные о динамике потребления питательных элементов интересующего сорта любой культуры.

Различия биологических потребностей культур (и сортов) в питательных элементах проявляются и в неодинаковой способности растений усваивать питательные элементы из труднодоступных соединений. Например, бобовые культуры в симбиозе с клубеньковыми бактериями усваивают молекулярный азот атмосферы, обеспечивая себя этим элементом минимум на 50 (зернобобовые), максимум на 95 % и более (люцерна и др.) и в значительной степени (особенно многолетние бобовые травы) улучшают азотное питание следующих за ними в севооборотах других культур.

Известна и способность люпинов, гречихи, горчицы и других культур усваивать фосфор из труднодоступных соединений и улучшать усвоение фосфатов следующих за ними в севооборотах культур.

К биологическим особенностям потребления питательных элементов относится и неодинаковая отзывчивость разных культур на органические и минеральные удобрения при эквивалентных дозах по питательным элементам.

В предыдущих главах (2, 3, 4) уже подробно сообщалось о неодинаковом влиянии на величину и качество продукции различных культур сопутствующих элементов (магний, натрий, сера,

хлор, микроэлементы и др.) в составе известковых, минеральных и органических удобрений.

Таким образом, глубокие знания и всесторонний учет биологических особенностей потребления питательных элементов каждого вида и сорта возделываемых культур в конкретных условиях позволяют наиболее квалифицированно (профессионально) устанавливать и применять дозы, соотношения и комбинации видов, а также сроки, способы (приемы) и формы различных удобрений.

Эффективность удобрений, внесенных с учетом биологической потребности под культуру конкретного сорта, зависит и от комплекса факторов внешней среды. Под влиянием каждого из них она изменяется неодинаково, но наиболее значительно под влиянием первого лимитирующего (находящегося в минимуме), затем второго, третьего и т. д. вплоть до нерегулируемых факторов (возможности сорта, приход солнечной энергии, количество и распределение осадков в богарном земледелии и т. д.).

Всю совокупность факторов внешней среды можно объединить в три основные группы: почвенно-климатические, агротехнические и факторы, обусловленные количеством (насыщенность, дозы) и качеством (виды, соотношения, комбинации и формы) удобрений.

## 7.2. ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

**Почвенные условия.** Процессы образования каждого типа почв, как известно, обусловлены природой и свойствами материнских пород, климатом, флорой и фауной конкретных территорий. Можно с уверенностью утверждать об огромном влиянии почвенно-климатических условий на изменения эффективности не только всевозможных удобрительных, но и любых других средств химизации.

Максимальные относительно контроля прибавки урожаев всех возделываемых культур от органических и минеральных удобрений при раздельном и совместном применении их достигаются на наиболее бедных (малопродуктивных) почвах. С переходом к более плодородным и окультуренным почвам возрастает роль в качестве лимитирующих факторов роста и развития растений климатических и других условий, поэтому эффективность удобрений, как правило, снижается.

Если говорить о конкретных типах и подтипах почв, то подобное явление наблюдается при переходе от дерново-сильноподзолистых, к средне- и слабоподзолистым, далее от светло- к темно-серым лесным, затем от оподзоленных и выщелоченных к обыкновенным и южным черноземам, далее от темно- к светло-каштановым почвам.

В пределах каждого типа и подтипа эффективность удобрений

зависит от гранулометрического состава почвы. Но и здесь наблюдается общая для разных по плодородию почв закономерность: чем беднее почва (более легкого гранулометрического состава), тем больше относительные прибавки (% от контроля) урожаев культур от удобрений. Хотя абсолютные прибавки (т/га) на более плодородных (окультуренных) почвах (по типу, подтипу, разности и гранулометрическому составу) часто выше, чем на менее плодородной.

Если рассматривать роль отдельных видов удобрений в формировании урожая возделываемых культур, то азотные удобрения наиболее эффективны на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах и на всех орошаемых почвах. Для подзолистых суглинистых почв, например, типична следующая средняя обеспеченность урожаев культур отдельными элементами (% от максимальной продуктивности): азотом 38, фосфором 76 и калием 82. С улучшением влагообеспеченности эффективность азотных удобрений возрастает на всех типах и разностях почв.

Фосфорные удобрения наиболее эффективны в районах недостаточного увлажнения и засушливого климата на южных, обыкновенных черноземах, каштановых и бурых почвах, а также на слабоокультуренных почвах других типов. Например, на дерново-подзолистых неокulturенных разностях (1—2-го класса) они могут по эффективности даже превосходить азотные удобрения.

Калийные удобрения наиболее эффективны на торфяных, затем на дерново-подзолистых и серых лесных почвах. На других типах почв (сероземы, каштановые и черноземы) эффективность их резко снижается, а нередко отсутствует.

По гранулометрическому составу на легких разностях всех типов почв, как правило, возрастает эффективность азотных, калийных и микроудобрений, а на тяжелых — фосфорных удобрений. Причем в первом случае это связано с более легкой вымываемостью элементов, во втором — с большим закреплением фосфора в труднодоступные соединения. Если тяжелые разности представлены минералами, способными фиксировать калий и аммоний, то на них наряду с фосфорными эффективны калийные и азотные удобрения.

Об эффективности удобрений на почвах с неблагоприятной (кислой или щелочной) реакцией нужно судить по отношению к ней возделываемых культур. Отношение культур к реакции почв, методы определения нуждаемости в мелиорации и доз мелиорантов в разных ситуациях подробно изложены в главе 4. Следует отметить, что химическая мелиорация (известкование и гипсование) почв, как уже подчеркивалось, должна всегда предшествовать применению удобрений.

Эффективность всех видов удобрений под всеми культурами значительно возрастает при нейтрализации кислых и щелочных

почв и достигает максимума при оптимальной для возделываемых культур реакции. Например, по обобщенным средним данным опытов с ячменем на дерново-подзолистых почвах, окупаемость 1 кг азота удобрений прибавкой урожая зерна при  $pH_{\text{сол}}$  меньше 5 составляла 7,6—8,4 кг, при  $pH_{\text{сол}}$  больше 5,6 — 18,6—20,2 кг.

Эффективность каждого вида удобрений снижается с ростом обеспеченности любого типа, подтипа и разности почв усвояемыми для растений формами соответствующих элементов и, как правило, исчезает на всех разностях при высокой или очень высокой (5—6-й класс), а нередко и при более низкой обеспеченности ими.

Например, по обобщенным Л. М. Державиным (1992) данным многочисленных опытов агрохимической службы страны (ЦИНАО) с озимой пшеницей на дерново-подзолистых среднеобеспеченных калием (100 мг/кг) почвах, прибавки урожая зерна от 60 кг/га  $P_2O_5$  составили: при содержании подвижного фосфора в почве 50 мг/кг — 0,43 т/га, 100 мг/кг — 0,36 т/га и 150 мг/кг — 0,28 т/га, а на выщелоченном черноземе — соответственно 0,94; 0,51 и 0,08 т/га. От 60 кг/га  $K_2O$  прибавки урожая зерна озимой пшеницы составили: на дерново-подзолистых почвах при содержании обменного калия 50 мг/кг — 0,64 т/га, 100 мг/кг — 0,33 т/га и 150 мг/кг — 0,02 т/га, а на среднеобеспеченных фосфором (125 мг/кг) темно-серой лесной почве и оподзоленном черноземе при содержании обменного калия 75 мг/кг — 0,49 т/га, 125 мг/кг — 0,25 т/га и 175 мг/кг — 0,02 т/га.

Аналогичные закономерности изменения эффективности всех видов минеральных удобрений типичны для всех видов возделываемых культур на любых почвах, но проявляются с неодинаковой интенсивностью. Удобрения (и мелиоранты) одновременно изменяют агрохимические показатели pH, Нг, S, Т (ЕКО), V, содержание и степень подвижности питательных элементов, органического вещества и другие свойства почв. В качестве примера приведем фрагмент данных длительного стационарного опыта кафедры земледелия Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева, где на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве проводили опыты с 1912 г. В варианте без удобрений средний урожай картофеля за 1955—1972 гг. составил 6,7 т/га, а в 1973 г. при внесении  $N_{100}P_{150}K_{120}$  — 16,0 т/га и почва имела pH 3,83; содержание гумуса 1,45 %, подвижного фосфора и обменного калия (по Кирсанову) соответственно 19 и 41 мг/кг. В варианте систематического применения удобрений средний урожай картофеля за эти годы 15,4 т/га, а в 1973 г. при той же дозе удобрений 24,7 т/га; pH почвы 3,92, содержание гумуса 1,61 %, подвижного фосфора и калия соответственно 100 и 133 мг/кг. В варианте с систематическим применением минеральных удобрений и навоза и периодическим известкованием почвы средний урожай картофеля за те же годы составил 19,1 т/га, а в 1973 г. при той же дозе удобрений — 32,1 т/га, а почва, как и следовало ожидать, оказалась наи-

более плодородной (рН 5,67, содержание гумуса 2,07 %, подвижных фосфора и калия соответственно 128 и 207 мг/кг).

Аналогичные данные с картофелем и многими другими культурами получены и в других длительных опытах, проводимых в разных странах. Они убедительно свидетельствуют о громадной, если не решающей роли удобрений и мелиорантов в повышении урожайности культур и улучшении качества получаемой продукции с одновременным регулированием (как правило, повышением) плодородия почв.

Накопленные с помощью удобрения (и мелиорантов) подвижные формы питательных элементов со временем распределяются по всему корнеобитаемому слою и оказываются наиболее ценными при неблагоприятных условиях, когда внесение свежих удобрений (и мелиорантов) даже в высоких дозах при неизбежной локализации их в какой-то части пахотного горизонта может быть менее эффективным.

Систематическое агрохимическое обследование почв, проводимое с 1965 г. во всех хозяйствах (включая приусадебные и дачные участки), выявило существующую неоднородность (пестроту) агрохимических показателей в пределах не только типов, подтипов и разностей почв, но и часто одного поля или даже участка поля. Это обстоятельство обусловило необходимость практического учета имеющихся различий при классификации почв по этим показателям (классификация приведена ранее в главе 3) и при определении и коррекции доз соответствующих удобрений.

*По относительным показателям* (классам, группам) почв корректируют рекомендуемые дозы удобрений под все культуры, если в рекомендации это не указано — введением соответствующих поправочных коэффициентов.

Поправочные коэффициенты к дозам должны обеспечивать получение желаемой (плановой, возможной) урожайности культур хорошего качества с одновременным регулированием обеспеченности почв соответствующими элементами. Поэтому при средней обеспеченности почвы питательными элементами конкретной культуры (3-й класс — для зерновых, зернобобовых и трав, 4-й класс — для пропашных и 5-й класс — для овощных, а по фосфору и для технических культур) поправочный коэффициент к дозе равен 1. При возделывании культур на более бедной (менее окультуренной), чем средний класс, почве поправочный коэффициент должен быть больше 1, чтобы не только обеспечить культуру, но и одновременно повысить обеспеченность почвы этим элементом, а на более плодородной, чем средний класс, почве — меньше 1 с целью частичного использования почвенного изобилия по этому элементу. При изменении на один класс доза соответствующего удобрения в среднем для всех культур должна изменяться на 20—30 %, т. е. для почвы беднее средней для конкретной культуры на один класс поправочный коэффициент дол-

жен быть 1,2—1,3, на два класса — 1,4—1,6 и т. д., для почвы богаче средней на один класс — 0,8—0,7, на два класса — 0,6—0,4 и т. д.

Применение поправочных коэффициентов к рекомендуемым дозам удобрений в конкретных почвенно-климатических условиях устраняет недостаток рекомендаций, грубые ошибки в применении удобрений и тем самым повышает их агрономическую и экономическую эффективность.

По абсолютным показателям содержание усвояемых форм питательных элементов в почве (мг/кг) пересчитывают (принимая массу пахотного слоя почвы на 1 га равной 3 млн кг) в кг/га путем умножения (после соответствующих сокращений) на 3 и определяют (по результатам полевых опытов) часть их, усвоенную культурой, которую называют коэффициентом использования соответствующего питательного элемента почвы (КИП) по следующей формуле:

$$\text{КИП} = \frac{B_0}{3} \cdot 100,$$

где  $B_0$  — хозяйственный вынос элемента в варианте без удобрений (или без этого удобрения), кг/га; 3 — запасы подвижных форм элемента, кг/га; 100 — для выражения в %.

Разберем конкретный пример (табл. 112, данные Вергей) по определению КИП картофелем на дерново-среднеподзолистой супесчаной почве с pH 4,8, Нг 3,5 и S 3 мг · экв/100 г, V 46,1 %, обеспеченность фосфором и калием по Кирсанову 67 и 102 мг/кг, легкогидролизуемого азота 50 мг/кг, содержание гумуса 1,5 %. Следовательно, в пахотном слое этой почвы (при массе его 3 млн кг) содержится: 201 (67 · 3) кг/га  $P_2O_5$ , 306 (102 · 3) кг/га  $K_2O$  и 150 (50 · 3) кг/га N. Картофель в варианте без удобрений с хозяйственным урожаем 6,2 т/га вынес 94 кг/га N, 27 кг/га  $P_2O_5$  и

$$127 \text{ кг/га } K_2O, \text{ следовательно, } \text{КИП}_N = \frac{94 \cdot 100}{150} = 63 \%; \text{ КИП}_{P_2O_5} = \frac{27 \cdot 100}{201} = 13 \%; \text{ КИП}_{K_2O} = \frac{127 \cdot 100}{306} = 41 \%.$$

**112. Урожайность и хозяйственный вынос питательных элементов картофелем при разном удобрении на дерново-подзолистой супесчаной почве**

| Вариант опыта        | Урожайность клубней, т/га | Хозяйственный вынос, кг/га |          |        |
|----------------------|---------------------------|----------------------------|----------|--------|
|                      |                           | N                          | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| Без удобрений        | 16,2                      | 94                         | 27       | 127    |
| $N_{60}P_{30}$       | 23,7                      | 153                        | 36       | 201    |
| $N_{60}K_{60}$       | 27,8                      | 169                        | 37       | 220    |
| $P_{30}K_{60}$       | 20,2                      | 110                        | 33       | 186    |
| $N_{60}P_{30}K_{60}$ | 25,9                      | 152                        | 42       | 245    |



Одновременно можно определить эти показатели и в парных комбинациях, где соответствующее удобрение не вносили: по  $PK-KIP_N = \frac{110 \cdot 100}{150} = 73\%$ , по  $NK-KIP_{P_2O_5} = \frac{37 \cdot 100}{201} = 18\%$ , по  $NP-KIP_{K_2O} = \frac{201 \cdot 100}{306} = 66\%$ .

Как видно из приведенных данных и расчетов, коэффициенты использования питательных элементов почвы значительно изменяются по влиянием удобрений, а определяют их, как правило, для всех культур только в вариантах без удобрений.

Обобщение Л. М. Державиным (1992) многочисленных данных опытов ЦИНАО показало даже при одинаковом уровне исходной обеспеченности сильное варьирование КИП фосфора и калия, составившее соответственно: для озимой пшеницы 63 и 55 %, озимой ржи 78 и 89, яровой пшеницы 52 и 56, ярового ячменя 55 и 95, картофеля 63 и 85, сахарной свеклы 71 и 41, льна-долгунца 64 и 86 %.

При увеличении от низкой до высокой обеспеченности почв подвижными элементами КИП фосфора и калия снижались (т. е. изменялись) еще значительно: для озимой пшеницы в 4,6—5,7 и 2,7—3,4 раза, озимой ржи в 3,7—4,5 и 3,9 раза, яровой пшеницы в 1,7—3,2 и 2,7—2,8 раза, ячменя в 3,9—5,1 и 1,8—2,6 раза, картофеля в 3,8—4,4 и 2,9 раза, сахарной свеклы в 4,9—6,4 и 2,3—2,6 раза, льна-долгунца в 6,0 и 2,0—2,3 раза.

Особенно сильно КИП всех элементов колеблется под влиянием погодных условий. По обобщенным на кафедре агрохимии Московской сельскохозяйственной академии данным из различных источников, коэффициенты использования разными культурами подвижного фосфора в зависимости от погодных и агротехнических условий колебались в 10—15 раз, а калия — в 10 раз.

Следовательно, для коррекции и определения доз удобрений по результатам обеспеченности почв усвояемыми (подвижными) формами питательных элементов лучше пользоваться не абсолютными (мг/кг и КИП), а относительными показателями (класс, поправочные коэффициенты) их, так как указанная выше вариабельность первых от многих факторов может привести (часто и приводит) не к повышению, а к снижению эффективности удобрений.

**Климатические и погодные условия** (уровень светового питания растений, температура и влажность почвы и воздуха). В общем комплексе факторов, определяющих эффективность удобрений, они часто имеют решающее значение.

Чем выше уровень светового питания при нормальной влагообеспеченности, тем больше синтезируется углеводов в растениях и тем больше азота они способны усвоить. Свет воздействует на питание растений не только через фотосинтез, но и через транс-

пирацию, которая, влияя на транспорт питательных элементов, определяется солнечной радиацией, влажностью и температурой воздуха. С повышением влажности воздуха устойчивость растений к увеличению концентрации питательных растворов возрастает.

Температура почвы определяет темпы трансформации питательных элементов в ней и поглощение их растениями. При температуре 8—10 °С уменьшаются поступление, передвижение и включение в обмен веществ азота и фосфора, а при температуре 5—6 °С и ниже потребление корнями этих (и других) элементов резко снижается. С повышением температуры с 10 до 25 °С возрастают мобилизация в почве и поглощение растениями питательных элементов почвы и удобрений.

Оптимальная температура днем (23—25 °С) соответствует 14—16 °С среднесуточных температур и обычно совпадает с периодом выхода в трубку — колошением зерновых колосовых культур. В Нечерноземной зоне, по данным А. П. Федосеева, среднемесячная температура летнего периода выше 18,1 °С несколько снижает эффективность удобрений, а в Черноземной зоне повышение температуры воздуха за май—июль на 1 °С больше многолетней нормы снижает прибавку урожая зерна от удобрений (при дозах 120—180 кг/га д. в.) в среднем на 0,02 т/га.

Увеличение дефицита влажности воздуха на 1 гПа в мае снижает эффективность удобрений в среднем на 40 кг/га, в июле — на 4 кг/га.

Влагообеспеченность почв страны определяется годовым количеством осадков, которое уменьшается с севера на юг и с запада на восток в европейской части, а в азиатской — с востока на запад.

Уменьшение годовой нормы осадков с севера на юг на 100 мм в европейской части России снижает эффективность средних доз удобрений в среднем на 0,11 т/га для всех зерновых культур и на 0,19 т/га для озимых культур. Снижение запасов влаги в почве на 10 мм за вегетацию зерновых культур снижает прибавки от удобрений в среднем на 10—20 кг/га. Если при отношении количества осадков к уровню испаряемости, равном 1, эффективность удобрений принять за 100 %, то каждое увеличение засухливости на 10 % снижает эффект удобрений почти на 15 %.

С увеличением влажности до 90 % НВ на почвах с объемной массой 1,2—1,3 г/см<sup>3</sup> и до 80 % на более плотных почвах (1,5—1,6 г/см<sup>3</sup>) эффективность удобрений возрастает. Дальнейшее увлажнение почв до 100—120 % НВ на первых почвах постепенно, а на вторых резко снижает эту эффективность.

Избыток влаги даже в отдельные периоды в почвах Нечерноземной зоны (и в орошаемых районах) России обуславливает внутрипочвенный и поверхностный сток вод, миграцию с ними питательных элементов и, следовательно, влияет на состав грунтовых, речных и озерных вод.

Из удобрений и почв выщелачиваются кальций, сера, магний,

азот, углерод, натрий, калий и другие элементы, но меньше всего фосфор как наименее подвижный элемент. Максимально эти процессы происходят во время весенних паводков и после уборки урожая осенью.

На суглинистых и супесчаных почвах Нечерноземья при насыщенности удобрениями ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) с атмосферными осадками вымывается соответственно до 50 и 70—120 кг/га кальция, 3—7 и 10—15 магния, 14 и 25 серы, 7 и 10—12 калия, 1—6 и 14—18 кг/га азота.

С поверхностным стоком (водная эрозия) ежегодно может уноситься до 10 т/га и более наиболее ценной тонкодисперсной фракции почв, содержащей значительные количества (обычно больше, чем в среднем в этой почве) питательных элементов. Например, на Смоленской опытной станции из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы с крутизной склона 4—6° и длиной до 300 м ежегодно с 1 га смывалось до 5,7 т мелкозема, содержащего до 127 кг гумуса, 98 калия, 24 азота и 10 кг фосфора.

Регулирование водного режима средствами гидромелиорации и агротехники снижает потери питательных элементов почв и удобрений за счет выщелачивания и не только водной, но и ветровой эрозии.

Эффективность средних доз минеральных удобрений (120—180 кг/га д. в. NPK) в зависимости от условий увлажнения в летние месяцы может изменяться почти в 2 раза (табл. 113).

**113. Средняя эффективность NPK на почвах Нечерноземной зоны в зависимости от условий увлажнения мая—июля (обобщение Федосеева)**

| Увлажнение    | Среднее количество осадков, мм |                      | Средний дефицит влажности воздуха, мбар |                      | Средняя прибавка урожая, NPK, т/га |        |             |        |                 |        |
|---------------|--------------------------------|----------------------|---|----------------------|------------------------------------|--------|-------------|--------|-----------------|--------|
|               | Наиболее влажный месяц         | Наиболее сухой месяц | Наиболее влажный месяц                  | Наиболее сухой месяц | Озимая пшеница                     |        | Озимая рожь |        | Яровые зерновые |        |
|               |                                |                      |   |                      | Суглинки                           | Супеси | Суглинки    | Супеси | Суглинки        | Супеси |
| Нормальное    | 80                             | 40                   | 5,6                                     | 6,8                  | 0,87                               | 0,81   | 0,79        | 0,76   | 0,83            | 0,72   |
| Недостаточное | 75                             | 20                   | 6,2                                     | 8,7                  | 0,44                               | —      | 0,41        | 0,50   | 0,41            | 0,41   |
| Избыточное    | 125                            | 50                   | 5,2                                     | 6,2                  | 0,52                               | 0,97   | 0,52        | 0,59   | 0,60            | 0,70   |

Эффективность удобрений на суглинистых почвах в годы с недостатком и избытком летних осадков снижается, причем в первом случае наиболее значительно. На легких почвах при избытке осадков под пшеницей и яровыми культурами она остается высокой (если посевы не полегают), а под рожью (менее устойчивой к полеганию) снижается.

По данным длительного опыта кафедры земледелия МСХА, в годы с сухим июнем (осадков менее 50 мм, температура выше 18 °С), нормально увлажненным (50—90 мм и 16—18 °С) и влаж-

ным (более 90 мм, температура менее 16 °С) при насыщенности севооборота удобрениями ( $N_{50}P_{75}K_{60}$ ) оплата 100 кг д. в. удобрений составляла (т/га): зерном озимой ржи 0,35; 0,44 и 0,75; зерном овса 0,17; 0,27 и 0,46; клубнями картофеля 4,3; 6,3 и 7,6; сеном клевера 1,4; 1,6 и 2,9; соломкой льна 0,16; 0,72 и 0,92.

Эффективность минеральных удобрений в годы с сухим июнем снижалась в среднем по всем культурам на 36 % (особенно резко подо льном), а с влажным июнем возрастала на 52 % (особенно резко под клевером) по сравнению с оплатой в годы с нормально увлажненным июнем. Сочетание этих же доз минеральных удобрений с навозом (насыщенность 10 т/га) смягчало отрицательное действие недостатка осадков в июне; эффективность минеральных удобрений при этом снижалась в среднем только на 27 %.

В среднем в Нечерноземной зоне прибавка урожаев зерна от минеральных удобрений составляет 0,6 т/га с колебаниями из-за погодных условий  $\pm 40$  %, а в Центрально-Черноземной зоне — соответственно 0,52 т/га и  $\pm 44$  %. Причем варьирование количества осадков за теплый период года также возрастает от Нечерноземной ( $V = 20$  %) к Центрально-Черноземной ( $V = 25-35$  %) зоне.

Совместное применение разных видов удобрений наиболее стабильно (варьирование 30—45 %), а эффективность отдельных удобрений под влиянием погодных условий варьирует более значительно: азотных до 50 %, фосфорных до 65 % и калийных до 75 %.

Научно обоснованное применение удобрений ослабляет отрицательное влияние неблагоприятных погодных условий на продуктивность возделываемых культур. Грамотное применение удобрений снижает отрицательное действие низких температур, заморозков и других неблагоприятных метеорологических условий, что наиболее важно для озимых культур.

По данным 40 опытов, обобщенным А. П. Федосеевым, при внесении фосфорно-калийных (РК) удобрений количество погибших при перезимовке растений озимых ржи и пшеницы снизилось с 42 (без удобрений) до 27 %, а при сочетании РК с оптимальной дозой азота до посева гибель озимых сократилась до 18 %.

В целом связь эффективности удобрений с метеорологическими факторами характеризуется следующими коэффициентами корреляции (табл. 114).

**114. Коэффициенты корреляции между эффективностью средних доз минеральных удобрений и метеорологическими факторами**

| Зона                   | Осадки    | Влажность почвы | Температура воздуха | Дефицит влажности воздуха | Комплекс погодных условий |
|------------------------|-----------|-----------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| Нечерноземная          | 0,20—0,50 | 0,30—0,53       | 0,20—0,25           | 0,40—0,46                 | 0,50—0,81                 |
| Центрально-Черноземная | 0,30—0,78 | 0,60—0,70       | 0,30—0,40           | 0,30—0,50                 | 0,60—0,86                 |

Множественные коэффициенты корреляции в разработанных А. П. Федосеевым (Институт экспериментальной метеорологии) уравнениях регрессии по оценкам эффективности удобрений как функции метеорологических факторов показывают, что изменчивость погодно-климатических условий объясняет 25—60 % колебаний эффективности удобрений в Нечерноземной и 35—70 % в Центрально-Черноземной зонах. Следовательно, при определении оптимальных и особенно максимальных доз удобрений необходимо ориентироваться на среднеголетние метеорологические условия конкретных территорий и ежегодно корректировать их с учетом данных прошедшего и прогноза предстоящего года. С увеличением насыщенности посевов удобрениями и ростом продуктивности культур колебание урожайности их в зависимости от метеорологических условий конкретного года в абсолютных величинах (т/га) возрастает, а в относительных (% к среднему) — снижается.

### 7.3. АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Обработка почвы, обусловленные ею сроки и способы внесения и глубина заделки удобрений, мелиорантов и семян растений, борьба с болезнями, вредителями и сорняками, видовой и сортовой состав и чередование культур — все эти агротехнические факторы существенно влияют на водно-воздушный, температурный и пищевой режимы почв и, следовательно, на эффективность удобрений.

При разных способах обработки почвы различными орудиями распределение удобрений по профилю обрабатываемого слоя происходит неодинаково (табл. 115).

**115. Распределение удобрений (%) при заделке разными орудиями по живью зерновых культур**

| Орудие и глубина (см) обработки почвы   | Суперфосфат    |      |       |       | Калийная соль |      |       |       |
|---|----------------|------|-------|-------|---------------|------|-------|-------|
|   | Слой почвы, см |      |       |       |               |      |       |       |
|   | 0—5            | 5—10 | 10—20 | 20—30 | 0—5           | 5—10 | 10—20 | 20—30 |
| Плуг с предплужником, 20                | 17             | 21   | 62    | —     | 18            | 30   | 52    | —     |
| Плуг без предплужника, 20               | 48             | 30   | 22    | —     | 42            | 33   | 25    | —     |
| Плуг с предплужником, 30                | 15             | 18   | 37    | 30    | 18            | 19   | 32    | 31    |
| Плуг без предплужника, 30               | 43             | 27   | 24    | 6     | 46            | 20   | 27    | 7     |
| Тяжелая дисковая борона в два следа, 20 | 17             | 39   | 44    | —     | 16            | 32   | 52    | —     |
| Культиватор с универсальными лапами, 20 | 38             | 38   | 24    | —     | 38            | 31   | 31    | —     |
| Культиватор с пружинными лапами         | 24             | 33   | 43    | —     | 39            | 29   | 32    | —     |

При обработке даже одним и тем же орудием распределение

удобрений, внесенных разбросным способом по профилю обрабатываемого слоя почвы, зависит от физических свойств их.

Наивысший эффект под всеми культурами достигается при локальном внесении удобрений на желаемую глубину, обычно не менее 8—10 см для тяжелых и 12—15 см для легких по гранулометрическому составу почв. По обобщенным ВИУА более чем за 20 лет данным, урожаи всех культур за счет локализации равных доз удобрений по сравнению с разбросным внесением возрастают в среднем на 0,5—1,0 т/га зерн. ед., причем наиболее значительно под интенсивными сортами возделываемых культур. При локализации питательные элементы удобрений более полно используются растениями, значительно снижаются потери их, поэтому дозы удобрений можно уменьшить на 30—50 % по сравнению с разбросным внесением, т. е. не менее чем в 2 раза повысить удобряемую площадь и эффективность применяемых удобрений.

Эффективность удобрений возрастает с глубиной заделки всех видов их, с уменьшением влагообеспеченности посевов, а при одной и той же влагообеспеченности зависит от подвижности в почвах видов и форм удобрений. Глубина заделки наиболее важна для органических и фосфорных, затем калийных, азотных и микроудобрений.

При достаточном количестве осадков эффективность органических, фосфорных и калийных удобрений, особенно на дерново-подзолистых почвах, возрастает с увеличением глубины их заделки только в пределах окультуренного пахотного слоя. При более глубокой обработке таких почв эффективность удобрений снижается, так как они разбавляются большим объемом почвы, значительная часть которой бедна питательными элементами и имеет неблагоприятные агрохимические и физические свойства.

Эффективность удобрений зависит и от времени основной обработки почвы. Особенно это важно для азотных удобрений, так как, например, при поздней зяблевой обработке минерализация корневых и пожнивных остатков (предшественников и органического вещества почв) из-за кратковременности периода минимальная и на таком фоне значительно возрастает эффективность азотных удобрений.

Сроки и способы посева (посадки), а также качество посевного (посадочного) материала сильно влияют на эффективность удобрений. На окультуренных плодородных почвах потери урожая при запаздывании с посевом на 1 день достигают 0,10—0,15 т/га. Сроки посева особенно важны в южных районах страны: если они оптимальны, то повышается устойчивость культур к засухе, суховеям, а также к ранним осенним и поздним весенним заморозкам. Даже в Нечерноземной зоне опоздание с посевом на 10 и более дней для большинства культур приводит к значительному снижению урожаев, особенно в годы с недостатком влаги в период вегетации растений.

Эффект от удобрений зависит от нормы высева семян и густоты стояния растений, т. е. от площади питания каждого растения. Оптимальные нормы высева семян и густоты стояния растений указаны в растениеводческих справочниках и зависят от окультуренности (плодородия) почв. В пределах даже одного вида растений на одной и той же почве они колеблются в зависимости от сортов, устойчивости к полеганию и качества посевного материала. Переход от высококлассных семян элитных сортов к менее качественным при прочих равных условиях значительно снижает эффективность удобрений.

Качественное и своевременное проведение работ до посева, при посеве, в период вегетации и уборки урожаев также значительно повышает эффективность удобрений. Создание с помощью удобрений и мелиорантов оптимальных условий питания растений заметно повышает устойчивость их ко всем неблагоприятным факторам в период вегетации, в частности к болезням, вредителям и сорнякам. Например, минеральные удобрения повышают устойчивость ячменя к шведской мухе, озимой пшеницы к шведской и гесенской мухам, всех зерновых культур, особенно фосфорные, к корневым гнилям и бурой ржавчине. Однако азотные удобрения, особенно при их избытке, могут снижать устойчивость культур к болезням и вредителям.

Удобрения в оптимальных дозах и соотношениях снижают активность снежной плесени в посевах озимых культур и одновременно повышают конкурентные способности культур сплошного высева, особенно озимых, по отношению к сорнякам. Минеральные удобрения отдельно и в сочетании с органическими повышают устойчивость картофеля к фитофторозу, ризоктониозу и парше обыкновенной, хотя последняя и появляется чаще при известковании почв, но может подавляться борными удобрениями. Удобрения, естественно, не отменяют защиту растений биологическими, химическими и агротехническими средствами.

Трудно переоценить роль биологических методов защиты растений от болезней и вредителей (создание новых сортов, устойчивых к болезням, вредителям и полеганию посевов) в повышении эффективности удобрений.

Велика роль и химических средств защиты растений в повышении эффективности удобрений под разными культурами во всех почвенно-климатических зонах.

Известно, что засоренность посевов существенно снижает урожайность возделываемых культур, так как сорняки гораздо сильнее, чем культурные растения, используют улучшение условий питания, и если не бороться с ними, это приведет к резкому снижению эффективности удобрений. Сорняки в связи с неодинаковой, часто гораздо большей, чем у культурных растений, потребностью в питательных элементах резко изменяют популяции преобладающих видов при удобрении посевов. Зная преобладание

того или иного вида и форм удобрений, в определенной степени можно прогнозировать преобладающие виды сорняков и осушать систему мер борьбы с ними.

Трудно переоценить роль гербицидов в борьбе с сорняками и повышении эффективности удобрений при таком сочетании их во времени и пространстве под разными культурами, чтобы добиться синергизма или аддитивного взаимодействия.

Под предпосевную обработку возможно совместное внесение удобрений и гербицидов корневого действия, но чаще обработку гербицидами совмещают с азотными подкормками озимых зерновых и многолетних трав, а также с некорневыми подкормками азотными и микроудобрениями в сочетании с фунгицидами, инсектицидами и регуляторами роста растений. Еще проще сочетать в одном поле последовательно под культурами в оптимальных дозах и при наилучших способах внесения удобрения, пестициды и регуляторы роста.

В серии полевых опытов с кукурузой на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, обобщенных на кафедре агрохимии МСХА, сорняки снижали эффективность удобрений в посевах этой культуры более чем в 5 раз, гербициды в 4 и более раз повышали эффективность удобрений по сравнению с засоренными посевами, но были менее эффективны, чем систематическая ручная прополка посевов.

Гербициды, уничтожая сорняки, оказывают угнетающее влияние и на защищаемую культуру, однако вред от сорняков несравненно значительнее, поэтому химическая прополка, как правило, очень эффективна.

Оптимизация доз и соотношений удобрений под конкретную культуру повышает не только конкурентную способность ее к сорнякам, но и к применяемым гербицидам, а также к другим неблагоприятным факторам окружающей среды.

Например, при комплексном воздействии расчетных доз удобрений ( $N_{43}P_{33}K_{74}$  и  $N_{86}P_{66}K_{148}$ ), симазина (до всходов) и 2,4-Д (по всходам) на серой лесной почве урожаи зеленой массы кукурузы (за 100 % принят урожай без удобрений с однократной ручной прополкой) составил: в удобренных вариантах без гербицидов — общий 83 и 115 %, в том числе початков молочно-восковой спелости 105 и 151 %; то же + одна ручная прополка 131 и 124 %, в том числе початков 170 и 186 %; удобрения + симазин 131 и 151, 221 и 232 %; то же + 2,4-Д 160 и 164, 307 и 230 %. Наиболее эффективной оказалась первая доза удобрений в сочетании с симaziном до всходов (2 кг/га) и бутиловым эфиром 2,4-Д по всходам (0,6 кг/га); при этом общая масса возросла в 1,6 раза, а початков — в 3 раза по сравнению с вариантом без гербицидов.

Здоровое, не поврежденное вредителями или другими факторами окружающей среды растение, естественно, лучше реагирует на любое улучшение условий питания, в том числе на удобрения.



Например, по данным Ротамстедской опытной станции, урожай зерна яровой пшеницы, поврежденной нематодами и грибными заболеваниями, при  $N_{75}$  составил 1,45 т/га, а при обработке почвы формалином увеличился до 3,75 т/га. Применение  $N_{225}$  без формалина обеспечило урожай 2,93 т/га, а при сочетании с ним — 4,49 т/га.

Эффективность удобрений зависит от вида и урожайности предшественников удобряемых культур, а также от состава и существующего чередования культур во времени и пространстве. Многие культуры обладают биологической способностью усваивать питательные вещества из труднодоступных соединений: все бобовые культуры в симбиозе с клубеньковыми бактериями могут обеспечить собственные потребности в азоте на 50—97 % (в зависимости от вида и длительности возделывания) за счет запасов его в атмосфере, а люпины, гречиха, горчица усваивают фосфор из труднодоступных фосфатов почв и удобрений.

После минерализации корневых и пожнивных остатков этих (и других) культур содержащиеся в них питательные элементы становятся доступными для следующих за ними культур, не обладающих подобными биологическими особенностями. Это и есть одна из причин лучшего усвоения питательных элементов из почв и удобрений и, следовательно, большей эффективности последних в севооборотах и при чередовании культур по сравнению с бессменными посевами. Плодосменный севооборот — это, с одной стороны, один из способов увеличения круговорота питательных веществ на конкретной территории (особенно, если хозяйственные урожаи культур используют на корм скоту и содержащиеся в них элементы возвращаются на поля в качестве навоза или других органических удобрений) и, следовательно, повышения продуктивности всех возделываемых культур на данной территории. С другой стороны, это и конкретный пример ценности севооборота и чередования культур при введении в него подобных видов их как удобрительного средства или фактора, улучшающего питание растений, что особенно важно при организационно-экономических проблемах с органическими и минеральными удобрениями.

Другой причиной более высокой эффективности удобрений под всеми культурами в севооборотах является существенное улучшение фитосанитарной обстановки посевов. В севообороте и при чередовании культур создаются лучшие условия для борьбы с сорняками (засоренность полей в долготелетнем опыте МСХА снизилась в 4—5 раз и более по сравнению с бессменными посевами), болезнями и вредителями возделываемых растений.

В качестве примера рассмотрим данные 86-летнего опыта кафедры земледелия МСХА, обобщенные А. А. Алферовым за 1978—1998 гг., о средних урожаях культур при разном удобрении в севообороте и в бессменных посевах на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Средняя урожайность озимой ржи при бес-

сменном возделывании и в севообороте составила: без удобрений 1,29 и 2,51 т/га, при систематическом применении минеральных удобрений 2,33 и 2,97 т/га, при сочетании минеральных удобрений с навозом на фоне извести 2,68 и 3,25 т/га, т. е. удобрительная ценность севооборота резко снижается при применении минеральных и других удобрений, но и фитосанитарная роль его постоянно обеспечивает более высокую эффективность всех удобрений.

Средняя урожайность клубней картофеля составила соответственно: без удобрений 8,3 и 9,2 т/га, по минеральным удобрениям 19,1 и 19,1 т/га, при сочетании навоза с минеральными удобрениями на фоне извести 16,7 и 23,3 т/га. Очевидно, эту культуру можно возделывать бессменно, но одновременно еще более значительно проявилась фитосанитарная роль севооборота в повышении эффективности сочетания извести с навозом и минеральными удобрениями.

Средняя урожайность ячменя составила соответственно: без удобрений 0,39 и 0,31 т/га, по минеральным удобрениям на фоне извести 2,59 и 2,83 т/га, при сочетании минеральных удобрений с навозом на фоне извести 2,79 и 3,25 т/га. Здесь фитосанитарная роль севооборота проявляется в повышении эффективности даже возрастающей насыщенности удобрениями только на фоне извести.

Средний урожай сена клевера составил соответственно: без удобрений 1,95 и 3,60 т/га, по фосфорно-калийным удобрениями на фоне извести 5,55 и 6,66 т/га, при сочетании минеральных удобрений с навозом на фоне извести 5,85 и 5,99 т/га. Здесь также видны удобрительная и фитосанитарная роль севооборота и одновременно реальные возможности клевера удовлетворять потребность в азоте за счет фиксации его из воздуха.

По мере совершенствования агротехники культур под влиянием удобрений возрастает урожайность их не только в севооборотах, но и в бессменных посевах, причем как на бедных, так и на окультуренных почвах. Важно отметить, что разные культуры неодинаково реагируют на удобрения, возделывание в севооборотах и сочетания этих факторов.

По обобщенным данным опытов кафедры земледелия МСХА, вклад севооборота, удобрений и взаимодействия этих факторов в Нечерноземной зоне в общую прибавку урожаев соответственно составляет (%): у озимой пшеницы 57, 32 и 11, у овса 56, 36 и 8, у картофеля 22, 55 и 23, у свеклы 10, 69 и 21, у кукурузы 6, 81 и 13. У зерновых культур более 55 % прибавки урожаев обусловлено севооборотами и только 32—36 % — удобрениями, а у пропашных, напротив, 55—81 % обеспечивают удобрения и только 6—22 % — возделывание их в севооборотах. Следовательно, пропашные культуры следует размещать в прифермских севооборотах, смело практиковать повторные посевы и возделывание в выводных полях. Это обстоятельство очень важно в связи с интенсификацией

и специализацией сельскохозяйственного производства во всех категориях хозяйств.

В условиях недостаточного увлажнения чистые пары в севооборотах улучшают влагообеспеченность, усиливают минерализацию органического вещества и облегчают борьбу с сорняками. Поэтому под культурами, следующими по чистым парам, эффективность фосфорно-калийных и органических удобрений возрастает, а азотных снижается. По занятым парам эффективность всех удобрений, как правило, выше, чем по чистым.

По пласту и обороту пласта многолетних трав эффективность органических и азотных удобрений снижается, а фосфорно-калийных возрастает.

С повышением уровня агротехники в севооборотах и при чередовании культур появляется реальная возможность удержать пространство сорняков, болезней и вредителей возделываемых культур в пределах экономических порогов их вредоносности. Однако при бессменном возделывании зерновых, зернобобовых, льна, клевера и других культур сплошного посева для этого требуются специальные биологические или химические средства борьбы.

Таким образом, высокую продуктивность можно получить практически при любом насыщении территорий (агроландшафтов) теми или иными культурами, но, естественно, с разными затратами удобрений, мелиорантов и различных средств защиты растений для устранения негативных биологических и почвенно-климатических факторов (причин), лимитирующих рост и развитие возделываемых растений.

Влагообеспеченность почв и культур — важнейший фактор эффективности удобрений. В зонах недостаточного увлажнения и засушливого климата удобрения относительно малоэффективны, применяются в небольших количествах (не более 20—30 кг/га д. в.). Здесь наиболее эффективны фосфорные удобрения, внесенные при посеве в дозах 10—20 кг/га д. в. Только при орошении в этих зонах резко возрастает эффективность в первую очередь азотных, затем фосфорных и органических удобрений.

В Нечерноземной зоне выделяют три региона с разной нуждностью в гидромелиорации.

*Регион неустойчивого увлажнения* представлен выщелоченными черноземами, серыми лесными и оподзоленными почвами. Здесь развито богарное земледелие для большинства культур в сочетании с орошаемым для овощных, кормовых и других влаголюбивых культур. Эффективность удобрений при орошении здесь значительно возрастает. Например, в среднем за 18 лет, по данным ВИУА, прибавка зеленой массы кукурузы от удобрений при орошении возрастала на 15,6 т/га, кормовой свеклы — на 20,0 т/га, зерна гречихи — на 0,35 т/га.

*Регион достаточного увлажнения* представлен дерново-подзолистыми почвами, на которых (особенно низковлагодоемких) перс-

пективно (и осуществляется) орошение в сочетании с удобрениями под овощными и кормовыми культурами.

*Регион избыточного увлажнения* также представлен дерново-подзолистыми почвами и торфяниками, на которых для повышения эффективности удобрений необходимо осушение и только в отдельные периоды орошение овощных и кормовых культур. На осушенных торфяных и минеральных почвах наиболее эффективны калийные, медные, фосфорные и азотные удобрения.

Система осушения почв в этом регионе должна функционировать при необходимости (в засушливые годы или периоды кратковременных засух) и как оросительная.

Таким образом, всестороннее и систематическое повышение уровня агротехники каждой культуры (общей культуры земледелия) в любом агроценозе — важнейший залог постоянного повышения эффективности оптимальных доз и соотношений удобрений.

#### 7.4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ КОЛИЧЕСТВА И КАЧЕСТВА

Эффективность удобрений при прочих равных условиях значительно изменяется в зависимости от количества (общей дозы) и качества (соотношения видов, конкретные формы, способы и сроки внесения) их и сохраняется до тех пор, пока недостаток того или иного элемента является лимитирующим фактором роста и развития возделываемых растений. Причем с увеличением общей дозы (насыщенности) их и повышением плодородия почв она, как правило, снижается.

Обобщенные А. И. Подколзиным (1998) за 30 лет многолетние исследования в Ставропольском крае с озимой пшеницей (табл. 116) убедительно подтверждают снижение эффективности удобрений с ростом доз их и плодородия черноземов и каштановых почв.

**116. Прибавки урожая зерна озимой пшеницы (т/га) в зависимости от доз удобрений и обеспеченности почв питательными элементами**

| Доза удобрения, кг/га д.в. | Обеспеченность почв |         |            |          |         |            |        |         |            |
|----------------------------|---------------------|---------|------------|----------|---------|------------|--------|---------|------------|
|                            | азотом              |         |            | фосфором |         |            | калием |         |            |
|                            | низкая              | средняя | повышенная | низкая   | средняя | повышенная | низкая | средняя | повышенная |
| <i>Черноземы</i>           |                     |         |            |          |         |            |        |         |            |
| 30                         | 0,15                | 0,12    | 0,06       | 0,50     | 0,30    | 0,20       | 0,11   | 0,08    | 0,06       |
| 60                         | 0,29                | 0,23    | 0,12       | 0,82     | 0,49    | 0,33       | 0,26   | 0,20    | 0,13       |
| 90                         | 0,40                | 0,32    | 0,16       | 1,02     | 0,62    | 0,41       | 0,35   | 0,26    | 0,18       |
| <i>Каштановые почвы</i>    |                     |         |            |          |         |            |        |         |            |
| 30                         | 0,12                | 0,06    | 0,03       | 0,32     | 0,19    | 0,13       | 0,11   | 0,08    | 0,06       |
| 60                         | 0,14                | 0,11    | 0,06       | 0,65     | 0,39    | 0,26       | 0,17   | 0,13    | 0,09       |
| 90                         | 0,21                | 0,17    | 0,09       | 0,92     | 0,55    | 0,37       | 0,25   | 0,19    | 0,13       |

Многочисленные данные свидетельствуют о том, что за счет квалифицированного применения удобрений и мелиорантов в засушливых условиях получают до 20—30 %, в условиях недостаточного увлажнения — 30—50 %, а достаточного увлажнения — 50—70 % общей продуктивности всех возделываемых культур. Аналогичные примеры резкого роста продуктивности культур под влиянием удобрений имеются и в производстве.

За счет увеличения доз и улучшения соотношений между удобрениями ( $N : P_2O_5 : K_2O$ ) среднегодовая урожайность зерновых культур в некоторых хозяйствах Московской области выросла с 1,1 до 4,6 т/га. Причем только за счет улучшения соотношений удобрений в соответствии с потребностями культур и плодородия почв (при 188 и 182 кг/га д. в.) урожайность увеличилась на 0,6 т/га, или на 48 %. Этот пример свидетельствует о реальной возможности роста продуктивности культур в России до уровня передовых стран мира при повышении общей культуры земледелия, и в частности квалифицированном применении удобрений.

Даже при оптимальных дозах и соотношениях в них питательных элементов эффективность удобрений зависит от конкретных форм их, главных и сопутствующих элементов, содержания воды, растворимости, гранулометрического состава, физиологической и гидролитической реакций.

При длительном применении в севооборотах органических и минеральных удобрений в эквивалентных по питательным элементам дозах продуктивность севооборотов на черноземах обычно одинаковая. На легких дерново-подзолистых почвах органические удобрения, а на тяжелых и среднесуглинистых минеральные могут быть несколько эффективнее. Максимальные же урожаи овощных, кормовых и других культур достигаются при квалифицированных сочетаниях оптимальных доз органических и минеральных удобрений, а на кислых и щелочных почвах и мелиорантов.

Действие однажды внесенных мелиорантов, органических, фосфорных и в уменьшающейся степени калийных и азотных удобрений не ограничивается одним-двумя годами, а в зависимости от дозы, вида и почвенно-климатических условий проявляется в течение 4—5 лет или при полной ротации севооборота, а иногда при больших дозах мелиорантов, органических и фосфорных удобрений — 10 и более лет. Поэтому для правильной оценки сравнительной эффективности разных видов удобрений под отдельными культурами и в севооборотах необходимы данные длительных опытов (табл. 117).

**117. Сравнительная эффективность навоза, минеральных удобрений и их сочетаний под культурами севооборотов на дерново-подзолистой почве ДАОС (обобщение Хлыстовского, 1992)**

| Вариант опыта             | Средняя урожайность культур (т/га) и продуктивность севооборотов (т/га зерн. ед.) |                             |                |                     |                                  |                            |                                   |
|---------------------------|---|-----------------------------|----------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
|                           | Озимая<br>рожь<br>27 лет  | Озимая<br>пшеница<br>27 лет | Овес<br>55 лет | Картофель<br>55 лет | Севооборот<br>(опыт 1)<br>55 лет | Клевер,<br>сено<br>52 года | Севооборот<br>(опыт 2)*<br>55 лет |
| Без удобрений             | 1,93  | 1,50                        | 1,34           | 10,0                | 1,31                             | 1,48                       | 1,41                              |
| Навоз                     | 2,59  | 3,29                        | 2,09           | 16,7                | 2,20                             | 2,97                       | 2,45                              |
| НПКСа (эквивалент навозу) | 2,88  | 3,53                        | 2,35           | 17,6                | 2,38                             | 2,55                       | 2,51                              |
| 0,5 навоз + 0,5 НПКСа     | 2,67  | 3,52                        | 2,33           | 17,5                | 2,34                             | —                          | —                                 |

\*Рассчитано Ю. П. Жуковым.

Как видно из приведенных данных (см. табл. 117), в среднем за 55 лет на тяжелосуглинистой почве под зерновыми культурами более эффективны минеральные удобрения, под клевером — навоз, а под картофелем они равноценны. По продуктивности севооборотов наблюдается некоторое преимущество минеральных удобрений в опыте 1 (с чистым паром) и в опыте 2 (с клеверным паром). Сочетание половинных доз навоза и минеральных удобрений в севообороте с чистым паром (опыт 1) повышает урожайность культур севооборота по сравнению с навозом, приближая ее к варианту с минеральными удобрениями.

Об эффективности отдельных видов, доз и сочетаний удобрений обычно судят по величине прибавок, общей урожайности культур и продуктивности севооборотов, а также по окупаемости 1 кг д. в. удобрений прибавками урожаев культур и продуктивности севооборотов. Однако при равенстве общих доз, но разных видов и соотношений удобрений при получении равных (или близких) прибавок или общих урожаев отдельных культур и продуктивности севооборотов, а также для установления вклада отдельных видов удобрений (элементов) в получение дополнительной (и всей) продуктивности необходимо определять использование культурами питательных элементов вносимых удобрений.

Для подобных оценок рассчитывают разными методами доли (коэффициенты) использованных культурами питательных элементов из внесенных удобрений.

**Изотопный метод.** Наиболее точен и показывает использование элемента только из внесенного удобрения, так как по количеству поступившего в растения меченого радиоактивного или стабильного изотопа того или иного элемента легко рассчитать коэффициент (долю) использования его от общего содержания во внесен-

ной дозе удобрения:

$$K_{из} = \frac{B_{из}}{D_{из}} \cdot 100,$$

где  $K_{из}$  — изотопный коэффициент использования удобрения, %;  $B_{из}$  — хозяйственный, или биологический, вынос меченого изотопа элемента, мг/м<sup>2</sup> или мг/сосуд,  $D_{из}$  — доза меченого изотопа элемента в удобрении, мг/м<sup>2</sup> или мг/сосуд; 100 — для выражения в %.

Изотопный коэффициент наиболее важен при изучении круговорота, превращений и перемещений элементов удобрений (и почв) в почве, растении, воде, воздухе, животном, человеке, а также для точной оценки использования элементов только из удобрений.

Как отмечалось, при внесении удобрений значительно возрастает мобилизация почвенных запасов питательных элементов и растения поглощают при этом элементы и из внесенных удобрений, и из возросших запасов их в почве. Поэтому наряду с изотопным существует более приемлемый для практических целей разностный коэффициент использования удобрений.

**Разностный метод.** Основан на использовании результатов полевых и производственных опытов с удобрениями и более подходит, чем изотопный, для определения оптимальных доз и соотношений удобрений. Разностный коэффициент использования удобрений — процентное отношение разницы хозяйственных выносов элементов в удобренном ( $B_y$ ) и не удобренном этим удобрением контрольным ( $B_0$ ) вариантах к дозе удобрения в удобренном варианте ( $D_y$ ):

$$K_p = \frac{B_y - B_0}{D_y} \cdot 100.$$

Установлено, что разностные коэффициенты использования элементов органических и минеральных удобрений в большей степени, чем изотопные, в первый и последующие годы значительно колеблются даже под одной и той же культурой и в пределах одного поля в зависимости от вида, дозы, соотношений, формы, сроков и способов их внесения. При одинаковых способах на одной и той же почве коэффициенты использования удобрений для культур с относительно слаборазвитой корневой системой и коротким вегетационным периодом обычно ниже, чем у растений с более развитой корневой системой и длительным периодом вегетации, также под однолетними растениями меньше, чем под многолетними.

При локальных способах внесения удобрений (рядковое, ленточное, очаговое) под всеми культурами во всех почвенно-климатических зонах использование питательных элементов их возрастает в 1,5—2,0 раза по сравнению с разбросным (сплошным) способом до посева, перед посевом, при корневых подкормках. У фосфорных водорастворимых и комплексных удобрений коэффи-

циенты использования питательных элементов выше из гранулированных форм, а у фосфоритной муки — при более тонком помоле и тщательном перемешивании с почвой.

Разностные коэффициенты использования ( $K_p$ ) удобрений снижаются у всех культур при переходе от бедных к более плодородным и окультуренным почвам, а также с увеличением доз вносимых удобрений на любых типах почв.

Таким образом,  $K_p$  под всеми культурами в зависимости от разных условий могут значительно колебаться: в среднем на 50—80 % (иногда и более) уже в первый год после внесения. Поэтому во всех регионах страны постоянно проводят полевые и производственные опыты и обобщают их результаты, уточняют разностные коэффициенты для районированных сортов в конкретных условиях. Для практических целей достаточно учитывать действие удобрений в течение 3—4 лет (хотя оно может быть и более продолжительным). Причем в отличие от однолетних данных колебания  $K_p$  в сумме за 3—4 года, как правило, значительно меньше за счет несходства погодных условий этих лет и биологических особенностей возделываемых за этот период культур.

По обобщенным многолетним данным, для среднеплодородных почв (3—4-й класс) центральных районов Нечерноземной зоны рекомендуют следующие средние разностные коэффициенты использования питательных элементов из органических и минеральных удобрений (табл. 118).

**118. Разностные коэффициенты использования питательных элементов удобрений (%) на среднеплодородных почвах Центрального Нечерноземья**

| Удобрения    | Год действия | N     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|--------------|--------------|-------|-------------------------------|------------------|
| Органические | 1-й          | 20—30 | 30—40                         | 50—60            |
|              | 2-й          | 20—25 | 10—15                         | 15—25            |
|              | 3-й          | 10—15 | 5—10                          | 10—15            |
|              | 4-й          | 0—5   | 0—5                           | 5—0              |
|              | Всего        | 50—75 | 45—70                         | 80—100           |
| Минеральные  | 1-й          | 60—75 | 15—25                         | 60—70            |
|              | 2-й          | 5—3   | 10—15                         | 10—15            |
|              | 3-й          | 5—0   | 5—10                          | 5—10             |
|              | 4-й          | —     | 0—5                           | 0—5              |
|              | Всего        | 70—85 | 40—60                         | 80—100           |

Минеральные и органические удобрения, внесенные в рядки или лунки при посеве или посадке растений, уже в первый год могут использоваться на 50—80 %.

Разностные коэффициенты дают реальное представление о потреблении культурами питательных элементов не только из удобрений, но и из почвы при внесении удобрений. Однако это потребление сравнивается со все более обедняющейся почвой (без



удобрений). Поэтому получается: чем беднее почва (без удобрений), тем выше коэффициенты, а чем она богаче, тем они ниже.

В действительности же для получения одинаковых (равных) урожаев любой культуры на бедной почве требуется значительно больше удобрений, чем на богатой (окультуренной), так как на первой значительная часть удобрений поглощается почвой, а не культурой или теряется (вымывается, улетучивается и т. д.). Бесконечная эксплуатация богатых (окультуренных) почв при малых дозах удобрений приводит (рано или поздно) к обеднению их и утрате былого плодородия. Чтобы этого не случилось, внесение удобрений следует контролировать с помощью балансовых коэффициентов использования питательных элементов, сопоставляя дозы удобрений под культурами с хозяйственным выносом элементов ими.

**Балансовый метод.** Основан на определении балансового коэффициента использования удобрений

$$K_6 = \frac{B_y}{D_y} \cdot 100,$$

где  $B_y$  — хозяйственный вынос элемента культурой в удобренном варианте, в кг/га, а  $D_y$  — доза удобрения в кг/га в этом варианте.

Балансовые коэффициенты можно определять не только в опытах, но и в производственных посевах (поле, участок, севооборот, хозяйство); они дают представление как о степени усвоения культурами питательных элементов из удобрений и почвы, так и о возможном изменении обеспеченности почв этими элементами (табл. 119).

**119. Внесение и потребление N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O в севообороте (чистый пар — озимые — картофель — овес) ДАОС на тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве (среднее за 56 лет по 4 полям; данные Хлыстовского, 1992)**

| Вариант опыта                              | Внесено, кг/га | Хозяйственный вынос, кг/га | Разностный коэффициент использования, %* | Балансовый коэффициент использования, %* | Коэффициент возврата * | Ежегодный баланс, кг/га | Интенсивность баланса, % |
|--|----------------|----------------------------|--|--|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| <i>Азот (N)</i>                            |                |                            |  |  |                        |                         |                          |
| Без удобрений                              | —              | 1526                       | —  | —  | —                      | —27                     | —                        |
| Навоз                                      | 2576           | 2415                       | 34,5                                     | 93,3                                     | 1,06                   | +3                      | 106                      |
| НPKCa                                      | 2576           | 2989                       | 56,7                                     | 116                                      | 0,86                   | —7                      | 86                       |
| <i>Фосфор (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</i> |                |                            |  |  |                        |                         |                          |
| Без удобрений                              | —              | 533                        | —  | —  | —                      | —10                     | —                        |
| Навоз                                      | 1204           | 980                        | 37,2                                     | 81,5                                     | 1,23                   | +4                      | 123                      |
| НPKCa                                      | 1204           | 1043                       | 42,5                                     | 86,5                                     | 1,16                   | +3                      | 116                      |
| <i>Калий (K<sub>2</sub>O)</i>              |                |                            |  |  |                        |                         |                          |
| Без удобрений                              | —              | 1582                       | —  | —  | —                      | —29                     | —                        |
| Навоз                                      | 2198           | 3157                       | 71,6                                     | 143                                      | 0,70                   | —17                     | 70                       |
| НPKCa                                      | 2198           | 3318                       | 78,9                                     | 151                                      | 0,66                   | —20                     | 66                       |

\*Рассчитано Ю. П. Жуковым.

Балансовые коэффициенты всегда выше разностных и на плодородных (окультуренных) почвах выше, чем на бедных, т. е. не имеют недостатков, характерных и для разностных, и для изотопных коэффициентов.

Результаты баланса выражают и в других относительных показателях (см. табл. 119): *коэффициенте возврата* — отношение дозы удобрений к хозяйственному выносу или *интенсивности баланса* — отношение дозы к хозяйственному выносу в процентах, т. е. коэффициент возврата, умноженный на 100. И наконец, баланс выражают в *абсолютных показателях* (кг/га) как разницу между дозой и хозяйственным выносом элемента со знаком «плюс» (положительный), если доза больше выноса, или со знаком «минус» (отрицательный), если доза меньше выноса.

При равенстве дозы и выноса баланс называют нулевым (бездефицитным, или уравновешенным). По относительным показателям — балансовый коэффициент, коэффициент возврата и интенсивность баланса — эти значения соответственно равны: при нулевом балансе 100, 1 и 100; при положительном менее 100, более 1 и более 100; при отрицательном более 100, менее 1 и менее 100, причем в двух последних случаях количественные изменения соответствуют отличиям конкретных величин от ранее указанных.

Все три относительных показателя абсолютно равнозначны только при нулевом балансе, а в остальных случаях преимущество следует отдавать балансовому коэффициенту, так как при его расчетах за основу принимают не дозу удобрений, а хозяйственный вынос элементов, характеризующий величину урожайности и качество продукции, т. е. биологические особенности потребления питательных элементов конкретной культурой. Кроме того, балансовые коэффициенты использования удобрений как разностные и изотопные можно определять в разные (любые) годы с момента внесения и до конца действия удобрений, а коэффициенты возврата и интенсивность баланса — только в конце действия удобрений, т. е. для большинства удобрений, как минимум, через 4—5 лет внесения или за ротацию севооборота, что особенно важно для периодически, а не ежегодно вносимых удобрений (органические, иногда и фосфорные).

Применение балансовых коэффициентов позволяет установить оптимальные дозы и соотношения удобрений под отдельными культурами и в севооборотах при любых чередованиях их с одновременным контролем и корректировкой обеспеченности почв питательными элементами в желаемом направлении. Исчезает необходимость дополнительных расчетов балансов элементов (в полях, севооборотах, хозяйстве и т. д.), так как желаемый баланс закладывается в балансовых коэффициентах.

Для Нечерноземной зоны рекомендуют следующие дифференцированные в зависимости от окультуренности почв балансовые

коэффициенты использования минеральных (табл. 120) и органических (табл. 121) удобрений.

**120. Балансовые коэффициенты использования элементов минеральных удобрений (%) на разных по плодородию почвах Нечерноземья**

| Плодородие (класс) почвы | 1-й год | 2-4-й год | Всего   | 1-й год               | 2-й год               | 3-й год               | 4-й год              | Всего                     |
|--------------------------|---------|-----------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
|                          | N*      |           |         | $\frac{P_2O_5}{K_2O}$ |                       |                       |                      |                           |
| 1                        | 70—75   | 5—10      | 75—85   | $\frac{30-40}{60-70}$ | $\frac{30-25}{10-15}$ | $\frac{5-10}{10-5}$   | —                    | $\frac{65-75}{80-90}$     |
| 2                        | 70—75   | 5—10      | 75—85   | $\frac{35-45}{65-75}$ | $\frac{30-25}{10-15}$ | $\frac{5-10}{10-5}$   | —                    | $\frac{70-80}{85-95}$     |
| 3                        | 75—80   | 5—10      | 80—90   | $\frac{35-45}{70-75}$ | $\frac{30-25}{10-20}$ | $\frac{10-15}{10-5}$  | —                    | $\frac{75-85}{90-100}$    |
| 4                        | 75—80   | 10—15     | 85—95   | $\frac{40-50}{70-75}$ | $\frac{30-25}{25-15}$ | $\frac{10-15}{5-10}$  | $\frac{5}{0-10}$     | $\frac{85-95}{100-110}$   |
| 5                        | 85—90   | 10—15     | 95—105  | $\frac{45-55}{75-80}$ | $\frac{35-25}{30-20}$ | $\frac{10-15}{10-15}$ | $\frac{5-10}{5-10}$  | $\frac{95-105}{120-130}$  |
| 6                        | 90—95   | 10—15     | 100—110 | $\frac{50-60}{80-85}$ | $\frac{40-30}{35-25}$ | $\frac{20-15}{15-20}$ | $\frac{10-5}{10-15}$ | $\frac{110-120}{140-150}$ |

\*Последействие азотных удобрений невелико, поэтому учитывается в сумме за 2—4-й год.

*Примечание.* В числителе — фосфорные, в знаменателе — калийные удобрения.

Если минеральные удобрения вносят под все культуры севооборота или принятого чередования их, балансовые коэффициенты использования элементов минеральных удобрений (см. табл. 120) при определении оптимальных доз под культуры можно не учитывать по годам, а брать в сумме за все годы.

**121. Балансовые коэффициенты использования элементов органических удобрений (%) на разных по плодородию почвах Нечерноземья**

| Плодородие (класс) почвы | 1-й год | 2-й год | 3-й год | 4-й год | Всего   |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <i>Азот (N)</i>          |         |         |         |         |         |
| 1                        | 30—40   | 25—15   | 5—15    | —       | 60—70   |
| 2                        | 30—40   | 30—20   | 10—20   | —       | 70—80   |
| 3                        | 35—45   | 30—20   | 10—20   | 5       | 80—90   |
| 4                        | 35—45   | 30—20   | 10—20   | 5—10    | 90—100  |
| 5                        | 35—45   | 40—30   | 15—25   | 10—15   | 100—115 |
| 6                        | 35—45   | 40—30   | 20—30   | 15—20   | 110—125 |

Продолжение

| Плодородие<br>(класс)<br>почвы | 1-й год   | 2-й год               | 3-й год               | 4-й год               | Всего                     |
|--------------------------------|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
|                                | $\frac{\text{Фосфор}}{\text{Калий}} \left( \frac{P_2O_5}{K_2O} \right)$ |                       |                       |                       |                           |
| 1                              | $\frac{35-45}{60-70}$   | $\frac{30-25}{10-15}$ | $\frac{5-10}{10-5}$   | —                     | $\frac{70-80}{80-90}$     |
| 2                              | $\frac{35-45}{65-75}$   | $\frac{35-25}{10-15}$ | $\frac{5-15}{10-5}$   | —                     | $\frac{75-85}{85-95}$     |
| 3                              | $\frac{40-50}{70-75}$   | $\frac{35-25}{10-20}$ | $\frac{5-15}{10-5}$   | —                     | $\frac{80-90}{90-110}$    |
| 4                              | $\frac{40-50}{70-75}$   | $\frac{35-25}{25-15}$ | $\frac{10-15}{10-15}$ | $\frac{5-10}{5-10}$   | $\frac{90-100}{105-115}$  |
| 5                              | $\frac{45-55}{75-80}$   | $\frac{35-25}{30-20}$ | $\frac{10-15}{10-15}$ | $\frac{10-15}{5-15}$  | $\frac{100-110}{120-130}$ |
| 6                              | $\frac{50-60}{80-85}$   | $\frac{40-30}{35-25}$ | $\frac{15-20}{15-20}$ | $\frac{10-15}{10-20}$ | $\frac{115-125}{140-150}$ |

Для органических удобрений (см. табл. 121) коэффициенты следует подбирать обязательно с учетом года действия их, так как ежегодно эти удобрения применяют далеко не под все культуры севооборота.

Совершенствование классификации почв по показателям эффективного плодородия их и уточнение величин балансовых коэффициентов в зависимости от окультуренности (плодородия) почв по всем почвенно-климатическим и экономическим регионам и районам страны — надежный залог систематического повышения продуктивности возделываемых культур, максимальной эффективности применяемых удобрений и гарантии охраны окружающей среды от загрязнений удобрениями.

### 7.5. ДОЗЫ, СПОСОБЫ И СРОКИ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Определение научно обоснованных оптимальных доз и соотношений удобрений под культурами с учетом биологических особенностей их и чередования, почвенно-климатических и организационно-экономических условий — главное звено систем агрохимических исследований и практики применения удобрений, мелиорантов, различных средств защиты и регуляторов роста растений.

На практике система удобрения в любом агроценозе состоит из следующих этапов:

долгосрочная (минимум на ротацию севооборота) общая схема оптимальных доз и соотношений удобрений, разработанная по средневзвешенному плодородию почв всего агроценоза с учетом всех ранее перечисленных факторов;

годовой план применения удобрений — коррекция доз общей схемы с учетом фактического размещения культур по полям, различий в плодородии полей, погодных и организационно-экономических условий конкретного года и распределение скорректированных доз по способам и срокам внесения с последующим указанием конкретных наилучших среди имеющихся и (или) необходимых форм физических удобрений;

календарный план применения и приобретения удобрений, составленный по последним материалам годового плана с указанием общих объемов конкретных удобрений на всю удобряемую площадь;

коррекция доз годового плана при реализации его по результатам почвенной и растительной диагностики питания растений.

Все перечисленные материалы системы удобрения тесно связаны друг с другом, причем каждый последующий является логическим продолжением предыдущего.

Множество разных методов определения доз удобрений объединяет то, что все они базируются на данных длительных и (или) эпизодических полевых и производственных опытов, а различия их объясняются неодинаковой степенью полноты и точности отражения закономерностей взаимоотношений растений, почв и удобрений, полученных по результатам проводимых полевых и лабораторных исследований.

Все существующие методы и модификации определения доз удобрений можно разделить на две большие группы: методы обобщения результатов опытов с эмпирическими дозами удобрений, методы обобщения результатов опытов с помощью балансов питательных элементов. Следует подчеркнуть, что в обеих группах существуют расчетные методы и модификации с моделированием и применением электронной техники.

#### **7.5.1. МЕТОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ОБОБЩЕНИИ ДАННЫХ С ЭМПИРИЧЕСКИМИ ДОЗАМИ УДОБРЕНИЙ**

Обобщение проводимых под методическим руководством Географической сети опытов ВИУА во всех почвенно-климатических зонах с разными культурами результатов полевых опытов позволило установить преобладающую эффективность отдельных видов удобрений на разных типах почв (азотных в Нечерноземье, фосфорных на черноземах и каштановых почвах, калийных и медных

на торфяниках и др.) и дозы органических и минеральных удобрений для основных культур на различных типах, подтипах и разностях почв. В последующем проведена дифференциация доз в пределах каждой разности почв с учетом обеспеченности питательными элементами предшественников (иногда с учетом урожайности и удобрённости) и сортовых особенностей возделываемых культур.

На основании обобщений результатов опытов разработаны также дозы, оптимальные сроки и способы внесения удобрений до посева, при посеве и после посева для разных культур во всех почвенно-климатических зонах.

По данным Географической сети опытов ВИУА и агрохимической службы ЦИНАО, для основных почвенно-климатических зон на преобладающих типах почв со средним содержанием подвижного фосфора и обменного калия разработаны оптимальные дозы макроудобрений под основные культуры (табл. 122), а также дозы и способы внесения микроудобрений (табл. 123).

**122. Оптимальные дозы минеральных удобрений (кг/га) под основные сельскохозяйственные культуры (обобщение Литвака, 1990)**

| Культура          | Зона          | N   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|-------------------|---------------|-----|-------------------------------|------------------|
| Озимая пшеница    | Нечерноземная | 100 | 90                            | 90               |
|                   | Лесостепная   | 85  | 80                            | 65               |
|                   | Степная       | 75  | 70                            | 50               |
| Кукуруза          | Лесостепная   | 100 | 80                            | 70               |
|                   | Степная       | 80  | 70                            | 60               |
| Картофель         | Нечерноземная | 95  | 90                            | 110              |
|                   | Лесостепная   | 90  | 90                            | 90               |
|                   | Степная       | 85  | 80                            | 70               |
| Силосные культуры | Нечерноземная | 100 | 80                            | 105              |
|                   | Лесостепная   | 100 | 75                            | 80               |
|                   | Степная       | 65  | 60                            | 55               |
| Сахарная свекла   | Нечерноземная | 145 | 135                           | 175              |
|                   | Лесостепная   | 135 | 140                           | 150              |
|                   | Степная       | 120 | 120                           | 105              |

Региональные научно-исследовательские учреждения предлагают более детальные рекомендации по культурам, типам, подтипам и разностям почв нередко с указанием уровней плановых урожаев, окультуренности конкретных разностей почв и в сочетаниях с рекомендуемыми дозами органических удобрений. При отсутствии дифференциации доз по классу почвы их можно скорректировать по рекомендуемым этими же учреждениями поправочным коэффициентам, о которых сообщалось ранее.

**123. Дозы и способы внесения микроудобрений под основные культуры  
(обобщение Литвака, 1990)**

| Культура               | Элемент | Внесение в почву, кг/га д. в. |            | Обработка<br>семян, г/т д. в. | Некорневая<br>подкормка,<br>г/га д. в. |
|------------------------|---------|-------------------------------|------------|-------------------------------|--|
|                        |         | до посева                     | при посеве |                               |  |
| Зерновые<br>колосовые  | B       | —                             | 0,2        | 30—40                         | 20—30                                  |
|                        | Cu      | 0,5—1,0                       | 0,2        | 170—180                       | 20—30                                  |
|                        | Mn      | 1,5—3,0                       | 1,5        | 80—100                        | 15—25                                  |
|                        | Zn      | 1,2—3,0                       | —          | 100—150                       | 20—25                                  |
|                        | Mo      | 0,6                           | 0,2        | 50—60                         | 100—150                                |
| Свекла<br>(все виды)   | B       | 0,5—0,8                       | 0,15       | 120—160                       | 25—35                                  |
|                        | Cu      | 0,8—1,5                       | 0,3        | 80—120                        | 70                                     |
|                        | Mn      | 2—5                           | 0,5        | 90—100                        | 20—25                                  |
|                        | Zn      | 1,2—3,0                       | 0,5        | 140—150                       | 55—65                                  |
|                        | Mo      | 0,5                           | 0,15       | 100—150                       | 100—200                                |
| Зернобобо-<br>вые      | B       | 0,3—0,5                       | —          | 20—40                         | 15—20                                  |
|                        | Cu      | —                             | —          | 120—160                       | 20—25                                  |
|                        | Mn      | 1,5—3,0                       | —          | 100—120                       | —                                      |
|                        | Zn      | 2,5                           | 0,5        | 80—100                        | 17—22                                  |
|                        | Mo      | 0,3—0,5                       | 0,06       | 150—160                       | 25—30                                  |
| Овощные<br>и картофель | B       | 0,4—0,8                       | —          | 100—150                       | —                                      |
|                        | Cu      | 0,8—1,5                       | —          | —                             | 20—25                                  |
|                        | Mn      | 2—5                           | —          | 100—150                       | —                                      |
|                        | Zn      | 0,7—1,2                       | —          | —                             | —                                      |
|                        | Mo      | —                             | —          | 80—100                        | 30—150                                 |
| Лен                    | B       | 0,3—0,5                       | 0,1        | 50—60                         | 5—10                                   |
|                        | Cu      | 1—6                           | —          | 100—120                       | —                                      |
|                        | Mn      | 3,0                           | —          | 80—100                        | 30                                     |
|                        | Zn      | 3,5                           | —          | —                             | —                                      |
|                        | Mo      | 3,0                           | —          | 150—160                       | 150—250                                |
| Бобовые<br>травы       | B       | 0,5—0,6                       | —          | 20—40                         | 25—35                                  |
|                        | Cu      | 3,0                           | 1,5        | 150—160                       | 20—35                                  |
|                        | Mn      | 1,5—3,0                       | —          | 50—70                         | —                                      |
|                        | Zn      | 1,3                           | —          | 100—120                       | 55—65                                  |
|                        | Mo      | 0,2—0,3                       | —          | 100—120                       | 150—250                                |
| Злаковые<br>травы      | B       | 0,5—0,6                       | —          | —                             | 25—35                                  |
|                        | Cu      | 0,8—1,5                       | —          | —                             | 25—35                                  |
|                        | Zn      | 0,7—1,2                       | —          | 100—120                       | 55—65                                  |
|                        | Mo      | 0,2—0,3                       | —          | 150—200                       | 150—250                                |

В каждом комплексе конкретных природных и хозяйственных условий территорий на основании группы (не менее 7—10) однородных опытов с одной культурой (лучше сортом) региональные учреждения Географической сети опытов и Агрохимслужбы определяют следующие количественные показатели эффективности удобрений:

прибавку урожая от оптимальной дозы;

вынос (затраты) элементов на единицу основной с соответствующим количеством побочной продукции и коэффициенты использования элементов из почв и удобрений;

коэффициенты возврата или интенсивность баланса элементов;

поправочные коэффициенты к дозам в зависимости от класса почвы;

нормативы затрат минеральных удобрений для получения единицы прибавки и всего урожая;

оптимальные уровни содержания питательных элементов в почве;

нормативы затрат удобрений на единицу изменения содержания в почве подвижных форм элементов;

основные показатели качества продукции;

экономические показатели эффективности удобрений;

математические модели, характеризующие связь между продуктивностью культур, плодородием почв, дозами удобрений, погодно-агротехническими и другими факторами;

уровни природоохранных ограничений при применении удобрений.

По результатам перечисленных показателей разрабатывают более конкретные рекомендации доз и соотношений удобрений, чем в таблице 122, но и в этом случае необходима коррекция указанных в них доз в каждом конкретном хозяйстве, агроценозе и поле.

К этой же группе методов относятся и *расчеты доз по нормативам затрат* минеральных удобрений *на весь урожай* по формуле  $D = UN_1K_n$  или *прибавку урожая* по формуле  $D = \Delta U N_2 K_n$ ,

где  $D$  — доза  $N$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  на желаемый урожай или прибавку, кг/га д.в.;  $U$  и  $\Delta U$  — соответственно желаемый урожай или прибавка урожая, т/га;  $N_1$  и  $N_2$  — нормативы затрат удобрений на единицу урожая и прибавки урожая, кг д.в.;  $K_n$  — поправочный коэффициент на класс почвы по обеспеченности фосфором и калием; при расчетах доз азота  $K_n = 1$ .

Нормативы затрат удобрений и поправочные коэффициенты к дозам удобрений указывают в региональных и областных рекомендациях НИИ, сельскохозяйственных опытных станций, центров и станций Агрохимслужбы.

Третьим направлением этой группы методов является поиск математических выражений зависимости урожайности культур от различных доз удобрений. Первым такую попытку в 1905 г. предпринял немецкий ученый Э.-А. Митчерлих, предложивший следующее уравнение:

$$\lg (A - Y) = \lg A - Cx,$$

где  $A$  — максимально возможный урожай;  $Y$  — фактический урожай;  $C$  — коэффициент пропорциональности, характеризующий зависимость между урожаем и дозой удобрений (автор ошибочно считал его величиной постоянной, независимой от почвы, видов растений, удобрений и других факторов);  $x$  — доза удобрения.



Четвертым направлением этой группы методов является разработка регрессивных моделей по результатам планирования, проведения и статистической оценки данных многофакторных опытов с эмпирическими дозами удобрений. Для установления количественной зависимости между урожайностью культур и дозами удобрений лучшей математической моделью оказалось уравнение со степенями 0,5 и 1 для факторов и 0,5 для парных взаимодействий:

$$Y = a_0 + a_1 N^{0.5} + a_2 N + a_3 P^{0.5} + a_4 P + a_5 K^{0.5} + a_6 K + a_7 (NP)^{0.5} + a_8 (NK)^{0.5} + a_9 (PK)^{0.5},$$

где  $Y$  — урожай;  $a_0$  — свободный член уравнения;  $a_1, a_2, \dots, a_9$  — члены уравнения, характеризующие действие и взаимодействие факторов;  $N, P, K$  — дозы удобрений.

Пятым направлением первой группы методов является разработка математических моделей с использованием электронной техники для определения оптимальных доз удобрений под культуры с учетом функциональной зависимости от множества факторов внешней среды:

$$Y = f(x_n),$$

где  $Y$  — урожай;  $x_n$  — переменные факторы, влияющие на урожай (дозы и соотношения удобрений, класс и гранулометрический состав почвы, погодные условия, сортовые особенности, предшественники и т. д.).

Разными научно-исследовательскими учреждениями разработаны по этому принципу на основании обобщенных данных полевых опытов, сопутствующих анализов и наблюдений программные комплексы по определению доз удобрений. Например, ЦИ-НАО «РАДОЗ» (аббревиатура от слов «рациональные дозы»), который модернизировался в РАДОЗ-2, а позднее в РАДОЗ-3; в нем к уже имевшимся добавлялось все большее число факторов, влияющих на урожайность культур.

Практическое применение любого из этих методов, модификаций и направлений первой группы, естественно, позволяет избежать грубых ошибок в применении удобрений. Однако не следует забывать, что они определены эмпирически без учета биологических потребностей культур в питательных элементах, а главное, они не дают ответа на вопрос, что же будет при этом с почвой; по ним, несмотря на введение поправочных коэффициентов, невозможно количественно оценить баланс элементов без специальных расчетов.

### **7.5.2. МЕТОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ОБОБЩЕНИИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЛАНСОВЫХ РАСЧЕТОВ**

В этой группе методов в основу определения оптимальных доз удобрений положены биологические особенности возделываемых культур и сортов в потреблении питательных элементов для создания желаемых уровней урожаев высокого качества с одновременным учетом и регулированием в нужном направлении плодородия (класса, окультуренности) почвы в конкретных природно-экономических условиях. Потребление (желаемое и фактическое) культурами питательных элементов из почв и удобрений определяют по результатам полевых и производственных опытов, что превращает полевой метод из чисто эмпирического в аналитический. Это позволяет перейти от констатации прибавок урожаев в зависимости от видов, доз и соотношений удобрений к прогнозу их эффективности.

Необходимо подчеркнуть, что эта группа методов перспективна прежде всего для регионов достаточного увлажнения и орошаемого земледелия, где лимитирующим фактором получения высоких и устойчивых урожаев является недостаток питательных элементов в почвах, а обеспеченность удобрениями достаточно высока (не менее 100 кг/га д. в.).

Изменчивость потребления питательных элементов культурами в зависимости от почвенно-климатических и агротехнических условий возделывания довольно подробно изложена ранее. Здесь отметим, что потребность в элементах любой культуры при прочих равных условиях изменяется в зависимости не только от уровня урожайности, но и от качества и соотношений основной и побочной продукции.

Подробная характеристика почв имеется в почвенных и агрохимических картах (картограммах и паспортах полей), которые есть в каждом хозяйстве. Возможное использование питательных элементов почв конкретными культурами определяют по коэффициентам их использования (КИП) или по поправочным коэффициентам к дозам в зависимости от эффективного плодородия (окультуренности) конкретной почвы.

Различия в эффективном плодородии и окультуренности почв можно учитывать и через дифференцированные балансовые коэффициенты использования минеральных (см. табл. 120) и органических (см. табл. 121) удобрений или других относительных показателей баланса (коэффициенты возврата и интенсивность баланса). Наряду с перечисленными можно применять дифференцированные по эффективному плодородию почв и разностные коэффициенты использования минеральных и органических удобрений (табл. 124).

**124. Дифференцированные по плодородию почв разностные коэффициенты использования питательных элементов органических и минеральных удобрений в Нечерноземье (средние за ротацию севооборотов), %**

| Плодородие (класс) почвы | N            |             | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |             | K <sub>2</sub> O |             |
|--------------------------|--------------|-------------|-------------------------------|-------------|------------------|-------------|
|                          | органические | минеральные | органические                  | минеральные | органические     | минеральные |
| 1                        | 40—50        | 55—65       | 45—55                         | 35—45       | 75—85            | 75—85       |
| 2                        | 45—55        | 60—70       | 50—60                         | 40—50       | 80—90            | 80—90       |
| 3                        | 50—60        | 65—75       | 55—65                         | 45—55       | 85—95            | 85—95       |
| 4                        | 55—65        | 70—80       | 60—70                         | 50—60       | 90—100           | 90—100      |
| 5                        | 60—70        | 75—85       | 65—75                         | 60—70       | 95—105           | 95—105      |
| 6                        | 70—80        | 80—90       | 70—80                         | 70—80       | 100—110          | 100—110     |

Существует много различных методов и модификаций балансовых расчетов определения оптимальных доз удобрений. Рассмотрим на конкретных примерах наиболее распространенные и перспективные среди них. Нужно определить оптимальные дозы минеральных удобрений в сочетании с 20 т/га полуперепревшего навоза с содержанием 0,4 % N, 0,2 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 0,5 % K<sub>2</sub>O для получения 4,0 т/га зерна (соотношение зерно : солома — 1 : 1,5) озимой пшеницы Мироновская 808 на дерново-подзолистой среднесуглинистой известкованной почве с содержанием фосфора и калия (по Кирсанову) соответственно 70 и 100 мг/кг, т. е. 3-го класса и рН<sub>сол</sub> 6,2, т. е. 6-го класса, предшественник — вико-овсяная смесь, под которую вносили N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>.

Картограммы обеспеченности почв легкогидролизуемым (и минеральным) азотом обычно не составляют из-за высокой изменчивости этих показателей даже в течение одного месяца, поэтому обеспеченность почвы легкогидролизуемым азотом можно определить аналитически или ориентировочно по содержанию органического вещества, общего азота или по другому элементу (фосфору или калию), находящемуся в минимуме. Так как содержание азота в гумусе в среднем составляет 4 %, а, по обобщенным ВИУА данным, легкогидролизуемых форм его 4—7 % (для большей гарантии лучше считать по минимальной величине), то при содержании в почве 2,5 % гумуса содержание общего азота составит 0,1 %, а легкогидролизуемого — 0,004 %, т. е. 40 мг/кг. Определить обеспеченность азотом по элементу, находящемуся в минимуме, еще проще: по принятой классификации почв (см. табл. 39) берут содержание его, соответствующее тому же классу, что и элемента, находящегося в минимуме.

Во всех методах (и модификациях) определяют хозяйственную потребность (вынос) культуры (сорта) в питательных элементах на создание планового урожая по затратам их на единицу основной с соответствующим количеством побочной продукции из зональных, региональных справочников и рекомендаций. В отсутствие таковых ее можно определить самостоятельно. Для этого подбира-

ют в хозяйстве поле (или участок), где уже достигнут такой (или близкий) уровень урожайности этого сорта, берут с него образцы зерна и соломы и анализируют их. При содержании N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  в зерне соответственно 2,5; 0,8 и 0,6 % и в соломе 0,5; 0,2 и 1,2 % хозяйственный вынос их плановым урожаем составит: N 130 ( $2,5 \cdot 40 + 0,5 \cdot 60$ ) кг,  $P_2O_5$  46 ( $0,8 \cdot 40 + 0,2 \cdot 60$ ) кг,  $K_2O$  96 ( $0,6 \cdot 40 + 1,2 \cdot 60$ ) кг, а затраты на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы соответственно  $N \ 130 : 4 = 32,5$  (примерно 33 кг),  $P_2O_5 \ 46 : 4 = 11,5$  (примерно 12 кг),  $K_2O \ 96 : 4 = 24$  кг.

Далее основными методами проводят следующие расчеты: элементарного баланса, на прибавку, по относительным показателям баланса, на основе одного или комбинаций нескольких вышеперечисленных методов с использованием ЭВМ.

**Метод элементарного баланса.** Это наиболее распространенный и наименее надежный (точный) метод, так как в нем применяют наиболее сильно колеблющиеся под влиянием множества факторов коэффициенты использования элементов почвы (КИП) и более устойчивые разностные коэффициенты использования удобрений. Расчеты осуществляют по следующей формуле:

$$D = \frac{B_y - 3K_n - OK_o - PK_l - PK_p}{K_2},$$

где  $D$  — доза N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$ , кг/га д. в.;  $B_y$  — хозяйственный вынос элемента с плановым урожаем, кг/га;  $3$  — запас (содержание) подвижных форм элемента в почве, кг/га;  $K_n$  — коэффициент использования элемента из почвы, доли единицы (при 10 % 0,1; 20 % 0,2 и т. д.);  $O$  — количество элемента в органическом удобрении, кг/га;  $K_o$  — разностный коэффициент использования элемента органического удобрения, доли единицы (см. табл. 118);  $P$  — количество элемента в удобрении предшественника и (или) в послеуборочных остатках предшественника, кг/га;  $K_l$  — разностный коэффициент использования удобрения и (или) остатков предшественника, доли единицы (см. табл. 118);  $P$  — припосевное (рядковое) удобрение, кг/га д. в.;  $K_p$  — разностный коэффициент использования припосевого удобрения, доли единицы;  $K_2$  — разностный коэффициент использования удобрения при допосевном внесении, доли единицы (см. табл. 124).

Для взятого примера оптимальные дозы по этой формуле на фоне 20 т/га навоза составят:

$$D_N = \frac{130 - 120 \cdot 0,2 - 80 \cdot 0,25 - 60 \cdot 0,05}{0,70} = 118 \text{ (примерно 120 кг).}$$

$$D_{P_2O_5} = \frac{46 - 210 \cdot 0,05 - 40 \cdot 0,35 - 60 \cdot 0,1 - 10 \cdot 0,5}{0,20} = 21 + 10 \text{ (при посе-}$$

ве) = 31 (примерно 30 кг).

$$D_{K_2O} = \frac{96 - 300x \cdot 0,1 - 100x \cdot 0,55 - 60x \cdot 0,1}{0,65} = 7,7 \text{ (примерно 10 кг).}$$

**Метод расчетов на плановую прибавку урожая.** Более надежный (точный) метод по сравнению с предыдущим, так как здесь обеспеченность почв питательными элементами учитывают с помощью поправочных коэффициентов к дозам, которые колеблются в зависимости от разных факторов меньше, чем КИП. Однако в этом методе нужно знать возможный урожай без удобрений, который лучше всего определять по данным опытов с удобрениями, на основании которых в рассматриваемом случае он равен 2,0 т/га. Но урожай можно определить и по элементу, находящемуся в минимуме, с помощью возможного коэффициента использования его (КИП), что хуже по вышеназванным причинам. Расчеты ведут по следующей формуле:

$$D = \frac{B_n - OK_o - PK_1 - PK_p}{K_2} K_3,$$

где  $B_n$  — вынос элемента с плановой прибавкой урожая, кг;  $K_3$  — поправочный коэффициент к дозе в зависимости от класса почвы, в данном случае равный 1,0, так как по всем элементам почва относится к 3-му классу, а это средняя обеспеченность для зерновых, зернобобовых и трав. Остальные обозначения те же, что и в предыдущей формуле.

По этому методу оптимальные дозы минеральных удобрений на фоне 20 т/га навоза составляют:

$$D_N = \frac{65 - 80 \cdot 0,25 - 60 \cdot 0,05}{0,70} \cdot 1,0 = 60 \text{ кг.}$$

$$D_{P_2O_5} = \frac{23 - 40 \cdot 0,35 - 60 \cdot 0,1 - 10 \cdot 0,5}{0,20} \cdot 1,0 = 0 + 10 \text{ (при посеве) = 10 кг.}$$

$$D_{K_2O} = \frac{48 - 100 \cdot 0,55 - 60 \cdot 0,1}{0,65} \cdot 1,0 = 0 \text{ (здесь калий не нужен).}$$

**Расчет оптимальных доз с помощью балансовых коэффициентов использования удобрений, дифференцированных по плодородию почв.** Это лучший метод, так как он позволяет одновременно регулировать и обеспеченность почвы питательными элементами. Расчеты для получения планового уровня урожая ведут по следующей формуле:

$$D = \frac{B_y - OK_1}{K_2},$$

где  $K_1$  — балансовый коэффициент использования органических удобрений культуры и (или) ее предшественников, дифференцированный в зависимости от класса почвы и года действия, доли единицы (см. табл. 121);  $K_2$  — балансовый коэффициент использования минеральных удобрений, дифференцированный по классу почвы в сумме за ротацию, так как при распределении его действия по годам в сумме получают практически те же результаты, доли единицы (см. табл. 120). Остальные обозначения те же, что в предыдущих формулах.

На фоне 20 т/га навоза дозы минеральных удобрений составят:

$$D_N = \frac{130 - 80 \cdot 0,45}{0,9} = 104 \text{ (примерно 100 кг).}$$

$$D_{P_2O_5} = \frac{46 - 40 \cdot 0,45}{0,8} = 35 \text{ кг.}$$

$$D_{K_2O} = \frac{96 - 100 \cdot 0,7}{0,95} = 26,3 \text{ (примерно 30 кг).}$$

**Расчеты оптимальных доз удобрений с помощью коэффициентов возврата (возмещения) или интенсивности баланса.** Они более сложные, так как по этим показателям трудно учесть действие удобрений по годам: нужно вводить дополнительные показатели, например коэффициенты распределения действия удобрений по годам, которые являются производными разностных коэффициентов и, следовательно, имеют те же недостатки.

На кафедре агрохимии МСХА разработаны и экспериментально в производственных условиях Московской, Смоленской и Тверской областей проверены рассчитанные с помощью балансовых коэффициентов на ЭВМ оптимальные дозы удобрений для получения плановых урожаев культур в разных агроценозах.

В заключение следует подчеркнуть, что для дальнейшего совершенствования балансово-расчетных методов определения оптимальных доз удобрений схемы полевых и производственных опытов должны содержать расчетные, а не эмпирические (как в большинстве опытов Географической сети опытов и в Агрохимслужбе) дозы.

### 7.5.3. СПОСОБЫ И СРОКИ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Даже при оптимальных общих дозах и соотношениях отдельных видов удобрений они существенно влияют на продуктивность возделываемых культур и, следовательно, на эффективность удобрений. Различают три главных способа внесения макроудобрений: основное (допосевное), припосевное (рядковое) или припосадочное, послепосевное (подкормка).

**Основное удобрение.** Предназначено для удовлетворения потребности растений в питательных элементах после всходов до конца вегетации. Для подавляющего большинства культур в условиях достаточного увлажнения и орошаемого земледелия оно составляет 60—90 %, а недостаточного увлажнения — 90—100 % общей дозы. Основное внесение органических и фосфорно-калийных удобрений обычно осуществляют осенью, а азотных — весной под предпосевную обработку почв в зонах достаточного увлажнения и вместе с другими — осенью под основную обработку почвы в зонах недостаточного увлажнения с заделкой соответствующими

орудиями вразброс или локально, причем последний способ всегда эффективнее. Преимущество глубокой заделки всех удобрений до посева возрастает с увеличением дефицита влажности почвы и засушливости климата.

**Припосевное (рядковое) или припосадочное удобрение.** Предназначено для удовлетворения потребностей растений в элементах питания в период от прорастания семян до появления полных всходов. Оно редко превышает 2—10 % общей дозы и представлено водорастворимыми, преимущественно фосфорными, реже фосфорно-азотными или фосфорно-азотно-калийными формами. Конечно, двух- и трехкомпонентные удобрения должны быть комплексными.

Это локальный способ внесения удобрений одновременно с посевом семян в виде строчки (ленты) под ними или сбоку на расстоянии 2—3 см, поэтому он наиболее эффективный. Нередко его называют первым обязательным приемом внесения удобрений под всеми культурами во всех почвенно-климатических зонах. Дозы удобрений при любом способе внесения, особенно при рядковом, должны быть оптимальными, так как с увеличением их повышаются концентрация почвенного раствора и его осмотическое давление, что может привести к изреживанию (а при избытке и к гибели) посевов и снижению общей продуктивности. Рекомендуют следующие примерные оптимальные и максимальные дозы и состав припосевного удобрения основных культур в Нечерноземье (табл. 125).

**125. Оптимальные и максимальные дозы (кг/га д. в.) и состав припосевного удобрения основных культур в Нечерноземной зоне**

| Культура           | Оптимальные дозы                           | Максимальные дозы                          |
|--------------------|--|--|
| Зерновые колосовые | $P_{10}$                                   | $P_{20}, N_{10}P_{20}$                     |
| Зернобобовые       | $P_{10}, N_{10}P_{10}$                     | $P_{20}, N_{15}P_{15}$                     |
| Травы              | $P_{10}, N_{10}P_{10}$                     | $P_{15}, N_{10}P_{15}$                     |
| Кукуруза           | $P_7, N_3P_7$                              | $P_{10}, N_5P_{10}$                        |
| Картофель          | $P_{20}, N_{20}P_{20}$                     | $P_{30}, N_{30}P_{30}$                     |
| Свекла (все виды)  | $N_{10}P_{10}K_{10}$                       | $N_{15}P_{15}K_{15}$                       |
| Лен                | $P_{10}$                                   | $P_{15}$                                   |
| Овощи              | $P_{10}, N_{10}P_{10}, N_{10}P_{10}K_{10}$ | $P_{15}, N_{15}P_{15}, N_{15}P_{15}K_{15}$ |

**Послепосевное удобрение (подкормка).** Предназначено для удовлетворения потребностей растений чаще всего в азоте, реже в калии в период максимального поглощения их в период вегетации. На долю его приходится 20—30 % общей дозы. Роль этого способа для всех культур возрастает в орошаемом земледелии и с повышением влагообеспеченности почв при увеличении общей насыщенности удобрениями.

Подкормки проводят поверхностно, с заделкой в почву, вразб-

рос и локально, сухими и жидкими удобрениями, корневые и некорневые. Подкормки азотными удобрениями, как правило, обязательны для озимых зерновых и многолетних злаковых трав, причем прежде всего в ранее указанных регионах. Под овощными, кормовыми и пропашными культурами на легких почвах в этих же регионах наряду с азотными возможны подкормки калийными, а под двумя последними культурами и жидкими органическими удобрениями, особенно когда общая доза их велика.

В условиях недостаточного увлажнения и засушливого климата дробление общей дозы на основное удобрение и подкормки, как правило, агрономически и экономически невыгодно.

В зависимости от природно-экономических условий основное (допосевное) удобрение вносят ежегодно под каждую культуру, а иногда, например под яровые зерновые с подсевом многолетних трав, сразу под покровную культуру дают общую дозу фосфора (иногда и калия) для нее и возделываемых трав одного или двух лет. Такой прием называют *периодическим*, или *запасным, внесением*. К нему относятся и фосфоритование почв, традиционное внесение органических удобрений или специальное внесение под одну однолетнюю культуру дозы, рассчитанной (или установленной) на три культуры сразу.

Многочисленные опыты при сравнении эквивалентных доз в различных почвенно-климатических зонах страны убедительно свидетельствуют о том, что периодическое (1 раз в 3 года) внесение фосфорных удобрений под однолетними культурами, как правило, эффективнее, чем ежегодное.

Под многолетними кормовыми и плодово-ягодными культурами этот прием, естественно, еще более эффективен.

Таким образом, всесторонне обоснованный подбор способов и сроков внесения оптимальных доз, видов и форм удобрений с учетом почвенно-климатических, агротехнических условий и свойств применяемых удобрений под каждую культуру значительно повышает их агрономическую эффективность и экологическую безопасность.

## 7.6. СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ АГРОЦЕНОЗОВ

Разработку системы удобрения каждого агроценоза (севооборота, принятого чередования или бессменных посевов культур) следует начинать с анализа продуктивности и чередования культур, почвенно-климатических и агротехнических условий, количества и качества применяемых удобрений за предыдущие годы (как минимум, за 4—5 лет) и планирования этих показателей на ближайшую (4—5 лет) или отдаленную (10 лет и более) перспективу. Все перечисленные данные имеются в каждом хозяйстве, а хозяйственный вынос питательных элементов культурами или затраты их на единицу основной с соответствующим количеством побоч-



ной продукции можно получить в ближайших зональных (или областных) научно-исследовательских и проектно-изыскательных организациях.

По результатам последнего почвенно-агрохимического обследования территории хозяйства (почвенная карта и агрохимические картограммы или паспорта полей) определяют *средневзвешенный уровень плодородия* (окультуренности) *почв* всех полей (и участков) каждого агроценоза: произведения классогектаров (площадь, умноженная на класс почвы) по каждому показателю (рН, Нг, ЕКО, содержание питательных элементов, гумуса и др.) суммируют со всех полей (и участков их) данного агроценоза и делят на общую площадь его. Полученные величины и являются средневзвешенными показателями.

По результатам уточненного (на перспективу) чередования культур в каждом агроценозе определяют средневзвешенную потребность всех культур его к плодородию почв: долю площади в данном агроценозе зерновых, зернобобовых и трав умножают на 3 (средний класс плодородия почв для этой группы культур), долю пропашных культур умножают на 4, а овощных и технических культур (по фосфору) — на 5. Полученные произведения суммируют и делят на общую площадь агроценоза; искомая величина и есть средневзвешенная потребность всех культур в плодородии (классу) почв.

Сопоставление средневзвешенных фактического уровня плодородия почв агроценоза (севооборота) с потребностью всех культур его является наиболее обоснованным условием требований к балансу азота, фосфора, калия, кальция и гумуса на данной территории.

Потребность, дозы, места (культуры) внесения химических мелиорантов в каждом агроценозе определяют по средневзвешенным показателям кислотности (или щелочности), степени насыщенности основаниями (или доле натрия в ЕКО), содержанию подвижных форм алюминия и марганца, а также требовательности культур данного агроценоза к реакции почв. Дозы мелиорантов устанавливают с помощью различных методов по разным показателям почв в зависимости от требований культур, а место (культуру) внесения — с учетом неодинаковой требовательности культур к мелиорации, организационно-технических возможностей качественного внесения их в почву, а также доз и свойств конкретных мелиорантов.

Определение доз и мест (культур) внесения органических удобрений в каждом агроценозе начинают с установления возможностей максимального накопления в хозяйстве различных органических удобрений, далее наиболее обоснованно распределяют их по разным агроценозам. В пределах каждого агроценоза дозы органических удобрений должны быть не ниже минимальных и не выше максимально возможных, причем вноситься они должны с учетом

неодинаковой отзывчивости разных культур на эти удобрения, организационно-технических возможностей наиболее качественного внесения их и конъюнктуры рынка.

Методика определения оптимальных доз минеральных удобрений в каждом агроценозе зависит от выбора и возможностей земледельца и, следовательно, от обеспеченности (насыщенности) агроценозов и отдельных культур в хозяйстве минеральными удобрениями.

При очень ограниченных ресурсах (до 30—50 кг/га д.в. в зонах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия и до 5—10 кг/га д.в. в засушливых условиях) возможны два варианта: всем культурам равномерное количество или выделение для конъюнктурной культуры необходимого количества удобрений для получения плановой (максимальной) урожайности, а остаток (если он будет) для другой (или других) культуры. Если для первого варианта дозы удобрений можно установить по первой группе методов, то для второго необходимы для конъюнктурной культуры балансовые методы, а для остальных методы первой группы. Этот пример доказывает необходимость знаний и умения каждого агронома владеть различными методами разработки систем удобрения не только при достаточной (или неограниченной), но и при очень низкой (вплоть до нулевой) обеспеченности агроценозов (культур) минеральными удобрениями, т. е. при любой насыщенности ими.

Итак, при очень ограниченных ресурсах минеральных удобрений дозы их определяют по рекомендациям научных учреждений региона (или области), причем начинают с оптимальных доз припосевного (припосадочного) удобрения (обычно 10—30 кг/га д.в. фосфорных или фосфорно-азотных) под все возделываемые культуры. Остальные удобрения (если они есть) следует дать озимым зерновым и злаковым многолетним травам в виде азотных подкормок; дозы их должны быть не менее 20 кг/га д.в.

Эта доза (20 кг/га д.в.) любых минеральных макроудобрений при допосевном (основном) и послепосевном (подкормки) внесении является минимальной, экономически оправданной дозой. Если и после этого осталась часть удобрений, ее следует отдать экономически наиболее выгодной (конъюнктурной) культуре, причем в зависимости от количества удобрений дозы под нее следует устанавливать по рекомендациям (до 100—150 кг/га д.в.) или с использованием балансовых расчетов (более 100—150 кг/га д.в.).

При насыщенности посевов удобрениями более 100—150 кг/га д.в. и при установлении доз удобрений для получения плановых и максимальных урожаев культур без ограничений обеспеченности удобрениями определение доз минеральных удобрений под культуры необходимо осуществлять с обязательным применением балансовых расчетов.

*Оптимальная доза удобрений под любую культуру должна обеспечивать максимальную окупаемость их получаемой продукцией*

хорошего качества при имеющейся общей насыщенности удобрениями.

*Максимальная доза удобрений* под любую культуру должна обеспечивать получение максимальной урожайности ее (продуктивности) хорошего качества с одновременным регулированием плодородия почв и соблюдением требований охраны окружающей среды.

При очень ограниченных ресурсах удобрений оптимальными могут оказаться рекомендуемые дозы припосевного удобрения для всех культур, азотных подкормок — для озимых зерновых и многолетних злаковых трав и расчетные дозы под конъюнктурную культуру.

В условиях засушливого земледелия общая схема системы удобрения агроценозов этим может и заканчиваться, причем расчетные дозы здесь неприемлемы.

При насыщенности посевов от очень низкой до 100—150 кг/га д.в. возможны различные комбинации оптимальных доз припосевного удобрения под все культуры с рекомендуемыми или расчетными дозами азотных подкормок, озимых зерновых и многолетних трав и с рекомендуемыми или расчетными дозами основного удобрения под конъюнктурные (наиболее выгодные) культуры.

#### **7.6.1. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В АГРОЦЕНОЗЕ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСАХ ИХ И ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАНОВЫХ УРОЖАЕВ**

Из двух вариантов решения поставленных в заголовке задач наиболее сложным является первый, так как здесь сначала нужно определить возможную урожайность культур агроценоза в конкретных природно-экономических условиях, а затем уже разработать оптимальные дозы минеральных удобрений, соответствующие общей обеспеченности ими потребностей культур, плодородию почв и количеству и качеству имеющихся органических удобрений. Определить дозы для получения плановых урожаев проще, так как здесь при прочих равных условиях уровни урожаев заданы, а количество минеральных удобрений не лимитировано. Методика решения этой задачи абсолютно идентична первой методике с момента определения в ней возможных урожаев культур агроценоза и может различаться только уровнями их.

Для лучшего понимания вопроса рассмотрим методику определения оптимальных доз минеральных удобрений в агроценозе при ограниченных ресурсах удобрений на конкретном примере. Подчеркнем, что решать эту задачу можно с использованием любых известных методов определения доз удобрений, но с обязательной проверкой по возможному балансу элементов. В связи с указанными ранее недостатками большинства методик здесь приводится

вариант с применением дифференцированных по плодородию почв балансовых коэффициентов использования удобрений.

В качестве примера возьмем четырехпольный севооборот ( вико-овсяная смесь, озимая пшеница, картофель и ячмень) площадью 400 га (все поля равновелики), расположенный в Нечерноземной зоне на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с содержанием гумуса 2,0—2,2 %, гидролитической кислотностью 2—4, ЕКО 10—12 мг · экв/100 г и следующими различиями по реакции и содержанию фосфора и калия в отдельных полях:

| № поля                      | Класс почвы |                               |                  |
|-----------------------------|-------------|-------------------------------|------------------|
|                             | pH          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 1                           | 4           | 3                             | 1                |
| 2                           | 3           | 2                             | 3                |
| 3                           | 5           | 3                             | 3                |
| 4                           | 6           | 5                             | 6                |
| Средневзвешенный показатель | 4,50        | 3,25                          | 3,25             |

Обеспеченность севооборота: 7 т/га торфяного навоза с содержанием N 0,5 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,25 % и K<sub>2</sub>O 0,5 % и 170 кг/га д. в. минеральных удобрений.

Определим средневзвешенную потребность культур севооборота с учетом обеспеченности почвы подвижными фосфором и калием:  $(3 \cdot 300 + 4 \cdot 100) : 400 = 3,25$  класс и отношение к кислотности:  $(6 \cdot 300 + 4 \cdot 100) : 400 = 5,5$  класса. Следовательно, по обеспеченности элементами питания почва соответствует средней потребности и баланс их в севообороте может быть нулевым (бездефицитным), а по средневзвешенной кислотности почвы культуры нуждаются в известковании и сдвиге этого показателя на 1 класс.

Пользуясь зональными (лучше областными или собственными) затратами питательных элементов на единицу основной с соответствующим количеством побочной продукции культур севооборота (см. табл. 111), подберем такие количества продукции их, которые содержат равные количества фосфора (например, 10 кг, хотя может быть и любая другая величина) и получим, что столько фосфора (10 кг) содержится в 1 т зерновых культур, 6 т клубней картофеля и 7 т зеленой массы вико-овсяной смеси.

Определим затраты всех элементов установленными единицами продукции всех культур, суммируем их и, разделив на 4, найдем средневзвешенные затраты питательных элементов всех культур равными по потреблению фосфора единицами продукции (см. табл. 126).

Если средневзвешенные затраты элементов (т. е. вынос) разделить на балансовые коэффициенты использования удобрений за ротацию севооборота при существующем плодородии почв (см. табл. 120), получим оптимальные дозы удобрений для достижения указанных в таблице единиц продукции культур с одновременным регулированием обеспеченности почвы. По азоту возьмем 85 %, т. е. нулевой баланс с 15 % потерь (хотя в этой зоне они достигают 20—30 %), по фосфору — 95 %, хотя можно иметь и 100 % (нулевой), но 95 % лучше, так как это будет способствовать большей

устойчивости урожаев культур в неблагоприятные годы, по калию — 110 %, т. е. 10 % потребности в этом элементе культуры будут удовлетворять за счет почвы, хотя можно иметь (100 %) нулевой баланс, но, учитывая дальнейший рост подвижных форм калия в почве даже при отрицательном балансе, считаем наш вариант оптимальным.

Сложив дозы отдельных элементов, получим сумму их при установленном соотношении (табл. 126).

**126. Усвоение азота и калия культурами севооборота при равном потреблении ими фосфора**

| Показатель  | Установлен-<br>ные единицы<br>продукции, т | Потребление единиц<br>продукции, кг |                               |                  |
|---|--|-------------------------------------|-------------------------------|------------------|
|   |  | N                                   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Вико-овсяная смесь, зеленая масса   | 7  | 15*                                 | 10                            | 28               |
| Озимая пшеница, зерно   | 1  | 30                                  | 10                            | 25               |
| Картофель, клубни   | 6  | 30                                  | 10                            | 45               |
| Ячмень, зерно   | 1  | 27                                  | 10                            | 25               |
| Всего   | —  | 102                                 | 40                            | 123              |
| На 1 га   | —  | 25,5                                | 10                            | 30,8             |
| Балансовые коэффициенты использо-<br>вания удобрений за ротацию севообо-<br>рота, % (см. табл. 120) | —  | 80—90                               | 90—100                        | 100—115          |
| Требуется удобрений, кг/га  | —  | 30                                  | 10,5                          | 28               |
| Соотношение элементов в удобрениях  | —  | 2,86                                | 1                             | 2,67             |
| Обеспеченность навозом, 7 т/га  | —  | 35                                  | 17,5                          | 35               |
|   |  |                                     |                               | Σ88              |

\* 0,5 действительной потребности, т. е. без учета азотфиксации.

Переведем общую обеспеченность навозом в питательные элементы, суммируем их и полученную величину (88 кг/га) суммируем с заданной (исходной) обеспеченностью минеральными удобрениями (170 кг/га); искомая величина (258 кг/га д. в.) и является общей обеспеченностью севооборота удобрениями. Если эту обеспеченность (258 кг/га) разделить на сумму удобрений, необходимых для получения установленных единиц продукции культур севооборота (68,5 кг/га), получим возможное увеличение этих единиц в данном случае в 3,76 раза, т. е. возможные уровни урожаев всех культур составляют 3,76 т/га зерновых, 22,56 т/га картофеля и 26,32 т/га зеленой массы однолетних трав.

Теперь можем определить оптимальные соотношения между отдельными видами удобрений в пределах имеющихся ресурсов, соответствующие возможным уровням урожайности культур. Для этого суммарную обеспеченность удобрениями (258 кг/га) разделим на сумму оптимальных соотношений элементов в них (6,53), полученная величина (39,5 кг/га) — доля P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, умножаем ее на 2,86 и получаем долю N — 112,9, примерно 113 кг/га, за-

тем долю фосфора умножаем на 2,67 или, сложив доли фосфора и азота (152,4), вычитаем их из общей обеспеченности удобрениями (258,0) и получаем долю  $K_2O$  — 105,5, примерно 105 кг/га.

Так как в навозе содержание и соотношение азота, фосфора и калия известны и постоянны, вычитаем соответственно их количества из установленных общих соотношений:  $N = 113 - 35 = 78$  кг/га,  $P_2O_5 = 39,5 - 17,5 = 22$  кг/га,  $K_2O = 105 - 35 = 70$  кг/га. Оставшиеся количества и есть доли азотных, фосфорных и калийных удобрений в общей заданной обеспеченности ими ( $78 + 22 + 70 = 170$  кг/га).

Далее приступаем к разработке системы удобрения для получения установленных уровней урожайности культур при имеющихся ресурсах их. Причем с этого момента это одновременно и методика разработки системы для получения плановых урожаев культур.

По кислотности почвы и требовательности к ней культур севооборота ранее уже установлена необходимость известкования, причем 3 культуры сильно нуждаются в нем, а 1 (картофель) — предпочитает слабокислую реакцию. Следовательно, лучшим местом внесения извести в севообороте будет поле, ежегодно предназначенное для ячменя после уборки картофеля. С организационной точки зрения, это не самый хороший вариант, поэтому возможно внесение извести в поле с картофелем после его посадки до всходов. Учитывая, что 75 % культур севооборота сильно нуждаются в известковании, дозу извести определим по средневзвешенной гидролитической кислотности ( $Hг = 3мг \cdot экв/100г$ ):  $D_{CaCO_3} = 1,5Hг = 4,5$  т/га.

Навоз, лучше всего весь (28 т/га), следует внести под одну культуру, а оптимальным местом внесения его по организационным причинам и с учетом удобрения им наиболее ценных (конъюнктурных) культур — пшеницы и картофеля — будет занятый пар перед посевом озимой пшеницы, хотя наиболее отзывчивой на навоз в севообороте является викоовсяная смесь.

Зная возможные (или плановые) урожаи культур, рассчитаем хозяйственный вынос ими питательных элементов, вычтем из этой потребности с помощью дифференцированных балансовых коэффициентов количества их, используемые по годам из навоза (см. табл. 121), а остальное нужное растениям количество элементов (табл. 127) будем компенсировать минеральными удобрениями.

Как видно из таблицы 127, в соответствии с балансовым коэффициентом использования калия из навоза в первый год (см. табл. 121) озимая пшеница могла бы усвоить 98 кг, но для получения установленного урожая ей необходимо 94 кг. Поэтому оставшиеся 4 кг сохраняются в почве и могут быть использованы следующей по этому полю культурой — картофелем, который, по расчетам, на второй год может усвоить из навоза 35 кг калия.

### 127. Потребление культурами и возмещение удобрениями питательных элементов в севообороте

| Чередование культур | Возможная (плановая) урожайность, т/га | Вынос с урожайности, кг/га |                               |                  | Возмещение удобрениями, кг/га |                               |                  |                          |                               |                  |
|---------------------|--|----------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------|
|                     |  |                            |                               |                  | из навоза                     |                               |                  | из минеральных удобрений |                               |                  |
|                     |  | 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 | N                        | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Вико-овсяная смесь  | 26,3                                   | 56*                        | 37,6                          | 105              | 7                             | 7                             | 7                | 49                       | 30,6                          | 98               |
| Озимая пшеница      | 3,76                                   | 113                        | 37,6                          | 94               | 49                            | 28                            | 94 (98)          | 64                       | 9,6                           | —                |
| Картофель           | 22,5                                   | 113                        | 37,6                          | 169              | 42                            | 21                            | 39 (35)          | 71                       | 16,6                          | 130              |
| Ячмень              | 3,76                                   | 101                        | 37,6                          | 94               | 21                            | 10,5                          | 14               | 80                       | 27,1                          | 80               |

\* 0,5 действительного выноса, т. е. без учета азотфиксации викией.

*Примечание.* В скобках указано возможное потребление элементов.

Теперь переведем оставшуюся неудовлетворенной потребность культур в питательных элементах в дозы минеральных удобрений с помощью дифференцированных балансовых коэффициентов использования их в сумме за ротацию (см. табл. 120); так как минеральные удобрения применяют под все культуры севооборота, нет смысла раскладывать их действие по годам. Проведя расчеты и округлив полученные цифры с точностью до 5 кг/га, получим общую схему системы удобрения в севообороте (табл. 128).

### 128. Общая схема системы удобрения в севообороте

| Чередование культур | Возможная (плановая) урожайность, т/га | Навоз/известь, т/га | Минеральные удобрения, кг/га |                               |                  |
|---------------------|--|---------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|
|                     |  |                     | N                            | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Вико-овсяная смесь  | 26,3                                   | —                   | 58 ≈ 55                      | 30                            | 89 ≈ 90          |
| Озимая пшеница      | 3,76                                   | 28                  | 75                           | 10                            | —                |
| Картофель           | 22,5                                   | —                   | 84 ≈ 80                      | 17 ≈ 15                       | 118 ≈ 115        |
| Ячмень              | 3,76                                   | 4,5                 | 94 ≈ 95                      | 29 ≈ 30                       | 73 ≈ 75          |
| Итого               |  | 28/4,5              | 305                          | 85                            | 280              |
| На 1 га             |  | 7/1,1               | 76                           | 21                            | 70               |

Как видно из полученных данных (см. табл. 128), отклонение от заданной обеспеченности удобрениями (в результате округления доз) составляет менее 2 %. На основании этого вполне можно рассчитывать на получение установленных (плановых) урожаев культур без дополнительной проверки системы по балансу питательных элементов.

При разработке системы удобрения в агроценозах любыми другими методами определения оптимальных доз удобрений проверка их по балансу питательных элементов обязательна.

### 7.6.2. БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ГУМУСА

*Баланс питательных элементов* — это прогнозный эколого-агрономический показатель продуктивности культур, плодородия почв и степени соответствия их количеству и качеству применяе-

мых удобрений и одновременно показатель химической нагрузки не только на почвы и растения, но и на контактирующие с ними компоненты окружающей среды.

Систематическое повышение (расширенное воспроизводство) плодородия почвы базируется в основном на внесении в нее химических мелиорантов, органических и минеральных удобрений в количествах, обычно превышающих потребности культур в питательных элементах, т. е., как правило, только при положительном балансе питательных элементов. Существовавшая до недавнего времени подобная практика применения удобрений в агроценозах многих регионов России и других стран представляла собой экологическую угрозу окружающей среде и явилась одной из причин загрязнения отдельных видов сельскохозяйственной продукции, почв и вод во многих регионах. Все это обуславливает необходимость введения в практику предельно допустимой (максимально возможной) дозы (насыщенности) удобрений под конкретную культуру (севооборот, агроценоз) на конкретном поле (участке, севообороте) с учетом фактической продуктивности, достигнутого уровня плодородия и желаемого его изменения с целью оптимизации.

Для получения любых уровней продуктивности сельскохозяйственных культур вплоть до максимальных на почвах с оптимальным плодородием уровень применяющихся удобрений должен быть теоретически таковым, чтобы полностью компенсировать расходование питательных элементов отчуждаемой продукцией и другими потерями, т. е. при нулевом балансе этих элементов. Практически же при достижении продуктивности культур ниже максимально возможной результаты баланса питательных элементов нередко оказываются отрицательными, а без удобрений при минимальной продуктивности культур — всегда отрицательными. Это с точки зрения загрязнения получаемой продукции, как правило, безопасно, но рано или поздно приведет к снижению плодородия почвы и, следовательно, к дальнейшему снижению продуктивности возделываемых культур.

Поэтому количественные показатели баланса питательных элементов при существующей (многолетней) продуктивности агроценоза в конкретных почвенно-климатических условиях являются экологическим показателем (нормативом) степени и скорости повышения плодородия и загрязнения при положительных величинах, истощения плодородия при отрицательных величинах и неизменности (сохранения плодородия) почв при нулевых величинах. Кроме того, результаты баланса служат показателями (нормативом) качества контроля (сертификации) получаемой сельскохозяйственной продукции с конкретных территорий, так как при положительном балансе элементов возрастает опасность загрязнения ими продукции и необходим более жесткий контроль. При нулевом балансе контроль за качеством продукции дол-



жен быть стандартным (обычным), а при отрицательном балансе с увеличением величины — все более выборочным.

Результаты баланса — это показатели (нормативы) загрязнения или очищения продукции, почв и сопредельных сред не только теми элементами и веществами (включая сопутствующие), которые вносят в виде удобрений, но и которыми уже была загрязнена почва или которые вносят в виде мелиорантов, химических средств защиты растений от болезней, вредителей, сорняков и для предотвращения полегания посевов. Все эти элементы и вещества при получении запланированной продуктивности культур и нулевом балансе питательных элементов не содержат своих остатков в продукции, почве и сопредельных средах в количествах, превышающих существующие экологические нормативы (ПДК, ОДК, МДУ и т. д.). При отрицательном балансе, т. е. когда продуктивность культур выше запланированной, концентрация всех элементов и веществ в продукции будет еще ниже, чем при нулевом балансе, за счет ростового разбавления и остатки их в почве и сопредельных средах будут еще ниже, так как приход в почву меньше расхода культурами.

В приходную часть в балансовых расчетах включают следующие источники поступления элементов: органические и минеральные удобрения, мелиоранты; элементы из атмосферы (включая выпадение с осадками); биологическую фиксацию азота симбиотическими, свободноживущими и ассоциативными организмами; посевной материал и растительные остатки.

В расходную часть включают расходование элементов на создание основной и побочной продукции культур и растительные остатки, вымывание элементов в грунтовые воды и смыв их с поверхности, газообразные потери элементов и потери в результате ветровой эрозии.

При полном расчете всех перечисленных статей прихода и расхода элементов баланс называют *биологическим*, а при исключении растительных остатков (опад, корневые и пожнивные остатки растений) в приходной и расходной части — *хозяйственным*. Для теоретических исследований чаще рассчитывают биологический, а для практических целей — хозяйственный баланс элементов.

Размеры и соотношения статей прихода и расхода элементов в их круговороте и балансе неодинаково и значительно изменяются в зависимости от природных и хозяйственных условий, т. е. от уровня продуктивности возделываемых культур, плодородия почв, обеспеченности удобрениями и агротехники. Поэтому анализ состояния баланса и круговорот элементов в каждом конкретном случае должны быть тесно связаны со всеми перечисленными факторами (урожайность, насыщенность удобрениями и состояние плодородия почвы).

Ориентировочные размеры всех статей прихода и расхода питательных элементов в различных почвенно-климатических зонах приведены в справочниках и рекомендациях. Однако более точно

они могут быть определены в местных (областных, зональных) научно-исследовательских, проектно-изыскательских и учебных заведениях соответствующих регионов.

Количественная и качественная оценки приходно-расходных статей баланса питательных элементов в различных почвенно-климатических условиях нередко позволяют значительно сократить число этих статей за счет исключения сопоставимых и равных из их числа как в приходной, так и в расходной статьях. Например, для азота суммарное количество поступающего в почву элемента из атмосферы (включая выпадение с осадками), с семенами и за счет свободноживущих азотфиксаторов нередко соответствует суммарным потерям его за счет вымывания, эрозионных процессов и газообразных потерь. Для фосфора, калия, кальция, магния и других элементов суммарное количество каждого из них, поступающее из атмосферы и с семенами, также может соответствовать суммарным их потерям за счет вымывания и эрозионных процессов.

Разумеется, при различиях в суммарных величинах вышеперечисленных статей прихода и расхода уменьшается их количество, соответствующее суммарному равенству с той и другой стороны. В конечном итоге среди приходных статей баланса нередко остается только внесение с удобрениями и мелиорантами (для азота еще и симбиотическая азотфиксация), а в расходных — потребление растениями (хозяйственный вынос). Это существенно упрощает балансовые расчеты и позволяет легко осуществлять их в любом производственном посеве, агроценозе или природном (естественном) ландшафте.

Учитывая различия природных условий и связанных с ними колебаний урожайности возделываемых культур, а также ежегодные количественные и качественные изменения применяемых удобрений, наиболее объективная и правильная оценка баланса может быть получена за полную ротацию севооборота (агроценоза). При этом расчеты следует вести по средним или суммарным за ротацию величинам урожайности, дозам и соотношениям применявшихся удобрений. Аналогичные оценки степени соответствия баланса питательных элементов уровню плодородия почв, урожайности возделываемых культур и требованиям охраны окружающей среды можно осуществлять для хозяйства, района, области, зоны, республики. Для лучшего понимания методики получения таких оценок разберем конкретный пример на отдельном хозяйстве Центрального Нечерноземья.

**Методика определения степени соответствия продуктивности культур количествам (дозам, насыщенности) удобрений в конкретных почвенно-климатических условиях хозяйства.** Почвы хозяйства дерново-подзолистые, среднесуглинистые, средневзвешенное плодородие их по результатам агрохимических картограмм (паспортов полей) за последние 5 лет соответствует по содержанию фосфора и калия 3-му классу, по кислотности 5-му классу. Среднегодовая

обеспеченность минеральными удобрениями за 5 лет составила (кг/га д. в.): азотные 60, фосфорные 55 и калийные 55 (всего 170) и органическими удобрениями 8 т/га. В среднем органические удобрения содержали 0,35 % азота, 0,2 % фосфора и 0,4 % калия, т. е. в 8 т содержалось 28 кг азота, 16 кг фосфора и 32 кг калия, а общая обеспеченность азотом 88 (60 + 28), фосфором 71 (55 + 16) и калием 87 (55 + 32) в сумме равна 246 кг/га д. в.

Среднегодовая за 5 лет урожайность зерновых колосовых культур (при 35 % их в структуре посевных площадей) составила 2,0 т/га, картофеля (10 % в структуре) — 12,5, сена многолетних трав (35 % в структуре) — 4,0, зеленой массы однолетних трав (16 % в структуре) — 16,0, кукурузы (2 % в структуре) — 20,0, кормовой свеклы (2 % в структуре) — 17,0 т/га.

Пользуясь собственными или справочными данными, рассчитаем хозяйственные выносы питательных элементов возделывавшимися культурами, учтем удельный вес их в структуре посевных площадей и определим средневзвешенный хозяйственный вынос элементов (табл. 129).

**129. Структура посевных площадей, урожайность и потребление питательных элементов культурами**

| Культура                         | Посевная площадь, % в структуре | Урожайность, т/га | Вынос с урожаями культур, кг/га |    |     |                                      |      |      |
|----------------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|----|-----|--------------------------------------|------|------|
|                                  |                                 |                   | общии                           |    |     | с учетом структуры посевных площадей |      |      |
|                                  |                                 |                   | N                               | P  | K   | N                                    | P    | K    |
| Зерновые колосовые               | 35                              | 2,0               | 60                              | 24 | 52  | 21,0                                 | 8,4  | 18,2 |
| Картофель                        | 10                              | 12,5              | 75                              | 25 | 112 | 7,5                                  | 2,5  | 11,2 |
| Многолетние травы на сено        | 35                              | 4,0               | 60*                             | 24 | 80  | 21,0*                                | 8,4  | 28,0 |
| Однолетние травы (зеленая масса) | 16                              | 16,0              | 56*                             | 22 | 80  | 9,0*                                 | 3,5  | 12,8 |
| Кукуруза                         | 2                               | 20,0              | 60                              | 24 | 90  | 1,2                                  | 0,5  | 1,8  |
| Кормовая свекла                  | 2                               | 17,0              | 85                              | 26 | 119 | 1,7                                  | 0,5  | 2,4  |
| Средневзвешенный вынос, кг/га    |                                 |                   |                                 |    |     | 61,4                                 | 23,8 | 74,4 |

\*За вычетом симбиотической азотфиксации (50 % фактического выноса), то же в таблицах 130, 131.

Сопоставим полученные результаты со среднегодовым внесением удобрений, рассчитаем баланс питательных элементов (табл. 130).

**130. Баланс питательных элементов**

| Показатель  | N      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|---|--------|-------------------------------|------------------|
| Средневзвешенный вынос, кг/га                     | 61,4   | 23,8                          | 74,4             |
| Среднегодовое внесение удобрений, кг/га           | 88,0   | 71,0                          | 87,0             |
| Баланс, кг/га                                     | + 26,6 | + 47,2                        | + 12,6           |
| Коэффициент возврата                              | 1,43   | 2,98                          | 1,17             |
| Интенсивность баланса, %                          | 143    | 298                           | 117              |
| Балансовый коэффициент использования удобрений, % | 69,8   | 33,5                          | 85,5             |

Результаты столь положительного баланса по всем элементам свидетельствуют прежде всего о том, что достигнутый уровень урожайности культур в хозяйстве значительно ниже, чем мог быть при указанной насыщенности посевов удобрениями. Следовательно, не недостаток удобрений, а другие факторы агротехники лимитировали рост урожайности (сроки, качество обработки почвы, посевного материала, ухода за посевами, уборки урожая, дозы, формы, сроки и способы внесения удобрений под отдельные культуры и др.). Из структуры посевных площадей хозяйства (см. табл. 129) видно, что 14 % культур (картофель, кукуруза, кормовая свекла) требуют почв 4-го класса, а остальные — 3-го, т. е. средневзвешенная требовательность всех культур почти соответствует 3-му классу, а фактическое плодородие почв всех полей по обеспеченности фосфором и калием 3-го класса и по кислотности 5-го класса. Следовательно, при близком к нулю балансе по всем питательным элементам можно сохранять или постепенно улучшать плодородие почв и получать максимальный эффект от удобрений.

Если учесть, что 20—40 % минерального азота в этой зоне теряется в результате вымывания и газообразных потерь и в структуре посевных площадей злаково-бобовые смеси составляют 50 %, то нулевого баланса по азоту практически можно достигнуть при 20%-ных потерях, т. е. коэффициент возврата должен быть 1,2, интенсивность баланса — 120 % и балансовый коэффициент использования удобрений — 80 %. В нашем же примере (см. табл. 130) приход азота более значительный, а это чревато опасностью загрязнения почв, вод и продукции нитратами и нитритами.

Баланс по фосфору следовало бы также иметь гораздо менее положительным: примерно 30 % вносимого с удобрениями фосфора сверх выноса культурами (балансовый коэффициент 70 %) было бы вполне достаточно для постепенного увеличения его содержания в почвах. В нашем примере (см. табл. 130) 2/3 фосфора сверх выноса культурами ежегодно остается в почве. За 5 лет содержание его в почве увеличилось на 235 кг (47 · 5), что по средним для зоны нормативам (80 кг/га соответствует 1 мг/100 г) эквивалентно увеличению его содержания на 3 мг/100 г почвы (235 : 80), т. е. примерно на 0,5 класса, а это больше, чем целесообразно. При чрезмерном избытке фосфора увеличивается опасность загрязнения почвы и продукции сопутствующими ему в удобрениях нежелательными (токсичными) элементами (фтор, хром, никель, свинец, кадмий и др.), а также снижается доступность растениям цинка.

Баланс по калию мог быть нулевым или слабоположительным (балансовый коэффициент 100—90 %), что вполне достаточно не только для сохранения, но и для увеличения обеспеченности им почв. В нашем примере баланс калия чрезмерно положительный: за 5 лет сверх выноса культурами внесено 63 кг/га (12,6 · 5), что по средним для зоны нормативам (30—40 кг/га эквивалентны 1 мг/100 г

почвы) соответствует увеличению его содержания на 2 мг в 100 г почвы (63 : 30). Избыток калия увеличивает опасность загрязнения им продукции (особенно трав) и способствует более интенсивному вымыванию из пахотного слоя почв кальция и магния.

Установив оптимальные требования к балансу питательных элементов, определим возможную урожайность культур и необходимые при этом соотношения между азотными, фосфорными и калийными удобрениями в пределах имеющихся общих ресурсов их и органических удобрений.

Определим (по местным или справочным данным) вынос питательных элементов с единицей (1 т) основной и соответствующим количеством побочной продукции каждой культуры и подберем такие количества (единицы) продукции у всех культур, с которыми потребляется одинаковое количество фосфора (например, 12 кг, хотя величина может быть и любой другой, а эта взята для удобства расчетов), а различия в потреблении других элементов изменяются пропорционально изменениям фосфора (табл. 131). Далее определим с учетом структуры посевных площадей средневзвешенный вынос элементов всеми культурами с установленным количеством продукции, содержащей одинаковое количество фосфора.

**131. Вынос питательных элементов с основной и соответствующим количеством побочной продукции, кг**

| Культура                         | Посевная площадь, % в структуре | Вынос 1 т основной продукции |     |     |      | Количество продукции (т), эквивалентной по потреблению Р | Вынос эквивалентной по потреблению Р единицей продукции |    |       |                    |      |   |
|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----|-----|------|--|---|----|-------|--------------------|------|---|
|                                  |                                 |                              |     |     |      |  | общий   |    |       | с учетом структуры |      |   |
|                                  |                                 | Н                            | Р   | К   |      |  | Н   | Р  | К     | Н                  | Р    | К |
| Зерновые колосовые               | 35                              | 30                           | 12  | 26  | 1,0  | 30   | 12  | 26 | 10,5  | 4,20               | 9,1  |   |
| Картофель                        | 10                              | 6                            | 2   | 9   | 6,0  | 36   | 12  | 54 | 3,6   | 1,20               | 5,4  |   |
| Многолетние травы (сено)         | 35                              | 15*                          | 6   | 20  | 2,0  | 30*  | 12  | 40 | 10,5* | 4,20               | 14,0 |   |
| Однолетние травы (зеленая масса) | 16                              | 3,5*                         | 1,4 | 5,0 | 8,5  | 30*  | 12  | 43 | 4,8*  | 1,92               | 6,9  |   |
| Кукуруза (зеленая масса)         | 2                               | 3,0                          | 1,2 | 4,5 | 10,0 | 30   | 12  | 45 | 0,6   | 0,24               | 0,9  |   |
| Кормовая свекла                  | 2                               | 5,0                          | 1,5 | 7,0 | 8,0  | 40   | 12  | 56 | 0,8   | 0,24               | 1,1  |   |
| Средневзвешенный вынос, кг/га    |                                 |                              |     |     |      |  |   |    | 30,8  | 12,0               | 37,4 |   |

\*За вычетом симбиотической азотфиксации.

Для трансформации средневзвешенного выноса питательных элементов всеми культурами в соответствующее количество удобрений предусмотрим с помощью балансовых коэффициентов их использования бездефицитный баланс по калию (100 %), с учетом 20 % потерь азота практически бездефицитный баланс по нему

(80 %), а 30 % вносимого фосфора (балансовый коэффициент 70 %) будут постепенно повышать обеспеченность им почв. Если средневзвешенный вынос элементов культурами разделить на принятые балансовые коэффициенты (в долях единицы), найдем необходимые количества удобрений для получения установленных величин продукции всех культур с одновременным (желаемым) изменением обеспеченности почв питательными элементами. Далее определим сумму полученных удобрений ( $38,5 + 17,1 + 37,4 = 93,0$ ) и разделим на нее имеющуюся обеспеченность (246 кг/га) хозяйства всеми удобрениями ( $246 : 93 = 2,6$ ).

Полученная величина показывает, что имеющаяся обеспеченность хозяйства удобрениями в 2,6 раза больше, чем требуется для получения определенных ранее количеств продукции по каждой культуре, т. е. при таких ресурсах можно получать 2,6 т/га зерновых ( $1,0 \cdot 2,6$ ), 15,6 т/га картофеля ( $6,0 \cdot 2,6$ ), 5,2 т/га сена ( $2,0 \cdot 2,6$ ), 20,8 т/га однолетних трав и кормовой свеклы ( $8,0 \cdot 2,6$ ), 26,0 т/га кукурузы ( $10,0 \cdot 2,6$ ).

Определим соотношения между отдельными удобрениями (принимая за единицу долю фосфорных) и сумму соотношений  $2,26(2,3) + 1 + 2,19(2,2) = 5,49 \approx 5,5$ . Если имеющуюся общую обеспеченность хозяйства удобрениями (246 кг/га) разделить на сумму соотношений их (5,5), получим долю фосфорных (45), умножая которую на соответствующие величины, установим доли азотных ( $4,5 \cdot 2,26 = 104$ ) и калийных ( $45 \cdot 2,19 = 99$ ) удобрений. Сумма всех их ( $104 + 45 + 99 = 248$  кг/га) на 2 кг превышает (за счет округлений в расчетах) имеющиеся ресурсы (246), поэтому для устранения этого недостатка уменьшим на 1 кг доли азотных и калийных удобрений ( $103 + 45 + 98 = 246$ ). Из полученных общих количеств удобрений вычтем содержащиеся в 8 т/га органических удобрений 28 кг азота, 16 кг фосфора и 32 кг калия. Оставшиеся величины — 75 кг азота ( $103 - 28$ ), 29 кг фосфора ( $45 - 16$ ) и 66 кг калия ( $98 - 32$ ) — в сумме составят 170 кг/га имеющихся минеральных удобрений, но уже совершенно в других, чем ранее (60, 55 и 55), соотношениях, которые позволяют рассчитывать на более высокие урожаи возделываемых культур, так как отвечают биологическим требованиям культур с одновременным регулированием эффективного плодородия почв.

**Методика определения предельной дозы (насыщенности) удобрений.** Определение предельной, или максимально допустимой, дозы (насыщенности) удобрений под отдельными культурами и в агроценозах с научно обоснованным соотношением между элементами является чрезвычайно важной задачей всех производителей растениеводческой продукции и природоохранных организаций. Эти величины могут значительно колебаться в зависимости от почвенно-климатических условий, вида (сорта) и уровня продуктивности культуры и агроценоза, а также общей культуры земледелия и степени актуальности экологических ограничений.

Однако имеется ряд общих требований.

1. Максимально планируемая урожайность отдельных культур и сортов и продуктивность агроценозов должны соответствовать среднедолголетним (не менее 5—7 лет) погодно-агротехническим условиям (приход ФАР, сумма положительных температур, количество и распределение осадков, сроки и способы обработки почвы и т. д.). Она может быть определена расчетным путем или по среднедолголетним показателям урожайности этих культур (сортов) на типичных почвах данной зоны, полученным на лучших вариантах опытов в научно-исследовательских учреждениях (НИИ, опытные станции, Госсортоучастки, вузы и др.) и в производственных посевах передовых хозяйств.

2. Учет фактического средневзвешенного плодородия почвы всех полей агроценоза по результатам последнего почвенно-агрохимического обследования позволит обосновать необходимость и направленность изменений показателей эффективного плодородия до оптимальных уровней для всей совокупности возделываемых культур.

3. Оптимизация показателей эффективного плодородия осуществляется с помощью дифференцированных балансовых коэффициентов использования удобрений (т. е. по балансу): при обеспеченности почв элементами питания выше оптимальной, почвы постепенно истощаются до оптимума, при оптимуме баланс нулевой, при недостатке элементов в почве баланс положительный с целью повышения обеспеченности почв до оптимума.

Разберем несколько примеров. Требуется определить максимально допустимую насыщенность удобрениями с оптимальным соотношением элементов под картофелем на серой лесной почве (средневзвешенная обеспеченность питательными элементами 4-й класс). Среднедолголетняя максимальная урожайность его (по данным многолетних опытов и производства) 25,0 т/га, ежегодная обеспеченность органическими удобрениями 10 т/га, содержание в которых азота 0,5 %, фосфора 0,25 % и калия 0,6 %.

Определим вынос питательных элементов с 25,0 т/га клубней и соответствующим количеством ботвы (по результатам ежегодных анализов или по справочным данным). Он составляет 150 кг азота, 50 кг фосфора и 225 кг калия.

Так как фактическое плодородие почвы соответствует оптимальному для этой культуры, то баланс питательных элементов при этом должен быть нулевым по всем элементам (если за счет почвенной и растительной диагностики и совершенствования сроков и способов внесения азотных удобрений потери азота будут исключены) или практически нулевым по азоту (с учетом возможных потерь его около 20 %). Следовательно, балансовые коэффициенты использования фосфорных и калийных удобрений должны быть равны 100 %, а азотных — 100 или 80 %, т. е. общая доза азота 150 (или 180) кг, фосфора 50 и калия 225 кг, а так как 10 т/га навоза обеспечивает 50 кг азота, 25 кг фосфора и 60 кг калия, то на долю минеральных удобрений остается 100 (или 130) кг азота, 25 кг фосфора и 165 кг калия. В сумме это составляет 290 (или 310) кг/га NPK. Таким образом, предельная общая насыщенность (максимально допустимая доза) удобрениями для картофеля в указанных почвенно-климатических условиях равна 425 (или 455) кг/га д. в. Увеличение дозы возможно только за счет фосфорно-калийных удобрений не более чем на 10 (при 3-м классе обеспеченности) или 20 % (при 2-м классе обеспеченности) соответствующими элементами, а уменьшение — на 10 % при повышении обеспеченности почвы фосфором или калием на один класс и на 20 % на два класса.

Другой пример. В длительном стационарном полевом опыте, заложенном в 1975 г., на хорошо окультуренной дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в учхозе «Михайловское» Подольского района Московской области в четырехпольном севообороте среднегодовая максимальная урожайность за 16 лет (1976—1991) на лучших вариантах (с положительным или нулевым балансом питательных элементов за все годы исследований) составила: озимой пшеницы 4,5 т/га, картофеля 23,0 т/га, ячменя 3,5 т/га и сена однолетних трав ( вико-горохо-овсяная смесь) 6,5 т/га. Требуется определить максимальную предельно допустимую насыщенность посевов удобрениями при сохранении (поддержании) исходного плодородия (содержание фосфора и калия соответственно 15 и 19 мг/100 г почвы), т. е. при нулевом (или практически нулевом для азота) балансе питательных элементов. Рассчитаем ежегодный хозяйственный вынос питательных элементов всеми культурами севооборота (табл. 132).

### 132. Среднегодовой хозяйственный вынос питательных элементов культурами, кг/га

| Культура                | Урожайность, т/га | Хозяйственный вынос, кг/га |    |     |
|-------------------------|-------------------|----------------------------|----|-----|
|                         |                   | Н                          | Р  | К   |
| Озимая пшеница          | 4,5               | 140                        | 50 | 130 |
| Картофель               | 23,0              | 130                        | 37 | 180 |
| Ячмень                  | 3,5               | 105                        | 42 | 95  |
| Однолетние травы (сено) | 6,5               | 80*                        | 52 | 160 |
| Среднее с 1 га          |                   | 114                        | 45 | 141 |

\* 50 % фактического содержания (50 % за счет азотфиксации).

При предъявляемых требованиях к балансу питательных элементов среднегодовые максимально допустимые дозы составляют: 140 кг/га азота, 45 кг/га фосфора и 140 кг/га калия, а суммарная насыщенность удобрениями 325 кг/га д. в. В зависимости от уровня насыщенности и качества органических удобрений дозы минеральных удобрений соответственно уменьшаются.

В условиях экономического кризиса количество применяемых удобрений в хозяйствах резко снизилось, поэтому наряду с контролем за охраной окружающей среды на интенсивно удобряемых участках, полях и агроценозах возрастает потребность в контроле за состоянием почв в неудобряемых и малоеудобряемых агроценозах, так как интенсивная и длительная эксплуатация почв без удобрений способствует снижению плодородия. До настоящего времени научные исследования в этом направлении практически не проводились, поэтому предлагаем вариант методики для контроля и прогноза возможного снижения плодородия почв при отсутствии удобрений и недостатке их, основанный на результатах баланса питательных элементов.

Научно обоснованные экспериментальные данные для прогнозов темпов падения плодородия почв во всех почвенно-климатических зонах могут быть получены из материалов длительных стационарных полевых опытов зональных научно-исследовательских, учебных и проектно-технологических учреждений путем сопоставления исходного содержания в почвах питательных элементов с фактическим содержанием их через различные промежутки времени в вариантах без удобрений (контроль) и в удоб-



рвавшихся вариантах с дефицитным балансом по разным питательным элементам.

В наших исследованиях за 16 лет (4 ротации севооборота) среднегодовой хозяйственный вынос в вариантах без удобрений составил 30 кг/га фосфора и 83 кг/га калия. Следовательно, за 16 лет из почвы было потреблено культурами 480 кг/га ( $30 \cdot 16$ ) фосфора и 1328 кг/га ( $83 \cdot 16$ ) калия. Исходная обеспеченность пахотного горизонта почвы (перед закладкой опыта, 1975 г.) составила фосфором 15 и калием 19 мг/100 г почвы, а перед пятой ротацией (1991 г.) в среднем по четырем полям контрольных вариантов соответственно 10 и 11 мг/100 г почвы, т. е. снизилась соответственно на 5 и 8 мг/100 г почвы.

Таким образом, для снижения обеспеченности соответствующим питательным элементом на 1 мг в 100 г пахотного горизонта дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в течение 16 лет растения потребляли 100 кг/га фосфора ( $480 : 5 = 96 \approx 100$ ) и 166 кг/га ( $1328 : 8 = 166$ ) калия. Разумеется, эти величины приемлемы только для аналогичных почвенно-климатических и агротехнических условий. Подобные расчеты следует проводить не только для пахотного, но и для нижележащих горизонтов почв, так как культуры могут потреблять питательные элементы по всему профилю проникновения корней.

Следовательно, хотя теоретически 1 мг на 100 г почвы соответствует 30 кг/га (при массе пахотного горизонта на 1 га равной 3 млн кг), практически затраты элементов на снижение их обеспеченности в любых почвах зависят от гранулометрического и минералогического состава, исходных показателей потенциального и эффективного плодородия не только пахотных, но и подпахотных горизонтов, набора культур (и сортов) севооборота, систем применения удобрений, обработки почв и ухода за посевами, погодных особенностей и общей культуры земледелия. Разумеется, используя результаты длительных исследований, вполне реально определение и применение этих прогнозных величин для установления темпов (скорости) снижения плодородия (деградации) почв в основных сельскохозяйственных регионах России. Это позволит природоохранным организациям и производителям сельскохозяйственной продукции бережнее относиться к почвам.

**Баланс гумуса.** С падением содержания гумуса в почвах разных регионов страны он приобретает все большую актуальность. Содержание и динамика гумуса в почвах зависят от почвенно-климатических условий, структуры посевных площадей, интенсивности обработки почв, количества и качества применяемых удобрений и мелиорантов.

Во всех почвенно-климатических зонах максимальные потери гумуса в результате эрозии и минерализации происходят в пахотной почве, затем под пропашными культурами, еще меньше под зерновыми культурами и минимальные под многолетними травами.

Удобрения, повышая продуктивность культур, увеличивают и количество корневых и пожнивных остатков их, а следовательно, возврат органического вещества пожнивными остатками и с органическими удобрениями. Органические удобрения, непосредственно пополняя запасы органического вещества, способны при определенных дозах (насыщенности) на разных почвах поддерживать бездефицитный баланс гумуса. По обобщенным данным Всероссийского научно-исследовательского и проектно-технологического института органических удобрений (ВНИПТИОУ), для создания бездефицитного баланса гумуса на разных почвах необходима следующая насыщенность посевов подстилочным навозом (т/га): на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых 10—12, супесчаных 12—15, черноземах: типичных и обыкновенных в севооборотах без трав 6—8, с травами (20 %) 4—5, выщелоченных 7—12, карбонатных 5—10, черноземах Западной Сибири 3—5, Восточной Сибири 4—6; каштановых почвах 4—5.

Существуют и расчетные методы баланса гумуса, однако следует иметь в виду, что коэффициенты гумификации разных органических веществ варьируют от множества факторов в значительных пределах. Например, для растительных послеуборочных остатков они изменяются от 0,05 до 30 %, для навоза — от 0,2 до 0,4 %, а для зеленых удобрений практически отсутствуют. Также сильно варьируют от множества факторов и коэффициенты минерализации гумуса — от 0,4—2,2 % под зерновыми до 0,8—4,0 % под пропашными культурами. Учитывая вышесказанное и пользуясь зональными справочными данными, можно рассчитать дозу ( $D$ ) органических удобрений для достижения и поддержания нужного содержания гумуса по следующей формуле:

$$D = \frac{G_{\text{исх}} K_m T + (G_{\text{ж}} - G_{\text{исх}}) - PK_r T}{M_r T},$$

где  $D$  — доза органического удобрения, т/га;  $G_{\text{исх}}$  и  $G_{\text{ж}}$  — соответственно исходное и желаемое содержание гумуса, т/га;  $K_m$  — коэффициент минерализации гумуса (1—3 %) — 0,01—0,03;  $T$  — годы, за которые планируется довести содержание гумуса до желаемого;  $P$  — масса послеуборочных растительных остатков, т/га;  $K_r$  — коэффициент гумификации послеуборочных растительных остатков (0,10—0,25);  $M_r$  — масса гумуса, образующаяся из 1 т органического удобрения, т/га.

### 7.6.3. МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ ГОДОВЫХ И КАЛЕНДАРНЫХ ПЛАНОВ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Разработанная любым из ранее изложенных методов общая схема системы удобрения севооборота (см. например табл. 128) является основным долговременным (как минимум, на ротацию) документом, который ежегодно должен уточняться с учетом различий в плодородии отдельных полей и фактического чередования

по ним культур, колебаний погодных и агротехнических условий отдельных лет, ежегодных организационно-экономических изменений в накоплении органических и приобретении минеральных удобрений.

Отдельные участки одного поля, а тем более разные поля севооборота, могут значительно отличаться друг от друга и от средневзвешенных данных всего севооборота по агрохимическим показателям. Учитывая фактическое размещение культур по полям в конкретном году, легко внести коррективы в дозы известковых и фосфорно-калийных удобрений (по азотным и органическим удобрениям их не делают) с помощью поправочных коэффициентов. Если плодородие конкретного поля соответствует средневзвешенному по севообороту, т. е. доза не изменяется, — поправочный коэффициент равен 1.

При различиях в один класс (в любую сторону) доза изменяется на 20 %, в два класса — на 40 % и т. д. Причем на более бедном поле, чем по севообороту, она возрастает (в 1,2; 1,4 раза и т. д.), а на более богатом снижается (в 0,8; 0,6 раза и т. д.). Так как общую схему системы удобрения разрабатывают по средневзвешенному плодородию в каждом севообороте, количество и сумма увеличений доз абсолютно равны уменьшениям их. Поэтому общая потребность в удобрениях останется прежней, но худшие поля получат больше, а лучшие меньше удобрений, т. е. будет происходить выравнивание плодородия всех полей.

При размещении культур в предстоящем году по полям данного примера (см. табл. 128) коррекция доз извести и фосфорно-калийных удобрений выглядит следующим образом (табл. 133).

**133. Коррекция доз удобрений с учетом различий в плодородии отдельных полей севооборота**

| № поля | Класс почвы       |                               |                  | Размещение культур в текущем году | Дозы (кг/га) и поправочные коэффициенты |              |    |                               |                  |
|--------|-------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------------|---|--------------|----|-------------------------------|------------------|
|        | pH <sub>KCl</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |                                   | CaCO <sub>3</sub> , т/га                | На-воз, т/га | N  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 1      | 4                 | 3                             | 1                | Вико-овсяная смесь                |   |              | 55 | 30×1,05 ≈ 30                  | 90×1,4=130       |
| 2      | 3                 | 2                             | 3                | Картофель                         |   |              | 80 | 15×1,25 ≈ 20                  | 115×1,05=120     |
| 3      | 5                 | 3                             | 3                | Озимая пшеница                    |   | 28           | 75 | 10×1,05=10                    | —                |
| 4      | 6                 | 5                             | 6                | Ячмень                            | 4,5×0,7≈3,2                             |              | 95 | 30×0,63≈20                    | 75×0,43≈30       |

Дозу извести (CaCO<sub>3</sub>) можно корректировать не только по классу pH<sub>KCl</sub> (табл. 133), но и по гидролитической кислотности почвы конкретного поля севооборота.

Коррекцию доз азотных удобрений делают перед непосредственным внесением этих удобрений по результатам почвенной диагностики, о чем уже говорилось в главе 3.

Скорректированные по плодородию почвы конкретных полей дозы удобрений уточняют далее с учетом погодных условий прошедшего года по урожаям предшественников. Если прошлый год был засушливым, это, как правило, снижает урожайность культур, что на следующий, даже типичный по погодным условиям год приведет к более значительному последствию органических и фосфорно-калийных удобрений, а иногда и азотных. Если прошлый год был более благоприятный, чем по среднемноголетним данным, ситуация изменится на противоположную. Вместе с перечисленными последствиями погодные условия могут вызвать, например, интенсивное развитие некоторых болезней или вредителей каких-либо культур, плохую перезимовку озимых культур, вызвавшую необходимость пересева их или замены другими культурами или задержку срока посева яровых культур и многие другие как положительные, так и отрицательные воздействия.

Все эти или, точнее, многие из возможных воздействий можно учесть с большей или меньшей точностью при коррекции доз удобрений в годовых планах. Например, если вследствие благоприятных погодных условий урожайность предшественника оказалась на 30 % выше возможной (плановой), то последствие органических и фосфорно-калийных удобрений на следующую после него культуру будет, вероятно, на 30 % ниже. Поэтому дозы соответствующих удобрений под последнюю культуру должны быть увеличены на 30 %.

Более точную коррекцию доз можно сделать, если анализировать урожаи предшественников, рассчитывать хозяйственные выносы питательных элементов и, сопоставив их с плановыми, сделать более точные коррективы. При снижении урожайности предшественников дозы удобрений последующих культур аналогичными способами следует уменьшать.

Коррекцию доз по количеству и качеству удобрений в конкретном году осуществляют по результатам ежегодных анализов органических удобрений, так как качество и количество их, так же как приобретение минеральных удобрений и извести, по различным причинам могут колебаться в разные годы. Если в данном году количество органических удобрений оказалось на 10 % больше или изменилось содержание в навозе питательных элементов, нужно, сопоставив фактическое содержание в измененной дозе навоза элементов со среднемноголетним, изменить дозы минеральных удобрений на отличающуюся величину их под озимую пшеницу (только под удобряемой органическим удобрением культурой). Если в приобретаемых минеральных удобрениях в конкретном году изменилось соотношение между их видами, следует пропорционально уменьшить дозы под всеми культурами до уровня, лимитируемого недостающим видом удобрений. Оставшиеся при этом количества других видов будут переходным фондом удобрений или используются в других агроценозах. При увеличе-

нии обеспеченности минеральными удобрениями дозы их повышают пропорционально под всеми культурами с соблюдением необходимых соотношений.

Таким образом, последовательная ежегодная коррекция доз удобрений общей схемы системы удобрения позволяет максимально учесть все или большинство ежегодно изменяющихся условий, т. е. система удобрения является динамичной, адаптированной к ежегодно меняющимся факторам роста и развития растений и обеспечивающей ежегодно максимальный агрономический и экономический эффект и экологическую безопасность.

Дальнейшим уточнением ежегодной коррекции системы удобрения является распределение скорректированных общих доз удобрений по способам их внесения (табл. 134).

**134. Распределение скорректированных общих доз удобрений (кг/га д. в.) по способам внесения**

| № поля | Культура           | Основное (допосевное)              | Припосевное (рядковое) | Подкормка         |
|--------|--------------------|------------------------------------|------------------------|-------------------|
| 1      | Вико-овсяная смесь | $N_{55}P_{20}K_{130}$              | $P_{10}$               | —                 |
| 2      | Картофель          | $K_{120}$                          | $N_{25}P_{25}$         | $N_{55}$          |
| 3      | Озимая пшеница     | Навоз, 28 т/га                     | $P_{10}$               | $N_{50} + N_{25}$ |
| 4      | Ячмень             | Известь, 3,2 т/га + $N_{45}K_{30}$ | $P_{20}$               | $N_{50}$          |

Далее нужно трансформировать указанные по способам внесения дозы в конкретные (с учетом требований культур, свойств почвы конкретного поля и самого удобрения) формы их с указанием сроков внесения и способов заделки (табл. 135).

**135. Сроки и способы внесения доз конкретных удобрений в севообороте**

| № поля | Культура           | Сроки и способы внесения   | Дозы (ц/га) и формы конкретных (физических) удобрений   |
|--------|--------------------|--|---|
| 1      | Вико-овсяная смесь | Осенью под зябь<br>Весной под предпосевную культивацию<br>При посеве   | 2,1 хлористый калий<br>1,0 фосфоритная мука<br>1,6 аммиачная селитра (или 0,7 жидкий аммиак)<br>0,5 гранулированный суперфосфат |
| 2      | Картофель          | Осенью под зябь<br>При посадке<br><br>Подкормка в фазе полных всходов  | 2,0 хлористый калий<br>1,2 нитроаммофос марки А (23 : 23)<br>1,6 аммиачная селитра (или 0,7 жидкий аммиак)                      |
| 3      | Озимая пшеница     | Летом под основную обработку<br>При посеве<br>Подкормки:<br>весной в фазе выхода в трубку (корневая)<br>начало налива зерна (некорневая) | 280 торфяной навоз<br>0,5 гранулированный суперфосфат<br><br>1,4 аммиачная селитра<br>0,5 мочевины в виде водного раствора      |

Продолжение

| № поля | Культура | Сроки и способы внесения                | Дозы (ц/га) и формы конкретных (физических) удобрений                |
|--------|----------|---|--|
| 4      | Ячмень   | Осенью под зябь                         | 32 СаСО <sub>3</sub><br>0,5 хлористый калий<br>1,3 аммиачная селитра |
|        |          | Весной под предпосевную культивацию     |  |
|        |          | При посеве                              | 0,5 гранулированный двойной суперфосфат                              |
|        |          | Подкормка в фазе начала выхода в трубку | 1,4 аммиачная селитра  |

При уточнении в годовом плане конкретных форм удобрений учитывают свойства почвы конкретного поля, например в полях 1 и 2 до их известкования эффективно при основном внесении вместо суперфосфата применять более дешевую фосфоритную муку. В качестве предпосевного удобрения не только в поле 1, но и в поле 4 можно применять при наличии соответствующих машин вместо аммиачной селитры более дешевый жидкий аммиак. При посеве и посадке можно также выбрать наилучшие формы комплексных или простых фосфорных удобрений. Если не проводили обработку семян микроэлементами, следует подобрать обогащенные соответствующим микроэлементом виды удобрений.

Перенесение под яровые культуры части азотных удобрений из основного в подкормки — один из способов снижения потерь азота и повышения эффективности этих удобрений. Годовой план, составленный таким образом, позволяет рекомендовать землепользователям наилучший ассортимент приобретаемых удобрений или указать лучшие формы их среди имеющихся с учетом потребностей культур и свойств почвы отдельных полей.

Именно в годовом плане принимают во внимание многие особенности удобрения отдельных культур с учетом почвенно-климатических, агротехнических условий и свойств самих удобрений.

В заключение по каждому севообороту составляют календарный план внесения, накопления и приобретения удобрений на всю удобряемую площадь, соблюдая примерные календарные сроки проведения всех работ (табл. 136).

136. Календарный план применения удобрений в севообороте

| Очередность проводимых работ                           | Потребность в удобрениях на всю площадь, т |                |                 |                  |                       |         |       |
|--|--|----------------|-----------------|------------------|-----------------------|---------|-------|
|  | аммиачная селитра                          | суперфосфат    | хлористый калий | фосфоритная мука | нитроаммофос/мочевина | известь | навоз |
| 1. Подкормка озимой пшеницы (в поле 3)                 | 14,0                                       | —              | —               | —                | —                     | —       | —     |
| 2. Предпосевное и рядковое удобрение ячменя (в поле 4) | 13,0                                       | 5,0<br>двойной | —               | —                | —                     | —       | —     |

Продолжение

| Очередность проводимых работ                                       | Потребность в удобрениях на всю площадь, т |                  |                 |                  |                       |          | навоз    |
|--|--|------------------|-----------------|------------------|-----------------------|----------|----------|
|  | аммиачная селитра                          | суперфосфат      | хлористый калий | фосфоритная мука | нитроаммофос/мочевина | из-весть |          |
| 3. Предпосевное и рядковое удобрение вико-овсяной смеси (в поле 1) | 16,0                                       | 5,0              | —               | —                | —                     | —        | —        |
| 4. Припосадочное удобрение картофеля (в поле 2)                    | —  | —                | —               | —                | 12,0                  | —        | —        |
| 5. Подкормка ячменя (в поле 4)                                     | 14,0                                       | —                | —               | —                | —                     | —        | —        |
| 6. Подкормка картофеля (в поле 2)                                  | 16,0                                       | —                | —               | —                | —                     | —        | —        |
| 7. Подкормка озимой пшеницы (в поле 3)                             | —  | —                | —               | —                | 5,0                   | —        | —        |
| И т о г о за весенний период                                       | 73,0                                       | 5,0 двойной+5,0  | —               | —                | 12,0/5,0              | —        | —        |
| 8. Допосевное и припосевное удобрение озимой пшеницы (в поле 1)    | —  | 5,0              | —               | —                | —                     | —        | 2,8 тыс. |
| 9. Основное удобрение под картофель (в поле 3)                     | —  | —                | 20,0            | —                | —                     | —        | —        |
| 10. Основное удобрение под вико-овсяную смесь (в поле 4)           | —  | —                | 21,0            | 10,0             | —                     | —        | —        |
| 11. Основное удобрение под ячмень (в поле 2)                       | —  | —                | 5,0             | —                | —                     | 320      | —        |
| И т о г о за летне-осенний период                                  | —  | 5,0              | 46,0            | 10,0             | —                     | 320      | 2,8 тыс. |
| В с е г о за год   | 73,0                                       | 5,0 двойной+10,0 | 46,0            | 10,0             | 12,0/5,0              | 320      | 2,8 тыс. |

На основании календарных планов определяют общую потребность и очередность приобретения минеральных удобрений и мелиорантов, объемы необходимых складских помещений для удобрений. Составляют обоснованный график работы людей, машин и механизмов, по приобретению, хранению, транспортировке и внесению всех удобрений и мелиорантов, что позволяет наиболее точно планировать проведение и других работ в хозяйстве.

Календарный план является рабочим планом бригадира или звеньевого по организации и проведению работ и одновременно позволяет агроному (руководителю) легко контролировать правильность и своевременность их выполнения.

Именно такой комплексный и последовательный подход к системе удобрений (общая схема, годовой и календарный планы) в каждом севообороте и хозяйстве в целом при прочих удовлетворительных условиях обеспечит получение и плановых, и возможных урожаев культур хорошего качества с одновременным регулированием плодородия почв и соблюдением требований охраны окружающей среды в сочетании с любыми (химическими, биологическими и агротехническими) средствами защиты растений от болезней, вредителей сорняков, полегания посевов и т. д.

#### 7.6.4. ОСОБЕННОСТИ УДОБРЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР

**Озимая пшеница и рожь.** В сравнении с яровыми зерновыми культурами они имеют очень продолжительный период потребления питательных элементов — с осеннего появления всходов до цветения на следующий год, поэтому более полно используют осенне-весенние запасы влаги и, как правило, лучше отзываются на удобрения. Вместе с тем урожайность озимых культур зависит от условий перезимовки, неблагоприятные последствия которой можно смягчить квалифицированным применением удобрений и мелиорантов.

Озимая пшеница более требовательна к условиям выращивания, чем рожь. Оптимальная реакция почв для нее при pH 6—7,5, а для ржи pH 5—6. Кустится пшеница преимущественно весной, хотя в южных районах кущение начинается и осенью, а рожь главным образом осенью.

Озимые с осени нуждаются в фосфорно-калийных удобрениях, как правило, с обязательным внесением суперфосфата при посеве (10 кг/га д. в.), что способствует более мощному развитию корневой системы, накоплению углеводов и, следовательно, лучшей перезимовке. Избыток азота с осени чреват снижением зимостойкости и является одной из причин гибели их в зимне-весенний период и сильного полегания в последующем, что ведет к значительным потерям урожая. Поэтому при возделывании по чистым парам, по бобовым (особенно многолетним) предшественникам, при внесении навоза или других органических удобрений, а также на хорошо обеспеченных подвижным азотом почвах под озимые азотные удобрения следует вносить только весной.

В это время озимые нуждаются в азотных удобрениях, особенно на переувлажненных участках, да и весенние холода резко ослабляют не только минерализацию азота, но и поглощение его культурами. Поэтому азотная подкормка озимых — второй после припосевного удобрения обязательный прием квалифицированного применения их под эти культуры.

Органические удобрения — важный элемент в технологии возделывания озимых, особенно по чистым и занятым парам, так как это наиболее удобные места в севооборотах для качественного внесения этих удобрений. Средние дозы органических удобрений под озимые 20—40 т/га, которые вносят под перепашку чистого пара, под основную обработку после парозанимающей культуры или под парозанимающую культуру.

Дозы минеральных удобрений под озимые культуры зависят от почвенно-климатических условий, уровней плановых или возможных урожаев при имеющихся ресурсах удобрений и организационно-экономических условий землепользователей. Все установленные в конкретных условиях дозы мелиорантов, органических и фосфорно-калийных (за исключением 10 кг/га  $P_2O_5$  при по-



севе) удобрений во всех зонах под озимые вносят под основную обработку почвы.

Дозы азотных удобрений в зонах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия по непаровым, небобовым предшественникам, без органических удобрений и на небогатых доступным азотом почвах вносят дробно: до 30 % общей дозы перед посевом с обязательной коррекцией по результатам почвенной диагностики, 70 % и более в виде одной или нескольких подкормок, желательно с коррекцией доз по результатам растительной диагностики. Средние дозы весенней подкормки озимых без диагностики в производственных посевах составляют 30—45 кг/га N. Эффективность их снижается с севера на юг по всей стране, с запада на восток в европейской части и с востока на запад в азиатской части России.

Лучшим удобрением для весенней подкормки озимых является аммиачная селитра, причем внесенная не разбросным, а локальным способом. Оптимальный срок первой подкормки азотом — период начала весеннего роста, но лучше в конце кущения — начале выхода в трубку растений. Однако на практике по организационно-техническим причинам ее проводят обычно сразу после таяния снега и схода воды с полей по замерзшей почве, что чревато большими потерями азота по сравнению с локальным внесением в вышеназванную фазу развития растений. Более поздние некорневые азотные подкормки после цветения растений рассчитаны только на повышение содержания белка и клейковины в зерне. Их проводят водными растворами мочевины с концентрацией до 30 %, часто совместно с обработкой посевов пестицидами. Минимальные дозы азотных подкормок должны быть не менее 20 кг/га, средние — 40 кг/га, а оптимальные зависят от уровня планируемого урожая и желаемого качества зерна, плодородия почв и общей удобренности посевов. С экологической точки зрения при урожайности до 5,0 т/га дозы азотных подкормок не должны превышать в сумме 100 кг/га.

В зонах неустойчивого увлажнения и засушливого земледелия, где отсутствует опасность вымывания и смыва азота с осадками и паводковыми водами, а весной почва быстро высыхает, поверхностная весенняя подкормка азотными удобрениями может быть менее эффективной, чем предпосевное внесение этой дозы вместе с фосфорно-калийными удобрениями.

В таких случаях азотные удобрения вместе с другими следует вносить до посева или провести подкормку ими поздней осенью, когда озимые прекратят рост. Причем это можно делать на полях с уклонами до 2° для предотвращения смыва удобрений при таянии снега и нельзя на полях, участках и территориях, где возможно выдувание удобрений.

**Яровые зерновые (пшеница, ячмень, овес).** В отличие от озимых они имеют весьма короткий период потребления питательных

элементов, причем до 70 % их поглощается в период от конца кушения до цветения растений. Яровые зерновые куствуются слабее, чем озимые, имеют менее развитую корневую систему, что обуславливает их сравнительно более высокую потребность в питательных элементах для получения эквивалентных урожаев.

Пшеница и ячмень дают высокие урожаи на нейтральных и близких к нейтральным (рН 6,0—7,5) оптимально удобренных почвах. Овес менее требователен к условиям выращивания, нормально развивается на кислых (рН 4,6—5,5) почвах, а на плодородных почвах и при оптимальном удобрении нередко не уступает в урожайности ячменю.

При возделывании всех яровых зерновых главную роль играют азотные удобрения, без которых фосфорные, а на легких почвах и калийные, как правило, малоэффективны. Органические удобрения под эти культуры обычно не применяют, только в Сибири под яровую пшеницу, размещаемую в севооборотах по чистому пару, вносят 20—30 т/га навоза или другое органическое удобрение.

Дозы минеральных удобрений значительно изменяются в зависимости от почвенно-климатических условий, вида, урожайности и удобренности предшественников, уровней плановых и возможных урожаев культур и сортов с учетом ресурсов удобрений. Под основную обработку яровых культур применяют мелиоранты и удобрения, причем в зонах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия только фосфорно-калийные, а в зонах недостаточного увлажнения и азотные удобрения. При посеве под яровые зерновые высокоэффективно внесение гранулированного суперфосфата (10 кг/га д. в.) во всех почвенно-климатических зонах.

В зонах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия азотные удобрения под яровые зерновые вносят весной, желательно с учетом почвенной диагностики под предпосевную обработку почвы, а при планировании высоких урожаев 50 % общей дозы перед посевом также с учетом диагностики и 50 % в подкормку с учетом растительной диагностики в период конца кушения — начала трубкования (выхода в трубку) для снижения потерь и повышения эффективности азотных удобрений.

Под яровую пшеницу для повышения содержания белка и клейковины в зерне эффективны поздние некорневые подкормки после цветения растений водными растворами (до 30 %) мочевины в дозах 20—30 кг/га N, которые могут сочетаться с обработкой пестицидами.

Лучшим удобрением для корневых подкормок азотом всех яровых зерновых является аммиачная селитра, а лучшим способом внесения — локальный. Формы фосфорных и калийных удобрений следует подбирать с учетом свойств почв, предлагаемых форм удобрений и экономической эффективности их, а лучший способ внесения — локализация вдоль или поперек рядков.

При подсеве под яровые зерновые культуры многолетних трав

(клевер, клеверотимофеечная смесь и др.) дозы фосфорных, а при экономической и экологической возможности и калийных удобрений под них и травы (с учетом длительности возделывания) суммируют и вносят (лучше локально) под основную обработку почвы покровной культуры. Такой способ запасного внесения фосфорных, а при возможности и калийных удобрений значительно повышает их эффективность под многолетними травами в сравнении с внесением этих же доз под ними в подкормки.

**Рис.** Это тепло-, свето- и влаголюбивая культура, очень отзывчивая на удобрения, особенно азотные, причем потребность в азоте существует с момента прорастания семян и возрастает к фазе выметывания, а после цветения потребление всех питательных элементов заканчивается. От всходов до кушения рис особенно чувствителен к недостатку фосфора и азота, именно поэтому припосевное удобрение суперфосфатом или аммофосом ( $10\text{--}15\text{ кг/га}$   $\text{P}_2\text{O}_5$ ) очень эффективно. От кушения до цветения рис потребляет до 70 % N, более 90 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 80 %  $\text{K}_2\text{O}$ , поэтому вся доза (за вычетом припосевного) фосфорно-калийных удобрений должна быть внесена под основную обработку почвы перед посевом.

Азотные удобрения только в виде аммиачных  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  и аминных  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$  форм следует вносить дробно: 50—70 % общей дозы перед посевом, не менее 1/3 в одну или более подкормок: в фазе начала кушения или дважды — в фазе полных всходов и в кушение (обычно на среднесуглинистых почвах). Иногда (для повышения белковости зерна) проводят и третью некорневую подкормку водным раствором мочевины в фазе цветения.

Чем больше подкормок, тем большая часть общей дозы распределяется в подкормки равными частями, но не менее 20—30 кг/га N в каждую из них.

В рисовых севооборотах предшественниками риса являются люцерна второго года пользования, парозанимающие озимые культуры (обычно бобовые, зернобобовые или смеси) и рис. Причем рис по рису возделывают в одном поле не более двух-трех лет. Зоны рисосеяния охватывают разные типы почв — от подзолистых до степных, пустынных и других, включая засоленные; по гранулометрическому составу это средне-, тяжелосуглинистые и глинистые разности, хорошо удерживающие воду.

При возделывании не по многолетним бобовым травам рис хорошо отзывается на органические удобрения (навоз, компосты и зеленые удобрения). Дозы органических удобрений колеблются от 20 до 40 т/га, а минеральных удобрений в более широких интервалах в зависимости от уровней плановых и возможных урожаев, плодородия почв, обеспеченности посевов органическими и минеральными удобрениями и организационно-экономических возможностей земледельцев.

**Зернобобовые культуры (горох, вика яровая, кормовые бобы, люпин).** Отличаются замечательной способностью в симбиозе с клу-

беньковыми бактериями фиксировать молекулярный азот атмосферы, количество которого в биологическом (и хозяйственном) выносе этого элемента может достигать 70 % и более.

Поглощая из почвы до 30 % общего азота и оставляя примерно столько же его в виде корневых и пожнивных остатков, зернобобовые практически не обогащают почву азотом, но улучшают баланс азота, так как нуждаются в азоте удобрений (или почвы) только на 20—30 % потребности. Другим отличительным свойством зернобобовых, в частности гороха и особенно люпина, является способность их поглощать труднодоступные фосфаты почвы и удобрений преимущественно при хорошей обеспеченности калием. Горох, вика и кормовые бобы хорошо растут и развиваются на близких к нейтральным почвах (рН 6—7), поэтому нуждаются в известковании даже на слабокислых почвах. Люпин хорошо развивается на песчаных и супесчаных почвах, а оптимальная реакция почв для него кислая (рН 4,5—5,0), поэтому потребность в известковании возникает только на очень сильнокислых почвах, в других случаях он отрицательно реагирует на известкование.

Потребление азота и калия этими культурами практически заканчивается после цветения, а фосфора продолжается до конца вегетации.

Органические удобрения под эти культуры обычно не вносят, за исключением случаев возделывания их в качестве парозанимающей культуры (например, вико- или горохово-овсяная смесь на зеленый корм или сено), когда возможно, а на слабокультурных почвах обязательно внесение 20—30 т/га навоза или компоста под основную обработку почвы этих культур.

Известь и фосфорно-калийные удобрения под зернобобовые вносят с осени под зябь, причем если применяют фосфоритную муку (часто это вполне приемлемо), то ее вместе с калийными удобрениями вносят под основную обработку, а известь вместе со «стартовой» дозой азотных удобрений — весной под предпосевную обработку почв. При посеве эффективного во всех почвенно-климатических зонах внесение гранулированного суперфосфата (10 кг/га  $P_2O_5$ ) или нитроаммофоса марки А в дозе по 15 кг/га N и  $P_2O_5$ ; последнее наиболее эффективно в отсутствие «стартовых» доз азотных удобрений.

Дозы фосфорно-калийных удобрений зависят от плановых или возможных урожаев, плодородия почв, удобренности и урожайности предшественников, насыщенности удобрениями и других условий, а «стартовые» дозы азотных удобрений составляют 20—30 кг/га N, так как фиксация молекулярного азота начинается примерно через месяц с момента прорастания семян.

Для усиления азотфиксации семена бобовых перед посевом обрабатывают активными расами соответствующих клубеньковых бактерий (нитрагин, ризоторфин) и молибденом или позже проводят некорневую подкормку этим микроэлементом растущих растений.

**Крупяные культуры (гречиха и просо).** Это ценные продовольственные культуры, причем гречиха способна усваивать труднодоступные фосфаты почвы и удобрений, но предпочитает слабокислые (рН 5,0—6,5), хорошо аэрируемые и быстро прогреваемые почвы и плохо растет на тяжелых и переувлажненных почвах. Это интенсивная культура, по сравнению с зерновыми колосовыми она на 100 кг зерна потребляет в 1,5 раза больше азота, в 2 — фосфора, в 3 — калия и в 5 — кальция.

**Г р е ч и х а.** Она хорошо отзывается на последствие органических удобрений (обычно вносимых под предшественники) и на фосфорно-калийные удобрения при соответствующей обеспеченности усвояемыми формами азота почв и удобрений, причем очень чувствительна к хлору. Мелиоранты и удобрения обычно вносят под основную обработку почвы, реже и обычно только азотные удобрения под предпосевную обработку, оставляя обязательно 10 кг/га  $P_2O_5$  в виде гранулированного, желательно борного суперфосфата для припосевного удобрения. Хлорсодержащие удобрения в отсутствие бесхлорных форм вносят только с осени, чтобы к моменту прорастания семян хлор вымылся.

Дозы минеральных удобрений значительно изменяются в зависимости от уровней плановых и возможных урожаев, плодородия почв, предшественников и насыщенности посевов удобрениями.

**П р о с о.** Эта теплолюбивая культура обладает более низкой по сравнению с яровыми зерновыми способностью усваивать питательные элементы, так как в начальные периоды после прорастания растет медленно и мало использует элементы питания, а позже за короткий период потребляет до 80 % всех элементов. Поэтому просо хорошо растет на окультуренных, имеющих нейтральную или близкую к ней реакцию почв.

Просо хорошо отзывается на органические и минеральные удобрения (а на кислых почвах и на известкование), внесенные под основную обработку почв. Оптимальная доза припосевного удобрения 10 кг/га  $P_2O_5$  в виде гранулированного суперфосфата — обязательный элемент удобрения этой культуры во всех почвенно-климатических зонах.

Дозы основного удобрения по каждому виду их колеблются от 20 до 60 кг/га д. в. в зависимости от уровней урожаев, плодородия почв и общей обеспеченности посевов удобрениями.

**Многолетние бобовые травы (клевер, люцерна и др.).** Развивают мощную разветвленную корневую систему, благодаря чему улучшают структуру почв, способны при благоприятных условиях на 90—95 % обеспечивать себя азотом за счет симбиотической азотфиксации его из атмосферы, поэтому корневые и пожнивные остатки их обогащают почву и органическим веществом, и, естественно, азотом.

Оптимальная реакция почв для клевера рН 6—7, для люцерны рН 7—8. Эти культуры очень хорошо отзываются на органические

удобрения (лучше, чем на минеральные), а в отсутствие первых — на фосфорные, калийные и микроудобрения (молибденовые, борные и медные), причем последние обеспечивают не только наилучший рост и развитие, но и значительно повышают их семенную продуктивность.

**К л е в е р л у г о в о й.** Высевают, как правило, под покров зерновых культур, однолетних трав и льна, поэтому известкование, органические, фосфорные, а иногда (когда нет опасений повышения содержания калия в сене выше 2,5—3,0 %) и калийные удобрения вносят под основную обработку покровной культуры, т. е. в запас, оставляя для подкормки (обычно на легких малоемких почвах) только часть калийных удобрений, которые вносят равномерно каждую осень после последнего укоса. При посеве обязателен суперфосфат (10 кг/га  $P_2O_5$ ), причем если семена не обработали микроудобрениями, то суперфосфат, обогащенный молибденом. Если нужны семена, то после всходов необходима также некорневая подкормка борными удобрениями.

Азотные удобрения обычно не нужны, особенно на плодородных или удобренных органическими удобрениями почвах. На бедных почвах эффективно при посеве вместе с фосфором внесение «стартовых» доз (10 кг/га) азота; в этом случае лучше применять при посеве нитроаммофос в ранее указанных дозах.

Семена перед посевом следует инокулировать активными расами соответствующих клубеньковых бактерий, а также молибденом, а на семенниках и бором.

При возделывании клевера в смеси с тимофеевкой под травы второго года нужны азотные подкормки (для тимофеевки) в дозах 30—40 кг/га, если в травостое начинает преобладать злаковый компонент. В смешанных посевах нуждаемость и дозы азотных удобрений следует определять с учетом уровней ожидаемых урожаев, соотношений в травостое бобового и злакового компонентов и обеспеченности посева фосфором и калием.

**Л ю ц е р н а.** Более требовательна, чем клевер, к плодородию почв, поэтому дает высокие урожаи только на хорошо окультуренных и удобренных почвах. Ее высевают как в чистом виде, так и в смешанных посевах, без покровных культур или под ними (обычно зерновые культуры или однолетние травы).

Отзывчивость на органические удобрения и нуждаемость в мелиорантах для создания оптимальной реакции почв у нее такие же, как у клевера. Фосфорные удобрения следует вносить в запас, а калийные — в зависимости от общей дозы — дробно: часть сразу, а остальную в подкормки равномерно по годам использования, начиная со второго года.

Микроудобрения применяют так же, как под клевер, а в смешанных со злаками посевах возможны и азотные подкормки с учетом ранее указанных условий для клевера.

Эффективность удобрений под люцерной, как и под другими

культурами, резко возрастает в орошаемом земледелии, где в подкормки калийные, а если нужно, и азотные удобрения следует вносить первые после каждого, а последние перед каждым укосом.

**Картофель.** Важнейшая продовольственная, техническая и кормовая культура, выращиваемая практически повсеместно. Вследствие размещения почти всей (до 95 %) корневой системы в пахотном горизонте картофель требователен к плодородию почв и хорошо отзывается на удобрения. Оптимальная реакция почвы для картофеля слабокислая ( $\text{pH } 5,2\text{--}5,7$ ), а по гранулометрическому составу это должны быть супесчаные и легкосуглинистые разновидности с благоприятным водно-воздушным режимом.

Потребление питательных элементов картофелем продолжается до полного созревания. Однако максимум поглощения (40 % N, 50 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 60 %  $\text{K}_2\text{O}$  от максимального) происходит в период от начала бутонизации до конца цветения. После цветения поглощение азота и калия практически прекращается, а фосфора поглощается не более 15 % общей потребности.

Для мощного развития ботвы от всходов до цветения картофель нуждается в полном обеспечении всеми элементами, особенно азотом. После цветения азот не нужен, так как он затягивает вегетацию, задерживает клубнеобразование, ухудшает качество клубней и снижает устойчивость культуры к болезням и вредителям.

На более кислых почвах ( $\text{pH} < 5,0$ ) картофель нуждается в известковании, причем лучшими известковыми удобрениями для него являются доломитовая мука, цементная пыль и сланцевая зола.

Картофель одинаково отзывается на органические и минеральные удобрения при эквивалентных дозах по элементам, но оптимальным является сочетание их под этой культурой в дозах и комбинациях, наиболее полно обеспечивающих получение плановых или возможных урожаев хорошего качества с учетом почвенно-климатических и агротехнических условий при имеющихся ресурсах удобрений.

Мелиоранты, органические, фосфорные и калийные удобрения обычно вносят под основную обработку почв осенью, причем фосфорные (если гидролитическая кислотность почвы более  $2,5 \text{ мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$ ) в виде фосфоритной муки, а калийные лучше бесхлорные или содержащие минимальные количества хлора, например хлористый калий, хлор из которого наверняка вымоется за осенне-зимне-весенний период.

Азотные удобрения в зонах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия следует вносить весной под предпосевную обработку, причем для уменьшения потерь азота и при значительных ( $80 \text{ кг/га N}$  и более) дозах лучше 50 % с учетом почвенной диагностики, а оставшиеся 50 % в подкормку в фазе полных всходов с учетом результатов растительной диагностики. Лучшие формы азотных удобрений для картофеля — аммиачные и аммиачно-нит-

ратные, а лучший способ заделки в почву всех минеральных удобрений — локализация.

При посадке картофеля высокоэффективно внесение суперфосфата (лучше борного) или нитроаммофоса в дозах по 15—20 кг/га д. в.  $P_2O_5$  и N. Возможно применение в таких же дозах и тройных комплексных удобрений — нитрофоски и нитроаммофоски, но только с содержанием калия в виде бесхлорных солей. На известкованных почвах клубни картофеля перед посадкой или вегетирующие растения обрабатывают борными удобрениями для предотвращения парши на клубнях.

Подкормку осуществляют, как уже отмечалось, только азотными удобрениями. Ранние сорта по сравнению с поздними более требовательны к плодородию почв и обеспеченности удобрениями, так как за более короткий период потребляют значительные количества питательных элементов из почв и удобрений.

Органические, азотные и особенно хлорсодержащие удобрения с увеличением доз их снижают содержание крахмала в клубнях, а фосфорные и калийные (бесхлорные) повышают.

Даже при сбалансированном применении удобрений поздние, а иногда и среднепоздние сорта картофеля не успевают вызреть за вегетационный период. Для ускорения созревания возможна сеникация посевов — обработка водными растворами агрохимикатов (например,  $NH_4NO_3$ ,  $K_2SO_4$  и других с добавлением гербицидов, например 2,4-Д и др.), в результате которой усиливается отток питательных веществ из ботвы в клубни и заметно повышается их крахмалистость.

**Сахарная свекла.** Высоkotребовательная к обеспеченности питательными элементами (4-й класс) культура, предпочитающая нейтральные и близкие к ним (6-й класс) почвы (рН 6,5—8,0).

Усвоение питательных элементов свеклой происходит в течение всего периода вегетации, причем вначале до образования максимального листового аппарата больше всего потребляется азот, необходимость в котором позже резко снижается, а в калии возрастает. Фосфор в течение вегетации потребляется более равномерно.

Обязательный элемент технологии — припосевное удобрение свеклы, причем оптимальные дозы его 10 кг/га д. в.  $P_2O_5$  или по 10 кг/га  $P_2O_5$  и N, или  $P_2O_5$ , N и  $K_2O$ , а лучшие удобрения — борный суперфосфат, нитрофосы и нитрофоски с соотношением элементов 1 : 1 : 1. Свекла не реагирует на хлор и положительно отзывается на натрий, поэтому лучшие формы калийных удобрений — натрийсодержащие сырые калийные соли и 40%-ная калийная соль.

Свекла положительно отзывается на хорошо разложившиеся органические и минеральные удобрения, а на кислых почвах сильно нуждается в известковании. Обработка семян перед посевом борными удобрениями (или внесение их до посева или в подкорм-



ки) — один из залогов получения высоких урожаев корней с хорошим содержанием сахара и отсутствием поражений гнили сердечка.

Оптимальные сочетания органических и минеральных удобрений на различных почвах обеспечивают максимальную урожайность свеклы во всех почвенно-климатических зонах. Известковые, органические, фосфорные и калийные удобрения вносят под основную обработку почвы осенью, а азотные — в зонах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия — весной под предпосевную обработку. Для снижения потерь азота (особенно при больших дозах) целесообразно дробное внесение азотных удобрений: 60—70 % до посева и 40—30 % в подкормку в фазе появления четвертой пары листьев.

В условиях возможного вымывания калия, особенно при больших дозах его, в зонах достаточного увлажнения допустимо перенесение части общей дозы из основного внесения в подкормку (до 30—40 %) одновременно с азотными удобрениями или в более поздний период до смыкания рядков. Эффективность азотно-калийных подкормок в условиях орошения резко возрастает.

**Кормовые корнеплоды (кормовая свекла, брюква, турнепс, кормовая морковь).** На плодородных почвах и при оптимальном удобрении они дают высокие урожаи (60—70 т/га). Обладая относительно малоразвитой корневой системой и потребляя большие количества элементов, эти культуры высокотребовательны к наличию доступных форм элементов в почвах (4-й класс).

Оптимальная реакция почвы для кормовой свеклы pH 6,7—7,2; брюква, турнепс и морковь хорошо растут и на слабокислых почвах (pH 5,5—6,5).

Все корнеплоды до максимального развития надземной массы сильно нуждаются в азотных удобрениях; с момента начала формирования корнеплода возрастает потребление калия, фосфор же наиболее равномерно поглощается в течение всего вегетационного периода. На органические удобрения очень хорошо отзываются все кормовые корнеплоды, только турнепс как наиболее скороспелый из них несколько слабее, чем на эквивалентные дозы минеральных удобрений. Для получения высоких урожаев, естественно, необходимо сочетание оптимальных доз органических и минеральных удобрений. Дозы органических удобрений под все кормовые корнеплоды, кроме моркови, обычно составляют 40—60 т/га и более, а под морковь из-за возможного ветвления корнеплодов можно внести перепревший навоз в дозах 20—30 т/га, но лучше размещать ее в севооборотах по унавоженным предшественникам.

Известковые, органические, фосфорные и калийные удобрения под эти культуры вносят под основную обработку почв осенью, а азотные — в засушливых регионах вместе с перечисленными, в зонах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия — весной под предпосевную обработку почв.

При посеве обязательно внесение 10 кг/га д. в. суперфосфата или нитрофоса (нитроаммофоса), а под свеклу — нитрофоски или нитроаммофоски, причем, как и под сахарную свеклу, в разных сочетаниях с борными удобрениями.

Подкормки кормовых корнеплодов азотными и азотно-калийными, а также жидкими органическими удобрениями эффективны только в зонах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия, особенно при внесении больших доз с целью уменьшения потерь их, причем лучше всего с локализацией при внесении. Подкормки азотными и жидкими органическими удобрениями проводят после образования одной-двух пар настоящих листьев, а калием — вместе с названными, а лучше позже — перед смыканием рядков.

Из отдельных форм удобрений для свеклы наиболее эффективны натрийсодержащие сырые и 40%-ные калийные соли, натриевая селитра, а также разные борные удобрения в зависимости от способа их применения.

**Кукуруза.** Теплолюбивая культура с огромными потенциальными возможностями урожайности, предпочитает высокоплодородные почвы легкого гранулометрического состава с рН 6,0—7,5. В зонах недостаточного увлажнения, в том числе и при орошении, возделывается на зерно, в Нечерноземной зоне — на зеленую массу.

Питательные элементы кукуруза потребляет до восковой спелости зерна, а наиболее интенсивно (до 90 % общей потребности) — с фазы 9—10 листьев до молочной спелости зерна. В начальные периоды роста (от всходов до 4—5 листьев) кукуруза растет медленно и потребляет очень мало питательных элементов (до 5—7 % общей потребности), но нуждается в водорастворимых формах их. Поэтому допосевное (органические, фосфорно-калийные и частично азотные удобрения) и припосевное удобрения для нее обязательны. Дозы припосевного удобрения должны быть минимальны ( $P_{7-10}$  или  $N_3P_7$ ), так как в период прорастания семена очень чувствительны к повышенной концентрации почвенного раствора.

При внесении в эквивалентных дозах кукуруза лучше отзывается на органические удобрения, а наивысший эффект достигается при сочетании оптимальных доз органических и минеральных удобрений.

Азотные удобрения под кукурузу из-за медленного роста до фазы 4—5 листьев следует вносить дробно: 30—40 % дозы до посева, остальное — в подкормку в фазе 5—6 листьев, а при сочетании с органическими всю дозу минеральных удобрений лучше вносить в подкормку, роль и эффективность которой значительно возрастает с улучшением влагообеспеченности посевов. В зонах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия, особенно на легких по гранулометрическому составу почвах, наряду с азотными в подкормки переносят до 50 % общей дозы калийных удобрений.

Средние дозы органических удобрений под кукурузу от 30 до 60 т/га в зависимости от влагообеспеченности, гранулометрического состава почвы и обеспеченности хозяйства ими. Дозы минеральных удобрений колеблются еще значительно в зависимости от названных факторов, а также от уровней плановых или возможных урожаев при имеющихся материально-технических ресурсах.

Кукурузу во всех зонах можно возделывать в севооборотах по различным предшественникам, а также в бессменных посевах на выводных полях севооборотов. Причем в последнем случае это и успешный прием борьбы с сорняками триазиновыми гербицидами, и повышение плодородия бедных почв при интенсивном удобрении кукурузы известковыми, органическими и минеральными удобрениями. Из отдельных видов удобрений следует выделить суперфосфаты, в зависимости от необходимости обогащенные тем или иным микроэлементом, из азотных — жидкий аммиак (в бессменных посевах еще и как средство уничтожения проволочника), из калийных — лучше бесхлорные формы, а в отсутствие их — осеннее внесение хлористого калия.

**Подсолнечник.** Обладает мощной, проникающей на глубину 4—5 м корневой системой, способной поглощать труднодоступные формы калия и фосфора почв и удобрений. Соотношение потребляемых элементов  $N : P_2O_5 : K_2O$  при выращивании на семена на черноземах и каштановых почвах составляет 1,2 : 1 : 6, а на зеленую массу во всех регионах — 1,7 : 1 : 5, т. е. везде это очень сильный калиелюб.

Азот подсолнечник усиленно потребляет от начала образования корзинки до налива зерна; избыток его, особенно при недостатке фосфора, резко снижает масличность семян. Фосфор интенсивно потребляется подсолнечником от всходов до цветения и при наливе семян, а калий — в фазе образования корзинки. Благодаря мощной корневой системе эта культура может использовать питательные элементы из подпахотных слоев и материнской породы почвы.

Оптимальная реакция почвы для подсолнечника близка к нейтральной (рН 6,0—6,8), поэтому на более кислых почвах необходимо известкование под подсолнечник или предшествующую культуру. Для предотвращения поражений болезнями размещать его повторно в одном и том же поле следует не чаще чем через 7—8 лет.

Подсолнечник хорошо отзывается на органические удобрения, средние дозы которых на разных почвах составляют 20—40 т/га, а лучший способ внесения — до посева под основную обработку почвы.

В зависимости от окультуренности почвы, доз органических удобрений, плановых и возможных урожаев подсолнечника дозы минеральных удобрений значительно изменяются, но припосевное удобрение (10 кг/га д. в. суперфосфата или нитроаммофоса)

эффективно. Известковые, органические, фосфорные и калийные, а в зонах недостаточного увлажнения и азотные удобрения следует вносить с осени под основную обработку почвы. На всех почвах высокоэффективны навозно-фосфоритные компосты. В зонах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия азотные удобрения следует вносить весной под предпосевную обработку почв, при этом большую или меньшую часть их в зависимости от наличия и дозы органических удобрений можно оставлять для подкормок в фазе начала образования корзинок.

**Прядильные культуры (лен, конопля).** Они очень требовательны к пищевому режиму и, следовательно, к плодородию почвы и удобрениям, так как имеют относительно слабо развитую корневую систему и короткий период максимального потребления питательных элементов.

**Л е н - д о л г у н е ц.** Имеет очень короткий период (1 мес) максимального потребления элементов от фазы елочки до конца цветения, за который потребляет до 50 % N, 70 %  $P_2O_5$  и 80 %  $K_2O$  общей потребности в них. Критические периоды у льна потребления фосфора — от всходов до 10—12 листьев, азота — от фазы елочки до цветения и калия — первые три недели роста и в фазе бутонизации. Поэтому фосфорно-калийные удобрения должны быть внесены до посева, а суперфосфат (10 кг/га  $P_2O_5$ ) при посеве, причем лучше борный, если не проводили обработку семян бором. Азотные удобрения вносят дробно: 50 % перед посевом и 50 % в подкормку в фазе елочки, обязательно с учетом результатов диагностики.

Лучшими для льна являются хорошо окультуренные слабокислые (рН 5—6) почвы легкого и среднего гранулометрического состава. Лен чувствителен к избытку кальция и одновременно к повышенному (более 2 мг/100 г почвы) содержанию подвижного алюминия. Поэтому почву под него или предшественники следует известковать в дозах, не превышающих  $1,0 \cdot N_g$  гидролитической кислотности, не забывая об увеличении доз калийных удобрений и применении борных удобрений.

В севооборотах лен размещают после многолетних трав, картофеля, озимых и яровых культур. Непосредственно под него органические удобрения не вносят из-за возможной пестроты стеблестоя и засоренности посевов, да в этом после многолетних трав и унавоженных предшественников нет необходимости.

Дозы минеральных удобрений под лен зависят от уровней плановых и возможных урожаев, почвенно-климатических и агротехнических условий, материально-технических возможностей в насыщенности посевов удобрениями. Лучшие формы азотных удобрений — сульфат аммония, аммиачная селитра и мочевины, калийных — бесхлорные, содержащие магний, фосфорных при квалифицированном применении — любые.

**К о н о п л я.** Скороспелые сорта этой культуры наиболее ин-

тенсивно потребляют питательные элементы за 30—40 дней, а более позднеспелые — за 70—80 дней, причем от всходов до бутонизации в первом минимуме фосфор, затем азот, от бутонизации до цветения азот и калий. Из отдельных видов конопли наиболее отзывчива на органические и азотные, затем на фосфорные и минимально на калийные удобрения. Дозы навоза (и других органических удобрений) в зависимости от почвенно-климатических условий изменяются от 10—15 т/га на черноземах до 40—50 т/га на подзолистых почвах. Они зависят также от уровней плановых и возможных урожаев, агрохимических показателей почв, предшественников и удобренности их, от обеспеченности минеральными удобрениями.

Органические, фосфорные и калийные удобрения вносят осенью под основную обработку почвы, а азотные — под первую весеннюю культивацию. При посеве необходим гранулированный суперфосфат (10 кг/га  $P_2O_5$ ), а в фазе 2—3-й пары листьев подкормки минеральными (преимущественно азотными) и жидкими органическими удобрениями наиболее эффективны и целесообразны в районах орошаемого земледелия и достаточного увлажнения.

Удобрения влияют и на качество волокна конопли, в частности азотные и фосфорные повышают выход длинного волокна и его номер, а навоз — крепость и номер волокна матерки и одновременно уменьшает крепость волокна поскони.

**Овощные культуры.** Наиболее требовательны среди других культур к эффективному плодородию почв: 5-й класс для них — средняя (оптимальная) обеспеченность питательными элементами. Очень отзывчивы на удобрения, так как возделываются, как правило, при орошении, т. е. при оптимальных условиях влагообеспеченности. В то же время уровень залегания грунтовых вод под этими культурами весной не должен превышать 60 см от поверхности почвы, в период вегетации — 70—80 см, а на торфяниках — еще и не ниже 120—130 см.

Большинство овощных культур (за исключением свеклы, капусты и томата), особенно морковь, лук и огурец, очень чувствительны к повышенной концентрации солей. Поэтому внесение повышенных доз минеральных удобрений до посева и особенно при посеве приводит к негативным последствиям.

Все эти культуры очень хорошо отзываются на сочетание органических и минеральных удобрений, но при сравнении в эквивалентных дозах на органические удобрения всегда лучше отзываются огурец, кабачок, другие стелющиеся культуры, лук и морковь. Многие виды капусты (белокочанная, краснокочанная, цветная) и столовая свекла одинаково отзываются на органические и минеральные, другие овощные культуры — на минеральные удобрения. Под стелющиеся культуры наиболее эффективен свежий (неразложившийся) навоз, под капусту — полуразложившийся (полупе-

репревший), а под корнеплоды — перепревший навоз, компост или перегной.

Наиболее благоприятное содержание органического вещества (гумуса) в почвах для овощных культур 3—4 %, при содержании его 1,5—2 % урожай овощей при прочих равных условиях снижается на 12—27 %, а при более низком содержании гумуса и обильном обеспечении органическими удобрениями возделывание овощей часто оказывается нерентабельным (убыточным).

Редис, редька, шавель и арбуз предпочитают кислую реакцию (рН 5,0—5,5), морковь, огурец и томат — слабокислую (рН 5,5—6,0), а остальные овощные культуры требуют нейтральных и близких к ним почв (рН > 6,0, а на торфяных рН 5,0—5,5). Содержание в почве подвижного алюминия должно быть до 3—4 мг/100 г, а для лука, чеснока и салата — до 1 мг/100 г, поэтому химическая мелиорация почв — одна из первоочередных задач эффективного прирращения удобрений в овощеводстве.

На богатых органическим веществом и нейтральных почвах даже огурец растет лучше при внесении минеральных удобрений, поэтому на торфяниках известковые и другие минеральные удобрения являются главными элементами системы удобрения овощей в севооборотах.

Известковые, органические, фосфорные и калийные удобрения применяют под все овощные культуры. Под основную обработку осенью, при посеве (посадке), как правило, 2 раза вносят в оптимальных дозах (10—15 кг/га д. в.) суперфосфат или комплексные азотно-фосфорные или азотно-фосфорно-калийные удобрения, обогащенные соответствующими микроэлементами. Однако проще внести необходимые микроудобрения, обработав ими семена (или рассаду) перед посевом (посадкой). При высадке овощных культур рассадой припосадочное удобрение вносят с поливной водой в концентрации до 0,2 %.

Азотные, а иногда и калийные (на легких и пойменных почвах) удобрения обычно вносят весной дробно: до посева, иногда при посеве с фосфорными и в подкормках.

На щелочных (слабо- и среднесолонцеватых) почвах под овощные культуры необходимо внесение гипса, причем морковь, огурец и лук страдают при концентрации растворимых солей более 0,2—0,3 %, капуста и томат — более 0,4 %, свекла — более 0,6—0,7 %.

**Капуста белокочанная.** Потребляет питательные элементы в течение всего периода вегетации, длительность которого для разных сортов колеблется от 60 до 140 дней. В течение месяца после высадки рассады капуста потребляет только около 10 % необходимых элементов питания, а с момента завязывания кочана в продолжение последующих 40—50 дней поглощает 70—80 % всех элементов от общего содержания их в урожае.

До высадки рассады вносят (если нужно) известковые, органи-

ческие и минеральные удобрения, причем азотно-калийные на легких почвах весной, при высадке рассады — суперфосфат или комплексные удобрения по 10—15 кг/га д. в. каждого элемента. В подкормки на легких почвах и при урожаях более 60,0 т/га вносят до 50 % общих доз азотных и калийных удобрений, начиная через 2—3 нед после высадки рассады и до начала завязывания кочана. После приживания рассады возможна и некорневая подкормка необходимыми микроэлементами (молибденом, цинком, медью), если семена перед посевом ими не обрабатывали.

Под ранние сорта нужно совместно с минеральными вносить хорошо перепревшие органические удобрения или размещать эти культуры по хорошо унавоженным предшественникам и удобрять только минеральными удобрениями.

Дозы органических (30—60 т/га) и минеральных удобрений сильно изменяются в зависимости от плановых или возможных урожаев, плодородия почв, возделываемых сортов, обеспеченности, видов и качества органических и минеральных удобрений и организационно-технических возможностей земледельцев.

**Капуста цветная.** Очень требовательна к плодородию почв, но плохо удается на богатых азотом торфяниках и тяжелых по гранулометрическому составу лугово-болотных пойменных почвах. Лучшие почвы для нее нейтральные легкие и средние суглинки. Известь и органические удобрения (40—60 т/га) вносят под нее осенью или под предшественник, минеральные удобрения — весной под предпосадочную обработку почвы, при посадке рассады вносят суперфосфат или комплексные двойные (NP) и тройные (NPK) удобрения в дозе по 10 кг/га д. в.

Общие дозы минеральных удобрений зависят от плановых и возможных урожаев, обеспеченности почв питательными элементами, а посевов — органическими удобрениями и могут колебаться по азоту от 30 до 150 кг/га, по фосфору от 40 до 120 кг/га и по калию от 30 до 150 кг/га д. в.

**Огурец.** Его нужно выращивать на окультуренных и плодородных почвах с нейтральной реакцией (рН 6,5—7,0). В течение первых 20 дней с момента появления всходов огурец нуждается в небольших количествах водорастворимых форм припосевного удобрения ( $P_{10}$ ,  $N_{10}P_{10}$  и  $N_{10}P_{10}K_{10}$ ) в форме суперфосфата или комплексных удобрений.

В качестве основного удобрения наиболее эффективны органические (лучше свежий навоз) в оптимальных сочетаниях с минеральными удобрениями и в дозах, дифференцированных в зависимости от плановых и возможных урожаев, плодородия почв, ресурсов удобрений и организационно-экономических возможностей земледельцев. Известковые, органические, фосфорные и калийные удобрения вносят осенью под основную обработку почвы, а азотные — весной перед посадкой; на легких почвах вес-

ной вместе с азотными вносят калийные, а иногда и органические удобрения под предпосевную обработку почвы.

Подкормку азотными, а на легких почвах и калийными удобрениями проводят с учетом результатов растительной диагностики в фазе 2—3 настоящих листьев, если по каким-то причинам необходимые дозы не были внесены.

**Т о м а т.** Он хорошо растет на плодородных и окультуренных почвах в широком интервале реакции почв (рН 5,5—7,1). Потребление питательных элементов этой культурой продолжается в течение всего периода вегетации, причем максимум наблюдается с начала плодообразования и заканчивается для фосфора и калия примерно за 20—30 дней до конца вегетации.

Известковые (если нужно), фосфорные и калийные удобрения под томат вносят осенью под основную обработку почвы, азотные — весной перед высадкой рассады. При высадке рассады в лунки вносят (по 10 кг/га д. в.) суперфосфат, или нитроаммофос, или нитроаммофоску. В подкормки можно переносить только часть азотных удобрений, если по каким-то причинам всю дозу их сразу внести невозможно.

**М о р к о в ь с т о л о в а я.** Предпочитает также плодородные и окультуренные почвы со слабокислой реакцией (рН 5,5) и очень хорошо отзывается на органические и минеральные удобрения. Потребление питательных элементов продолжается в течение всей вегетации, причем максимум наблюдается с момента интенсивного формирования корнеплодов и продолжается до конца вегетации. При посеве на всех типах почв следует вносить суперфосфат (10 кг/га  $P_2O_5$ ) или нитрофос, а азотные подкормки целесообразны только, если до посева весной по каким-то причинам вся доза не внесена сразу.

Перепревший навоз (или компост) с известковыми (если нужно) и фосфорно-калийными удобрениями вносят осенью под основную обработку в дозах и соотношениях, отвечающих плодородию почв для получения плановых или возможных урожаев хорошего качества с учетом обеспеченности удобрениями и материальнотехнических возможностей землепользователей.

**С в е к л а с т о л о в а я.** Имеет такие же особенности удобрения, что и сахарная, причем навоз и другие органические удобрения под нее следует применять только в перепревшем состоянии, так как менее разложившийся вызывает ветвление корнеплодов, что снижает качество и лежкость их при хранении.

**Л у к р е п ч а т ы й.** Хорошо растет на плодородных и окультуренных почвах с нейтральной реакцией (рН 6,5—7,0), но чувствителен к повышенной концентрации почвенного раствора, хорошо отзывается на разложившиеся (перепревшие) органические (навоз, компосты) и на минеральные удобрения. Потребление питательных элементов при посеве семенами происходит значительно медленнее и в меньших (в 5—7 раз) количествах, чем при посадке



севком. При высеве семенами разрастание луковицы начинается примерно через 2 мес после всходов; к этому времени растения потребляют 7—12 % элементов общего количества их за вегетацию. Максимальная потребность в питательных элементах при посеве семенами в мае наблюдается в августе, а при посадке севком — на месяц раньше.

Семенники лука более интенсивно используют питательные элементы и уже через 40 дней после посадки потребляют до 30 % азота и калия и до 20 % фосфора, а еще через месяц — соответственно 50, 70 и 60 % общего содержания этих элементов в урожае.

Допосевное внесение 30 т/га перепревшего навоза (компоста) или 20 т/га перегноя в сочетании с известковыми и оптимальными дозами минеральных и возможными (с учетом диагностики) подкормками азотными и калийными удобрениями перед началом интенсивного потребления элементов — основные способы рационального удобрения лука для разных целей.

Дозы минеральных удобрений зависят от уровней плановых и возможных урожаев, вида продукции, плодородия почв, доз и качества органических удобрений и материально-технических возможностей земледельцев.

Особенности удобрения **многолетних трав на пастбищах** и при многоукосном использовании сенокосов, когда растения удаляют в ранние фазы развития и они содержат большое количество азота и калия и умеренное — фосфора, заключаются в том, что многолетние травы в первую очередь нуждаются в азотном удобрении, а затем в зависимости от свойств почв в фосфорно-калийных удобрениях. Вывоз азота с урожаем трав на естественных сенокосах и пастбищах составляет 60—120 кг/га, на культурных — до 200—300, а при орошении — до 400 кг/га. При сбалансированном питании соотношение элементов  $N : P_2O_5 : K_2O$  в урожае трав обычно составляет в среднем 1 : 0,33 : 0,8—1,0.

Соотношение между бобовыми и злаковыми, а среди последних между высоко- и малопродуктивными можно регулировать видами и дозами удобрений в пределах экологических и хозяйственных возможностей. Если для роста бобовых условия неблагоприятны, а необходимо получать высокие урожаи трав (более 5 тыс. корм. ед./га), то азотные удобрения являются основным средством достижения цели, причем срок использования таких угодий составляет 10 и более лет. Бобово-злаковые угодья требуют ремонта (перезалужения) обычно каждые 5—6 лет.

**На естественных сенокосах и пастбищах** действие отдельных видов, доз и сочетаний удобрений зависит от типа луга, видового состава трав, агрохимических свойств почв, режима влажности и других факторов. На суходольных и пойменных лугах с преобладанием злаковых трав наиболее эффективно сочетание всех видов минеральных удобрений, на торфяно-болотных почвах эффективны калийные и медные в сочетании с фосфорными и иногда азот-

ными удобрениями. Эффективность фосфорно-калийных удобрений возрастает с увеличением влажности и доли бобовых в травостое, а также с улучшением азотного питания трав.

Дозы извести и минеральных удобрений зависят от плодородия и влагообеспеченности почв, уровней возможных урожаев и ботанического состава трав, а также других факторов и указываются в конкретных зональных рекомендациях.

Территории для **культурных сенокосов и пастбищ** подвергают коренному улучшению: известкуют, фосфоритуют, проводят оросительно-осушительные мероприятия и заправляют органическими и минеральными удобрениями.

Дозы извести определяют по полной норме гидролитической кислотности, а затем в зависимости от продуктивности трав и насыщенности удобрениями через каждые 5—6 лет или более проводят поддерживающее известкование.

На кислых почвах ( $\text{Hr} = 2,5 \text{ мг} \cdot \text{экв}/100 \text{ г}$  и более) проводят фосфоритование в дозах 2—3 т/га, заделывая муку вместе с органическими удобрениями (50—60 т/га) под глубокую основную обработку, а известь под предпосевную обработку почвы.

При посеве вносят гранулированный суперфосфат (10 кг/га д. в.), а азотные удобрения в виде подкормок распределяют по числу скашиваний и стравливаний и вносят перед каждым из них. Калийные удобрения на хорошо унавоженных территориях лучше применять в подкормки в годовых дозах осенью с третьего-четвертого года после органических, а без органических вместе с фосфорными в запас на 2—3 и более лет в зависимости от свойств почв до посева (и перелужения), а позже также в виде годовых подкормок.

Дозы минеральных удобрений зависят от уровней плановых и возможных урожаев трав и плодородия почв, насыщенности органическими удобрениями и организационно-технических возможностей землепользователя. Дозы азотных и калийных удобрений всегда должны быть экологически безопасными и гарантировать содержание нитратов в травах не выше ПДК, а калия не более 3 % на сухую массу трав.

Дозы азотных подкормок, естественно, резко изменяются в зависимости от соотношения бобовых и небобовых компонентов трав. Лучшими формами их являются аммиачная селитра и жидкие удобрения (жидкий аммиак, аммиакаты и КАС). Жидкий аммиак нужно обязательно заделывать в почву на глубину 8—15 см.

В качестве подкормок трав эффективны и жидкие органические удобрения: бесподстилочный, полужидкий, жидкий навоз, навозные стоки, навозная жижа. Их вносят в 1 (полужидкий навоз 50—60 т/га ранней весной после подсыхания дернины) или в 2—4 приема после каждого укоса цистернами-разбрасывателями или, смешивая с поливной водой (1 : 5—7), дождевальными установками.

При использовании биологически очищенных сточных вод жи-

вотноводческих комплексов и канализационных (промышленно-бытовых) вод, концентрация питательных элементов в которых невысока, орошение сенокосов и пастбищ проводят этими отходами без разбавления водой. В почву за сезон поступает с оросительной нормой сточных вод около 60—80 кг/га азота и калия и 30—40 кг/га фосфора, поэтому годовую дозу минеральных удобрений следует уменьшать на соответствующие величины.

Из микроудобрений на сенокосах и пастбищах при наличии бобовых эффективны молибденовые, а на торфянистых почвах и медные удобрения, которые применяют в качестве некорневых подкормок.

Удобрение **плодово-ягодных культур** проводят с целью регулирования интенсивности и соотношений вегетативного и генеративного развития растений в разные периоды их произрастания и плодоношения.

По требованиям и условиям питания выделяют три периода:

от посадки до плодоношения — характерен усиленным ростом вегетативных органов скелетной части корневой системы и листового аппарата, когда необходима хорошая обеспеченность всеми элементами в легкоусвояемых формах с преобладанием азота, что достигается допосадочным, припосадочным удобрением и подкормками;

от начала до максимального плодоношения — характерен замедленным ростом побегов и усиленным образованием плодовых веточек, почек, плодов и ягод, когда необходима высокая обеспеченность всеми элементами с увеличением роли калия, что достигается периодическим (органические, фосфорные, калийные) и ежегодным (азотные, микроудобрения) внесением оптимальных доз удобрений;

затухание плодоношения — характерен усыханием ветвей, когда потребность в элементах снижается, что достигается уменьшением доз всех удобрений до уровней, соответствующих плодоношению.

С периода плодоношения у плодово-ягодных культур ежегодно проходят два периода интенсивного потребления элементов: весной при распускании почек, цветении и образовании листьев и после сбора плодов осенью в период накопления запасных пластических веществ и второй волны роста корней. Весенний период почти в 3 раза интенсивнее по всем элементам с небольшим преобладанием азота над калием, чем осенний период с небольшим преобладанием калия над азотом.

По отношению к реакции почв плодово-ягодные культуры делят на 3 группы: вишня, черешня, абрикос, персик, слива, смородина и земляника предпочитают близкие к нейтральным почвы; яблоня, груша и малина — слабокислые, а крыжовник — кислые почвы. Для устранения избыточной кислотности ( $\text{pH} < 5,0\text{—}5,5$ ) почвы до посадки известкуют под культуры первой группы в дозах по 1,0, вто-

рой — по 0,75 и третьей — по 0,5 гидролитической кислотности; повторные известкования проводят через каждые 8—10 лет.

Перед закладкой садов и ягодников под глубокую обработку почв плантажным плугом вносят мелиоранты, органические и фосфорно-калийные удобрения (табл. 137).

**137. Дозы удобрений и глубина обработки почвы под плодово-ягодные культуры в разных зонах**

| Культура           | Зона | Навоз, компост, т/га | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг/га | K <sub>2</sub> O, кг/га | Глубина обработки, см |
|--------------------|------|----------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Плодовые деревья   | I    | 40—80                | 150—300                               | 120—400                 | 40—50                 |
| Ягодные кустарники |      | 40—100               | 100—300                               | 100—300                 | 35—40                 |
| Земляника          |      | 40—80                | 60—150                                | 60—150                  | 25—30                 |
| Плодовые деревья   | II   | 20—40                | 150—300                               | 120—200                 | 55—60                 |
| Ягодные кустарники |      | 40—50                | 100—150                               | 80—100                  | 40—50                 |
| Земляника          |      | 50—60                | 90—120                                | 60—90                   | 35—40                 |
| Плодовые деревья   | III  | 30—40                | 100—150                               | 100—150                 | 65—70                 |
| Ягодные кустарники |      | 25—30                | 100—150                               | 60—90                   | 45—50                 |
| Земляника          |      | 30—40                | 90—120                                | 30—60                   | 35—40                 |

*Примечание* Зоны: I — северная (дерново-подзолистые почвы), II — средняя (серые лесные почвы и черноземы), III — южная (каштановые почвы и южные черноземы).

Рекомендуемые дозы удобрений корректируют в зависимости от исходной обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия и гумусированности их с помощью поправочных коэффициентов, установленных местными (зональными) опытными учреждениями.

При посадке плодово-ягодных культур также обязательно внесение удобрений (табл. 138), причем 2/3 дозы минеральных удобрений вносят на дно ямы (или траншеи), а 1/3 перемешивают с почвой, которой засыпают нижнюю половину ямы. Органические удобрения (навоз, компост) перемешивают со всей почвой ямы при ее засыпке.

**138. Дозы удобрений на одну посадочную яму плодово-ягодных культур (по Спиваковскому)**

| Вид удобрения                       | Дерново-подзолистые почвы |             |                    | Черноземы и каштановые почвы |             |                    |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------|--------------------|------------------------------|-------------|--------------------|
|                                     | семечковые                | косточковые | ягодные кустарники | семечковые                   | косточковые | ягодные кустарники |
| Навоз перепревший, или перегной, кг | 20—30                     | 10—12       | 8—10               | 10—12                        | 7—9         | 4—6                |
| N, г                                | 21                        | 14          | 7                  | 21                           | 14          | 7                  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , г   | 200                       | 80          | 40                 | 100                          | 60          | 30                 |
| K <sub>2</sub> O, г                 | 60                        | 30          | 18                 | 36                           | 24          | 12                 |
| Молотый известняк или доломит, кг   | 0,6—1,0                   | 0,3—0,4     | 0,1—0,15           | —                            | —           | —                  |

В Нечерноземье применяют и траншейный способ внесения удобрений с окультуриванием почвы перед посадкой растений полосами. По линии будущего ряда растений полосой вносят удобрения и мелиоранты, по которой плантажным плугом отрывают траншею. В отрытую траншею высаживают растения, засыпая их удобренной почвой.

Удобрения в молодых садах вносят под междурядные культуры, в приствольные полосы и круги (табл. 139).

**139. Дозы удобрений в молодых садах, г д. в. на 1 дерево**

| Год после посадки | Навоз, кг | Северная зона |                               |                  | Средняя зона |                               |                  | Южная зона   |                               |                  |              |                               |                  |
|-------------------|-----------|---------------|-------------------------------|------------------|--------------|-------------------------------|------------------|--------------|-------------------------------|------------------|--------------|-------------------------------|------------------|
|                   |           |               |                               |                  |              |                               |                  | при орошении |                               |                  | без орошения |                               |                  |
|                   |           | 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 | 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 |
| 1—2-й             | 10—15     | 15            | 18                            | 15               | 1            | 15                            | 12               | 18           | 18                            | 15               | 9            | 12                            | 6                |
| 3—4-й             | 15—20     | 25            | 30                            | 25               | 20           | 25                            | 20               | 30           | 30                            | 25               | 15           | 20                            | 10               |
| 5—6-й             | 20—30     | 35            | 42                            | 35               | 28           | 35                            | 28               | 42           | 42                            | 35               | 21           | 28                            | 14               |
| 7—8-й             | 30—40     | 48            | 58                            | 48               | 38           | 48                            | 38               | 58           | 58                            | 48               | 29           | 38                            | 18               |
| 9—10-й            | 40—50     | 62            | 75                            | 62               | 50           | 62                            | 50               | 75           | 75                            | 62               | 38           | 50                            | 25               |
| 11—12-й           | 60—80     | 98            | 118                           | 98               | 78           | 98                            | 78               | 118          | 118                           | 98               | 59           | 78                            | 39               |

В приствольных полосах и кругах удобрения заделывают при разбросном внесении на глубину 10—12 см, а вблизи стволов — на 5—8 см. Эффективна более глубокая (на 30 см и более) заделка удобрений; для этого удобрения разбрасывают лентой (60—70 см) вдоль рядов по периферии кроны деревьев и запахивают плугом. Эффективно также внесение удобрений в борозды, нарезаемые на глубину 25—30 см на расстоянии 1,0—1,5 м от ряда растений, а в междурядьях через 0,8—1,0 м.

Удобрения в жидкой форме (и растворы) можно заделывать и глубже (до 40—50 см и более) гидро- и турбобурами, шприцами и гидроимпульсными машинами; при этом эффективность их возрастает в 1,5—2,0 раза.

При удобрениях садов органические и фосфорно-калийные удобрения лучше вносить раз в три года, а азотные — ежегодно. При выращивании в междурядьях бобовых культур дозы азотных удобрений уменьшают вдвое.

20—30 т/га навоза (компоста) в сочетании с минеральными удобрениями (по 50—60 кг/га д. в. каждого) вносят в разных зонах под смородину, крыжовник, малину и землянику.

В плодоносящих садах основное удобрение вносят равномерно по всей площади осенью и заделывают плугом во всех зонах достаточного увлажнения и при орошении в дозах 20—30 т/га навоза и по 40—60 кг/га д. в. минеральных удобрений, а в засушливых районах столько же навоза и вдвое меньше минеральных удобрений.

На фоне основного удобрения в плодоносящих садах проводят подкормки, причем азотную ранней весной за 2—3 нед до цвете-

ния, а фосфорно-калийную с органическими удобрениями осенью. Если последнюю подкормку не проводили, ее объединяют весной с азотной. Подкормку азотом плодоносящих садов и ягодников можно проводить дважды: 70 % дозы ранней весной и 30 % в фазе физиологического осыпания завязей.

Для косточковых деревьев дозы подкормок (табл. 140) уменьшают в 2 раза.

**140. Примерные дозы подкормок плодоносящего семечкового дерева**

| Возраст<br>деревя, лет | Навозная<br>жижа, ведр | Птичий<br>помет, кг | N, г    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , г | K <sub>2</sub> O, г |
|------------------------|------------------------|---------------------|---------|-----------------------------------|---------------------|
| 10—15                  | 4—6                    | 3—4                 | 150     | 150                               | 150                 |
| 15—20                  | 6—8                    | 4—6                 | 230     | 230                               | 230                 |
| Более 20               | 8—12                   | 6—10                | 300—500 | 300—450                           | 250—400             |

Подкормку земляники азотом (по 20—30 кг/га) проводят ранней весной и после сбора ягод с заделкой на глубину 10—15 см и на такое же расстояние от ряда.

Подкормку малины (по 20—30 кг/га д. в. NPK) проводят в начале образования завязей.

Подкормки смородины и крыжовника (по 20—30 кг/га д. в. NPK) проводят после цветения и через 2—3 нед после первой.

Эффективность подкормок возрастает при локальном внесении удобрений под деревья, в канавки, лунки и скважины глубиной 25—50 см, под кустарники — 15—20 см.

Рекомендуемые дозы основного удобрения и подкормок под плодоносящими плодово-ягодными культурами следует корректировать по результатам листовой диагностики обеспеченности их (табл. 141) в каждом конкретном случае. При более низком по сравнению с оптимальным содержанию элементов в листьях (на 20—30 % и более) дозы соответствующих удобрений повышают на 20—30 %, при содержании на 15—20 % выше дозы уменьшают на 50 %, при еще более высоком содержании удобрения не вносят.

**141. Оптимальные уровни содержания элементов в листьях плодово-ягодных культур, % на сухую массу**

| Культура  | N       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO     | MgO     |
|-----------|---------|-------------------------------|------------------|---------|---------|
| Яблоня    | 2,0—2,2 | 0,3—0,5                       | 1,3—1,8          | 1,0—1,8 | 0,3—0,5 |
| Груша     | 2,0—2,6 | 0,3—0,5                       | 1,4—2,0          | 1,2—1,8 | 0,3—0,5 |
| Слива     | 2,0—2,9 | 0,3—0,5                       | 2,0—2,6          | 2,2—3,0 | 0,4—0,6 |
| Вишня     | 2,2—2,5 | 0,3—0,5                       | 1,6—2,5          | 1,5—2,0 | 0,4—0,6 |
| Земляника | 2,5—3,0 | 0,5—0,7                       | 2,0—3,0          | 2,2—3,3 | 0,2—0,4 |
| Смородина | 2,7—3,2 | 0,5—0,7                       | 1,5—2,2          | 1,5—2,5 | 0,3—0,5 |
| Крыжовник | 2,4—2,9 | 0,5—0,7                       | 1,7—2,3          | 1,5—2,5 | 0,4—0,6 |
| Малина    | 2,6—3,0 | 0,5—0,7                       | 1,4—1,9          | 1,1—2,0 | 0,4—0,6 |

Пробы хорошо развитых листьев (40—50 шт.) отбирают из середины однолетних побегов текущего года у плодовых деревьев после окончания их роста в июле—августе, у кустарников при созревании ягод, у земляники из середины куста в период массового цветения и формирования ягод.

Многие заболевания плодово-ягодных культур (розеточность листьев, опадание завязей, отмирание концов побегов, уродливость плодов, опробковение тканей плодов и др.) вызваны недостатком микроэлементов. При содержании в листьях на 1 кг сухой массы менее 15 мг бора, 6 мг цинка и 10 мг меди и марганца необходимо проводить корневые и некорневые подкормки соответствующими микроудобрениями. Растения опрыскивают водным раствором 0,01—0,05%-ной борной кислоты или вносят в почву борный суперфосфат; в период покоя (осенью) проводят опрыскивание 2—3%-ным раствором сернокислого цинка, а при недостатке меди опрыскивают 0,05—0,10%-ным раствором медного купороса или вносят 25 кг/га его в почву.

#### 7.6.5. ОСОБЕННОСТИ УДОБРЕНИЯ КУЛЬТУР В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ

Они весьма специфичны, так как урожаи культур защищенного грунта и дозы удобрений под них в 4—6 раз выше, чем в открытом грунте (в поле), причем значительную часть удобрений применяют в виде подкормок для предотвращения повышенных концентраций солей в корнеобитаемой среде. Агрохимический контроль за содержанием элементов в растениях и грунтах здесь проводят ежемесячно (или чаще) на протяжении всей вегетации культур. В теплицах в течение года можно выращивать по 40—50 кг/м<sup>2</sup> овощной продукции. Для таких урожаев нужны не только удобрения, но и плодородные почвогрунты.

Состав и свойства тепличных грунтов зависят от местных ресурсов; их составляют из одного, двух и более компонентов. Торф всех типов — обязательный компонент (от 40 до 100 %) всех почвогрунтов без или с различными добавками (10—40 %) дерновой, огородной или полевой почвы и 20—25 % навоза без или с добавками опилок (до 50 %) или песка (5 %). В районах, где нет торфа, почвогрунты готовят из смеси пахотных горизонтов почв (до 80 %) с перегноем, навозом или компостом (от 20 %) с добавками в качестве рыхлящих материалов — опилок, древесной коры, соломенной резки или рисовой шелухи.

Низинный, переходный или верховой торф (каждый в чистом виде и в различных комбинациях) может использоваться и в качестве почвогрунтов, причем торф должен иметь степень разложения до 40 %, зольность до 12 %. Возможно выращивание овощей в теплицах и на спрессованной в тюки (0,5 м × 0,5 м × 1 м) свежей и не обработанной гербицидами соломе.

Промышленное тепличное производство овощей базируется на многолетнем (15—25 лет) использовании почвогрунтов с ежегодным обеззараживанием (пропаривание, влажная и газовая дезинфекция) и периодическим рассолением (промывка при наличии дренажа) их. Длительность бессменной эксплуатации грунтов в значительной степени зависит не только от количества и качества удобрений, но и от умелого применения их, т. е. от квалификации агрономов-агрохимиков.

Все необходимые компоненты грунтовой смеси завозят в теплицу за 3 нед до высадки растений, тщательно разравнивают слоем 30 см, фрезеруют и перепахивают на всю глубину. Затем отбирают пробы готового почвогрунта и анализируют их на реакцию (рН), содержание подвижных элементов ( $N$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ ) и водорастворимых солей. По результатам анализов в почвогрунт равномерно вносят необходимые дозы макро-, микроудобрений и мелиорантов, после чего его еще раз тщательно фрезеруют.

Чрезвычайно важно, чтобы содержание воздуха в почвогрунте было не ниже 10—12 %, а пористость составляла 50—60 %. Оптимальное соотношение между твердой, жидкой и газообразной фазами в почвогрунтах 1 : 1 : 1. Запасы воздуха в почвогрунтах при полной влагоемкости через 5—6 лет могут снизиться в 2—3 раза, со временем уменьшается и влагоемкость. Для предотвращения этих явлений необходимо тщательно соблюдать режимы питания возделываемых культур, применять качественные органические и концентрированные безбалластные минеральные удобрения в сочетании с периодическим (через 4—5 лет) добавлением рыхлящих материалов: опилок (20—30 % объема), соломенной резки или рисовой шелухи ( $0,5 \text{ кг/м}^2$ ), или веществ-структурообразователей (производные акриловой, метакриловой и малеиновой кислот).

С соломой, опилками или рисовой шелухой в почвогрунты вносят  $20 \text{ г/м}^2 \text{ N}$  в виде  $NH_4NO_3$ , затем через неделю после высадки растений проводят подкормку в дозе  $10 \text{ г/м}^2 \text{ N}$ , а следующие — через каждые две недели по результатам анализов почвогрунтов и растений.

Подпочва теплиц должна быть легкого гранулометрического состава, а еще лучше иметь под почвогрунтами дренажные системы.

Смеси для выращивания рассады, в том числе в торфоперегнойных горшочках, торфяных кубиках и блоках, по рекомендациям НИИОХ готовят при помощи 6—8-месячного компостирования следующих компонентов (% без добавления в последующем минеральных удобрений): 1) торф 60, навоз 20, полевая почва 7, навозная жижа 10, фосфоритная мука 3; 2) торф 70, соломенная резка, полова и др. 5, навозная жижа 15, полевая почва 7, фосфоритная мука 3.

Хорошую смесь для выращивания рассады любых овощных культур получают при смешивании равных объемов влажного



(около 80 %) торфа с дерновой почвой или навозно-земляного компоста с добавлением минеральных удобрений: на 1 м<sup>3</sup> смеси 0,85 кг аммофоса, 0,5 сульфата калия и 0,25 кг калийной селитры. К торфу перед смешиванием его с почвой добавляют доломит: на 1 м<sup>3</sup> верхового торфа 2 кг, переходного 1,5 и низинного 1 кг.

Выращивать рассаду овощей можно на чистом верховом торфе с добавлением при тщательном перемешивании на 1 м<sup>3</sup> его 3 кг доломита, 1 аммофоса, 0,6 калийной селитры, 0,25 кг сульфата калия, по 50 г сульфата меди и железа, 15 борной кислоты, 12 сульфата марганца, 10 молибдена аммония и 3 г сульфата цинка. Имеются и другие рецепты приготовления почвогрунтов для теплиц и смесей для выращивания рассады, которые изложены в специальных рекомендациях и справочниках.

Для определения оптимальных доз и способов внесения удобрений под возделываемые культуры в теплицах необходимо знать обеспеченность почвогрунтов водорастворимыми питательными элементами и солями. Ее определяют методом объемного экстрагирования при соотношении грунт : вода = 1 : 2. В полученной водной вытяжке устанавливают содержание элементов (мг/л) и концентрацию солей потенциметрически (мС/см) или методом сухого остатка (г/л). По результатам определяют уровень обеспеченности почвогрунтов (табл. 142).

#### 142. Классификация почвогрунтов по содержанию водорастворимых элементов и солей для огурца и томата (по рекомендации НИИОХ)

| Уровень обеспеченности | Содержание элементов, мг/л |                               |                  |         | Содержание солей |         |
|------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|---------|------------------|---------|
|                        | N                          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | MgO     | мС/см            | г/л     |
| Низкий                 | < 40                       | < 10                          | < 60             | < 30    | < 0,5            | < 0,8   |
| Умеренный              | 40—80                      | 10—25                         | 60—130           | 30—80   | 0,5—1,0          | 0,8—1,5 |
| Нормальный             | 80—130                     | 25—35                         | 130—200          | 80—120  | 1,0—2,0          | 1,5—3,0 |
| Повышенный             | 130—170                    | 35—45                         | 200—240          | 120—170 | 2,0—3,0          | 3,0—4,0 |
| Высокий                | > 170                      | > 45                          | > 240            | > 170   | 3,0—4,0          | 4,0—5,0 |

С учетом обеспеченности почвогрунтов элементами (см. табл. 142) устанавливают дозы удобрений для основного внесения (табл. 143).

#### 143. Дозы минеральных удобрений (г/м<sup>2</sup> д. в.) в зависимости от обеспеченности почвогрунтов водорастворимыми элементами (по рекомендации НИИОХ)

| Обеспеченность почвогрунта | N     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO   | MgO   |
|----------------------------|-------|-------------------------------|------------------|-------|-------|
| <i>Огурец</i>              |       |                               |                  |       |       |
| Низкая                     | 20—30 | 45—60                         | 45—60            | 20—30 | 15—20 |
| Умеренная                  | 10—20 | 25—45                         | 30—45            | 10—20 | 10—15 |
| Нормальная                 | 0—10  | 0—25                          | 0—30             | 0—10  | 0—10  |

Продолжение

| Обеспеченность<br>почвогрунта | N     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO   | MgO   |
|-------------------------------|-------|-------------------------------|------------------|-------|-------|
| <i>Томат</i>                  |       |                               |                  |       |       |
| Низкая                        | 12—25 | 45—60                         | 75—100           | 30—35 | 35—45 |
| Умеренная                     | 0—12  | 25—45                         | 50—75            | 20—30 | 30—35 |
| Нормальная                    | —     | 0—25                          | 25—50            | 15—20 | 20—30 |
| Повышенная                    | —     | —                             | 0—25             | 10—15 | 10—20 |
| <i>Салат</i>                  |       |                               |                  |       |       |
| Низкая                        | 20—26 | 30—45                         | 10—20            | 15—25 | 15—20 |
| Умеренная                     | 10—20 | 20—30                         | 0—10             | 10—15 | 10—15 |
| Нормальная                    | 0—10  | 0—20                          | —                | 0—10  | 0—10  |

Первую подкормку огурца проводят через месяц, а томата — через 1,5—2 мес после высадки рассады, последующие — через каждые 1—2 нед, а всего за вегетацию до 5—8 раз. В подкормки дают только азотно-калийные удобрения и каждый раз не более 5 г N и 10—15 г K<sub>2</sub>O на 1 м<sup>2</sup>, а общее количество всех удобрений в одну подкормку не должно превышать для огурца 70, а томата — 100 г/м<sup>2</sup>.

Возможны и некорневые подкормки культур макро- и микроудобрениями с помощью дождевания; концентрация растворов при этом должна быть для огурца не выше 0,22—0,27, а томата — 0,4 %. Проводить подкормки следует в пасмурные дни. Важны и утренние подкормки угольной кислотой в дозе 2—2,5 кг/100 м<sup>2</sup> посадок.

Дозы элементов для подкормок определяют по разнице между потребностями культур (в том числе и для получения планового урожая) и запасами их в почвогрунтах и по результатам ежемесячной почвенной и растительной диагностики.

Известны и другие методы определения оптимальных доз удобрений в тепличном овощеводстве для различных культур, изложенные в специальных рекомендациях, пособиях и справочниках.

Существует три типа *гидропонного выращивания* растений в теплицах: 1) культура на твердых субстратах, которые периодически увлажняют питательным раствором; 2) водная культура — собственно гидропоника, при которой корни растений постоянно находятся в питательном растворе; 3) воздушная культура — аэропоника, когда корни растений находятся во влажном воздухе и периодически опрыскиваются питательным раствором.

**Культура на твердых субстратах.** Наиболее распространена в тепличном производстве овощей, цветов и других растений.

Наиболее распространенными субстратами являются гравий (2—20 мм) и щебенка (3—150 мм) из гранита, диорита и других магматических пород, вулканические туфы, перлит, вермикулит, керамзит, кирпич, каменноугольные и торфяные шлаки и торф. Под-

ходящий субстрат сортируют, тщательно промывают водой, засыпают слоем 20—30 см в лотки, стеллажи (шириной 0,7—1,5 м) или поддоны (шириной 3—10 м и более) с наклонным дном и отверстием для быстрого стекания питательных растворов в резервуар.

Питательные растворы готовят на водопроводной воде, содержание хлора в которой не должно превышать 150—200 мг/л, а оптимальное количество кальция — 150—300 мг/л. Общая концентрация солей не должна превышать 0,2 % (2,0 г/л), что особенно важно летом, когда растения испаряют много воды.

Реакцию раствора поддерживают в пределах pH 5,0—6,0, а подкисление нейтральных и слабощелочных растворов проводят азотной или фосфорной кислотой с учетом их количества в дозах соответствующих солей. Концентрация солей питательного раствора для молодых растений должна быть ниже нормы, в период интенсивного потребления — значительно выше, а соотношение элементов — постоянно соответствовать потребностям культур в разные периоды вегетации.

Для приготовления питательных растворов существуют разные способы. Например, по рецепту Л. К. Гелера на каждые 100 л воды рекомендуется добавить (г): 1000 калийной селитры, 75 простого суперфосфата, 500 сернокислого магния, 15 лимоннокислого железа, по 2 сульфата марганца и бора натрия, по 1 сульфатов меди и цинка, причем зимой в растворе должно быть (мг/л): по 150 N и  $P_2O_5$  и 450  $K_2O$ , а с апреля по сентябрь доза азота возрастает до 225. Контроль за содержанием элементов в растворе проводят не реже 1 раза в 3—4 нед, а кислотность — еженедельно.

В период плодоношения в растворы еженедельно добавляют (г на 1 растение): под огурец — 3,5 N, 3,0  $P_2O_5$ , 7,5  $K_2O$ ; под томат соответственно 1,0; 1,3; 2,5; под салат — 0,17; 0,2; 0,42, причем для этого заранее готовят маточные растворы соответствующих солей. Каждые 1—1,5 мес (если субстрат используют более года) питательный раствор сбрасывают и 1—2 дня работают на воде. При тщательной ежегодной дезинфекции и регенерации субстрата сбрасывать раствор не нужно.

**Дезинфекция** — удаление корневых остатков и выдерживание субстрата в течение 3 сут в 5%-ном растворе формалина с последующей 4—5-кратной промывкой в теплой воде. **Регенерация** — выдерживание субстрата в течение 2 сут в 3%-ном растворе азотной кислоты с последующей 2—3-кратной промывкой, затем 2 суток в 0,3%-ном растворе перекиси водорода с последующей 2-кратной промывкой и выдерживанием (если нужно) в вытяжке суперфосфата (200 мг/л  $P_2O_5$ ) для связывания появившихся ионов алюминия.

Раствор в поддоны (стеллажи) подается снизу и автоматически сливается, не достигнув 3—5 см поверхности субстрата, чтобы предотвратить испарение воды и засоление субстрата. Частота подачи раствора зависит от влагоемкости субстрата (чем она выше,

тем реже подают раствор), температурного режима и возраста растений (при большом испарении подача чаще). Для поддержания желаемых влажности, температуры и обогащения воздуха углекислотой существуют специальные установки для всех типов гидропоники.

**Водные культуры.** Применяют мало, хотя они имеют ряд преимуществ: не нужно приобретать, транспортировать, первоначально обрабатывать и систематически очищать, стерилизовать и регенерировать субстрат, не требуется автоматизация подачи и удаления питательного раствора, так как резервуары наполняют им один раз в 2—3 нед.

В водных культурах растения потребляют больше элементов из растворов даже при меньших (в 3—5 раз) концентрациях солей в них за счет больших объемов и постоянного контакта. При меньших концентрациях растворов растения потребляют больше воды, что ускоряет их рост и развитие. Водные культуры позволяют абсолютно точно регулировать концентрацию, состав и реакцию растворов в любой период вегетации растений.

Баки (поддоны, лотки) для выращивания растений из инертных и прочных материалов (пластмасс) должны иметь глубину не менее 20—25 см, а ширина их зависит от возделываемых культур и может колебаться от 5—10 до 100 см и более. Для закрепления растений на баках (лотках, поддонах) делают хорошо подогнанные крышки с отверстиями разного диаметра, например для овощных культур 3—4 см, в которые плотно вставляют цилиндры такого же диаметра, высотой 5—6 см с закраинами в 4—5 мм, на которых они повисают на крышке. Вместо дна к цилиндрам приваривают полоску шириной 5—7 мм для поддержания в них ваты, в которой укрепляют проростки (рассаду) при посадке. После подрастания растения привязывают к свисающему шпагату и убирают из цилиндров вату, чтобы предотвратить загнивание стеблей при возможном ее намокании.

Чтобы концентрация солей в растворах не опускалась ниже 50 % исходной, добавляют соответствующие соли (по результатам анализов или по расчетам потребности культур в данной фазе) либо быстро (чтобы не подвяли растения) меняют растворы. В последнем случае необходим запасной бак для приготовления раствора нужных температуры, концентрации и реакции.

Для автоматической продувки растворов воздухом нужен компрессор с соответствующей системой воздухопроводов, резервуаром и временным реле включения.

**Воздушная культура (аэропоника).** Позволяет почти полностью автоматизировать все приемы выращивания растений, которые при этом растут и развиваются быстрее, чем в других условиях.

Глубина резервуара для корневой системы составляет 20—25 см, а общая емкость может быть очень небольшой. Крышка с отверстиями для высадки растений должна плотно прилегать к

стенкам резервуара. Закреплять растения нужно так же, как в водной культуре, но вместо ваты берут другие материалы, например пемзу, кусочками которой (размером 8—15 мм) обкладывают и поддерживают рассаду.

В резервуаре размещают форсунки для равномерного тонко распыляемого опрыскивания корней растений питательным раствором. Питание растений осуществляется из задержавшихся на корнях капель питательного раствора, поэтому концентрация его должна быть примерно в 10 раз выше, чем в водной культуре. Частота опрыскивания зависит не только от концентрации раствора, но и от потребности растений в воде (нельзя допускать их подвядания), возраста и развития корневой системы.

В начальный период, когда корневая система еще не разветвлена, следует чаще (примерно через каждые 5 мин), но кратковременно (5—10 с) проводить опрыскивание. При развитой корневой системе опрыскивание проводят реже (через 10—15 мин), но дольше (более 10 с), чтобы полнее смыть остатки предыдущего опрыскивания и заменить их новой порцией раствора. Питательный раствор, стекающий с корней с первых секунд, должен быстро возвращаться в запасную емкость, поэтому дно лотка с растениями имеет уклон к выходному отверстию.

Контроль за реакцией, концентрацией и составом питательного раствора осуществляют так же, как и в водной культуре, а для поддержания оптимальных влажности, газовых и температурных режимов пользуются таким же оборудованием, как и в культурах на твердых субстратах.

#### **7.6.6. ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ, ТРАНСПОРТИРОВКИ И ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Современная технология хранения, подготовки, транспортировки и внесения незатаренных удобрений, на долю которых в России приходится до 80 % всех видов минеральных удобрений, базируется на сохранении высокой сыпучести их на всех этапах движения с завода-поставщика до поля и беспрепятственной гравитационной разгрузки из транспортных средств, хранилищ, дозирующих устройств смесительных установок, машин и сеялок для внесения в почву. Важнейшую роль при этом играют физико-химические и механические свойства минеральных удобрений: гигроскопичность, слеживаемость, гранулометрический состав, прочностные свойства гранул, сыпучесть, плотность, пылящие свойства, требования к которым регламентируются нормативно-техническими документами, государственными (ГОСТ) и отраслевыми (ОСТ) стандартами и техническими условиями (ТУ), указанными в сертификатах.

С заводов-поставщиков удобрения доставляют железнодорож-

ным, водным и автомобильным транспортом в прирельсовые, портовые и глубинные склады вместимостью от 1,6 до 20 тыс. т, для пылевидных удобрений (известковая, доломитовая, фосфоритная мука и др.) — в склады силосного типа от 0,5 до 3 тыс. т, а для жидких удобрений — в специальные склады (металлические резервуары) объемом 0,6—2,0 тыс. м<sup>3</sup>. Склады обычно оборудуют погрузочно-разгрузочными машинами и механизмами, агрегатами для дробления, растаривания и смешивания твердых минеральных удобрений.

Аммиачную селитру как гигроскопичный, пожаро- и взрывоопасный материал транспортируют только в таре (мешки и мягкие контейнеры) и хранят в отдельных складах вместимостью 1,2—3,5 тыс. т.

*Сухое смешивание* — это доступный, гибкий и экономичный способ получения комплексных удобрений с заданным соотношением и содержанием элементов и одновременно эффективный путь снижения потерь их и уменьшения затрат на подготовку, транспортировку и внесение удобрений в почву. Состояние и перспективы сухого смешивания удобрений подробно изложены в главе 5, здесь же остановимся на технологических схемах доставки на поля и внесения удобрений, а также на агротехнических требованиях к качеству выполнения этих работ.

**Доставка минеральных удобрений в поле и внесение их в почву.** При безошибочном выполнении этих операций это наиболее важный этап сокращения потерь и достижения максимальной эффективности удобрений. В зависимости от материально-технической обеспеченности и расстояния от склада до конкретного поля удобрения и мелиоранты вносят по следующим технологическим схемам:

прямоточная — при небольших радиусах перевозок от склада к полю и поверхностном внесении удобрений по схеме: склад — разбрасыватель (ИРМГ-4, РУМ-5, РУМ-8, КСА-3) — поле; при радиусе 3—5 км используют тракторные, а при 5—8 км и более автомобильные разбрасыватели или авиацию — оптимальный радиус действия сельскохозяйственной авиации 10—12 км от аэродрома, а доза удобрений 100—200 кг/га;

перегрузочная — при внесении удобрений туковыми сеялками, культиваторами-растениепитателями и другими машинами для внутривспашечного (локального) внесения, а также любыми центробежными разбрасывателями по схеме: склад — транспортные машины — перегрузчики — поле;

перевалочная — в отсутствие складов и специальных транспортно-погрузочных средств удобрения доставляют в поле транспортом общего назначения и сгружают на специально подготовленные площадки или по схеме: прирельсовый (портовый) склад — хозяйственный (межхозяйственный) склад или площадка в поле. Далее по первой (перевалочно-прямоточной) или по второй (перевалочно-перегрузочной) схеме.

Перевалочная схема — это вынужденный наименее эффективный вариант из-за возможных потерь, ухудшения качества удобрений и максимальных затрат труда и средств.

**Агротехнические требования к качеству внесения удобрений.** Это главным образом обеспечение определенного распределения удобрений в почве, которое зависит от конструкции машин и орудий, способов разбрасывания, внесения и заделки, а также от качества, свойств удобрений и других условий. Качество внесения удобрений определяется отклонениями фактической дозы от заданной и неравномерностью поверхностного распределения их в пределах ширины захвата (для центробежных механизмов) при двухфазной технологии и по профилю обрабатываемого слоя разными почвообрабатывающими орудиями. При локальном внесении качество работ определяется наряду с дозой точностью размещения удобрений на определенной глубине и ориентацией рядов (лент, очагов) их относительно посевных рядков и корневой системы растений.

Центробежные разбрасыватели наряду с достоинствами (высокая производительность, грузоподъемность, надежность, маневренность, простота конструкции и др.) имеют серьезные недостатки: сильную неравномерность по ширине захвата, неустойчивость показателей рассева и разделение разных фракций удобрений в пределах ширины захвата, что делает эти машины непригодными (или малопригодными) для внесения тукосмесей. Предельно допустимая неравномерность в соответствии с агротехническими требованиями составляет:

до 25 % у разбрасывателей центробежного типа (КСА-3, 1РМГ-4, РУМ-3, РУМ-5, РУМ-8, НРУ-0,5, РМС-6) и при внесении удобрений самолетом Ан-2 и вертолетами Ми-2, Ка-26;

до 15 % у прицепных туковых сеялок;

до 8 % у комбинированных сеялок, посадочных машин и культиваторов-растениепитателей;

до 10—15 % у машин по внесению жидких минеральных удобрений (ПОУ, АБА-0,5М, АША-2 и др.);

до 30 % у машин для пневматического рассева пылящих мелиорантов и фосфоритной муки (АРУП-8 и РУП-8).

Неравномерность распределения разбросного внесения удобрений при возделывании культур по современным технологиям (т. е. при высокой насыщенности удобрениями) не должна превышать 15 %.

Неравномерность распределения удобрений проявляется в одновременном развитии и созревании возделываемых культур, пестроте урожая, ухудшении качества получаемой продукции и снижении прибавок от удобрений, величина которых зависит от биологических особенностей культуры, уровня и пестроты почвенного плодородия, доз, видов и способов внесения удобрений и других условий.

#### 7.6.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УДОБРЕНИЙ

Эффективность удобрений определяют в полевых и производственных опытах в типичных для конкретной территории почвенно-климатических условиях. Различают агрономическую, экономическую и энергетическую эффективность удобрений.

**Агрономическая эффективность.** Это оплата единицы удобрений полученной прибавкой товарной продукции (или хозяйственного урожая) культуры (или севооборота) в конкретных почвенно-климатических условиях. В севооборотах ее выражают в кормовых или зерновых единицах.

В результате существенных различий почвенно-климатических, агротехнических и материально-технических условий эффективность удобрений даже под одной культурой сильно колеблется по отдельным хозяйствам, районам и регионам страны.

По многочисленным данным полевых опытов Географической сети опытов, Агрохимслужбы и других учреждений страны, обобщенных многими исследователями, оплата 1 кг д. в. минеральных удобрений (при оптимальных в каждом опыте дозах их) прибавками основной продукции (кг) может составлять: озимой пшеницы 3,3—5,5, озимой ржи 2,3—6,2, яровой пшеницы 2,0—6,0, ячменя 2,0—8,2, овса 2,0—7,0, кукурузы 1,2—7,1, риса 5,7—12,0, картофеля 18—47, сахарной свеклы 15—72, льносоломы 3,8—8,6, подсолнечника 1,8—4,0, овощей 10—50, сена трав 5—25, плодов и ягод 10—40.

Эффективность удобрений под каждой культурой при прочих равных условиях зависит от доз и способов их внесения. С увеличением дозы от минимальной до оптимальной наблюдается, как правило, максимальная, но постепенно уменьшающаяся оплата каждого килограмма удобрений получаемыми прибавками продукта. Дальнейшее увеличение доз до максимальных величин обычно сопровождается устойчивым снижением окупаемости удобрений.

Максимальная окупаемость (не менее 20 кг зерн. ед.) каждого килограмма удобрений прибавками урожаев всех культур наблюдается при оптимальных дозах припосевного (рядкового, припосадочного) удобрения. Азотные подкормки озимых зерновых культур и многолетних злаковых трав (при оптимальных дозах) обеспечивают 10—20 кг зерн. ед. прибавки на каждый килограмм внесенных удобрений.

Оптимальные дозы основного (допосевного) внесения минеральных удобрений обеспечивают в среднем оплату каждого килограмма удобрений не менее 5 кг зерн. ед. При локальных способах заделки оптимальных доз подкормок и основного удобрения эффективность их возрастает, как правило, не менее чем на 50 %.

**Экономическая эффективность.** Это стоимостное сопоставление произведенной продукции с суммарными затратами на ее произ-



водство, выражаемое рядом показателей: чистый доход, производительность труда, окупаемость затрат, себестоимость продукции и др. Расчеты показателей экономической эффективности удобрений можно осуществлять по данным полевых и производственных опытов в типичных природно-экономических условиях, а также по нормативам прибавок урожаев культур и суммарным средним затратам на единицу (т, кг) удобрений.

Показатели экономической эффективности удобрений можно определять для любой культуры, севооборота (агроценоза), хозяйства, района, области (края), республики, сельскохозяйственной отрасли и для всего производства страны. Экономическую эффективность удобрений в стране определяют как сумму чистой продукции (прибыли), полученной в промышленности по производству удобрений и в сельском хозяйстве, т. е. ростом национального дохода от производства и применения удобрений.

При квалифицированном применении удобрений повышаются плодородие почв, продуктивность земледелия, основные фонды и фондоотдача, производительность труда и его оплата, чистый доход и рентабельность производства. Подсчитано, что каждая тонна д. в. минеральных удобрений сберегает в сельском хозяйстве 275 чел.-ч, так как каждый человеко-час в производстве удобрений (с учетом всех затрат на сырье и энергетику) экономит за счет повышения урожайности культур более 15 чел.-ч в сельском хозяйстве.

Основные показатели экономической эффективности удобрений по методикам ведущих научно-исследовательских учреждений страны можно определять по следующим формулам.

Производительность труда:

по прямому показателю ( $V$ )

$$V = Y/T \text{ и } V_y = \frac{Y+y}{T+t};$$

по показателю трудоемкости ( $t$ )

$$t = T/V \text{ и } t_y = (T+t)/V_y,$$

где  $V$  и  $V_y$  — производительность труда (т/чел.-дн) без и при удобрении;  $Y$  и  $y$  — урожайность без удобрений и прибавка от удобрений, т/га;  $T$  и  $t$  — затраты труда (чел.-дн/га) на производство продукции без удобрений и дополнительные — при удобрении;  $t$  и  $t_y$  — трудоемкость (чел.-дн/т) без и при удобрении.

Повышение производительности труда (%):

$$\Delta V = (t/t_y) \cdot 100.$$

Экономия труда (чел.-дн/т):

$$\mathcal{E} = t - t_y.$$

**Себестоимость продукции:**

$$C = E/Y; C_y = (E + eK)/(Y + y),$$

где  $C$  и  $C_y$  — себестоимость продукции (руб./т) без и при удобрении;  $E$  и  $e$  — все затраты на производство (руб./га) без удобрений и дополнительные затраты, связанные с применением удобрений (сумма затрат на приобретение, транспортировку, хранение и применение удобрений, на уборку, доработку, транспортировку и реализацию дополнительной продукции от удобрений и накладные расходы);  $K$  — коэффициент отнесения затрат на данную культуру.

**Снижение себестоимости продукции (%):**

$$\Delta C = \frac{C - C_y}{C} \cdot 100.$$

**Чистый доход от удобрений (руб.):**

$$Ч_{\text{д}} = (Ц + ц) - eK,$$

где  $Ц$  и  $ц$  — стоимость (цена) дополнительной, основной и побочной продукции при удобрении, руб.;  $e$  — сумма всех затрат, связанных с применением удобрений, руб.;  $K$  — коэффициент отнесения затрат на удобрения под данную культуру (доли единицы), который обычно соответствует коэффициентам использования элементов по годам из конкретного удобрения и учитывается в течение 3–4 лет при эпизодическом (периодическом) внесении их, т. е. для органических, известковых, фосфорных и калийных удобрений.

**Увеличение чистого дохода:**

$$Д = П[Y_y(Ц - C_y) - Y(Ц - C)],$$

где  $Д$  — прирост чистого дохода, руб.;  $П$  — удобряемая площадь, га;  $Y$  и  $Y_y$  — многолетняя (4–5 лет) урожайность до удобрения и при удобрении, т/га;  $Ц$  — стоимость (цена) продукции, руб./т;  $C$  и  $C_y$  — многолетняя себестоимость продукции без и при удобрении, руб./т.

**Рентабельность применения удобрений (%):**

$$P = \frac{Ч_{\text{д}}}{eK} \cdot 100 = \frac{(Ц + ц) - eK}{eK} \cdot 100.$$

**Окупаемость затрат на удобрения:**

$$O = (Ц + ц)/eK.$$

При внутрихозяйственном и межхозяйственном использовании различных органических удобрений возможны различные способы оценки их. Существует 5 способов оценки навоза:

по стоимости подстилки, используемой для его приготовления;

сумме затрат на его приготовление, хранение, транспортировку и внесение в почву;

стоимости прибавки урожая от его применения;

стоимости содержащихся в нем питательных элементов, выраженной в сопоставимых ценах промышленности на минеральные удобрения;

стоимости экскрементов, вычисленной по себестоимости кормов, перешедших в навоз, подстилки и затрат на его приготовление, хранение, транспортировку и внесение.

Иногда навоз оценивают (франко-почва) по сумме стоимости подстилки (себестоимости соломы и торфа) и расходов на его транспортировку и внесение.

Расчеты экономической эффективности применения мелиорантов проводят так же, как и удобрений. Разумеется, экономическая эффективность удобрений и мелиорантов непосредственно зависит от тех же факторов и условий, что и агрономическая их эффективность.

**Энергетическая эффективность (энергоотдача, или биоэнергетический КПД) удобрений.** Это отношение накопленной в прибавке продукции энергии ( $E_{\text{вых}}$ ) к суммарным энергетическим затратам на производство, транспортировку, хранение и внесение удобрений и на уборку, транспортировку, хранение, доработку и реализацию этой прибавочной продукции —  $E_{\text{вх}}$ :  $\text{КПД}_{\text{био}} = E_{\text{вых}}/E_{\text{вх}}$ .

Изучение энергоотдачи удобрений приобретает все большую актуальность в связи с возможным истощением запасов ископаемого топлива (нефти, газа, угля) и возрастающими затратами их и другой (удобрения, мелиоранты, машины, механизмы и т. д.) антропогенной энергии в интенсивных системах земледелия.

Благодаря использованию в процессе фотосинтеза энергии солнца растения производят всегда больше энергии в продукции, чем расходуют из окружающей среды. Для поддержания (1,0—2,0 %) и повышения (до 4 %) фотосинтетически активной радиации (ФАР) возделываемые культуры потребляют много антропогенной (технической) энергии в виде удобрений, мелиорантов, средств защиты растений, орошения (или осушения), тракторов, комбайнов и машин, ТЭС для них, электроэнергии, зданий, сооружений, коммуникаций и т. д. на всех этапах производства и реализации продукции.

В механизированном сельском хозяйстве различных стран биоэнергетический КПД удобрений в зависимости от природно-хозяйственных условий колеблется от 0,3 до 4,0 с тенденцией снижения с увеличением антропогенных энергозатрат. Минимальная энергоотдача из сельскохозяйственных отраслей наблюдается в животноводстве и тепличном растениеводстве. Например, в Нидерландах в 70-х годах энергоотдача (биоэнергетический КПД) составляла: в полевом растениеводстве 8,4, животноводстве 0,14 и в тепличном растениеводстве 0,12.

Оптимизация доз удобрений в конкретных природно-климатических условиях их применения максимально повышает оплату удобрений прибавками урожаев и использование растениями солнечной энергии, т. е. энергоотдачу производства растениеводческой продукции. Поэтому энергетическая оценка применения удобрений наряду с агрономической и экономической дает более емкое представление об эффективности их в конкретных условиях.

Обобщение Л. М. Державиным данных более 11 тыс. полевых опытов Агрохимслужбы с 17 основными культурами показало, что накопление энергии в прибавках хозяйственных и тем более биологических урожаев всех культур под влиянием минеральных удобрений (NPK) по всем опытам превышает затраты энергии на их применение. Максимальная энергоотдача отмечена у люцерны при орошении, которая в зависимости от почвенно-климатических условий по прибавке урожая сена составила 4,5—19,8, а биологической массы — 8,8—38,6.

В среднем по всем опытам биоэнергетический КПД применения удобрений под зерновыми колосовыми культурами составил: по прибавке зерна 1,29—1,76, хозяйственного урожая 2,97—4,47, биологической массы 3,44—5,12.

Во всех анализировавшихся опытах Агрохимслужбы биоэнергетические КПД применения удобрений от NPK, N, P и K по прибавке основной продукции составили соответственно: у озимой пшеницы 1,54; 0,82; 4,75; 4,77, озимой ржи 1,49; 0,86; 3,91; 4,91, яровой пшеницы 1,29; 0,70; 3,16; 3,83, ячменя 1,76; 1,02; 4,46; 5,99, кукурузы на зерно 1,87; 0,96; 5,46; 9,80, картофеля 2,20; 1,05; 5,87; 8,14, сахарной свеклы 1,95; 0,89; 5,27; 6,19, льна-долгунца 1,09; 0,64; 2,04; 1,89, а в среднем по всем культурам 1,19; 0,76; 1,83; 2,33.

Из приведенных данных видно, что максимальная энергоотдача от применения отдельных видов минеральных удобрений у большинства культур наблюдалась от калийных, затем фосфорных и минимальная от азотных удобрений. Однако по величине прибавок урожаев всех культур указанные виды удобрений располагаются в противоположном порядке, что обусловлено во много раз большими затратами энергии на производство азотных, чем фосфорных и калийных удобрений.

Полученные результаты свидетельствуют в целом о достаточно высокой энергетической эффективности применения удобрений под все исследовавшиеся культуры. В то же время видно, что энергоотдача от азотных удобрений под всеми, кроме ячменя и картофеля, культурами явно недостаточна. Следовательно, для улучшения этой ситуации по всем культурам требуется дальнейшее повышение эффективности прежде всего азотных удобрений за счет оптимизации их доз с учетом более глубокого изучения динамики его потребления, почвенной и растительной диагностики, дробного и локального внесения их в комплексе с химической мелиорацией, применения других макро- и микроудобрений, пести-

цидов, ретардантов, ингибиторов нитрификации и повышения общей культуры земледелия.

### Контрольные вопросы и задания

1. Сформулируйте определение, цель и задачи системы удобрения.
2. Чем различаются биологические особенности культур в потреблении питательных элементов?
3. Что такое вынос и затраты питательных элементов культурами, как их определяют?
4. Что общего и каковы различия в динамике потребления питательных элементов различных культур?
5. Перечислите почвенные показатели, влияющие на эффективность удобрений, и назовите пути регулирования их.
6. Какие вы знаете относительные и абсолютные показатели обеспеченности почв питательными элементами и как с их помощью корректируют дозы удобрений?
7. Назовите условия и масштабы колебаний коэффициентов использования питательных элементов почвы (КИП).
8. Что вы знаете о климатических факторах эффективности удобрений и способах их регулирования?
9. Какие агротехнические условия эффективности удобрений вы знаете?
10. Почему в севооборотах эффективность удобрений выше, чем в бессменных посевах?
11. Как вы понимаете зависимость эффективности удобрений от количества и качества их?
12. Что такое коэффициент использования удобрений и как его определить?
13. В чем достоинства и недостатки изотопных, разностных и балансовых коэффициентов использования удобрений?
14. Что вы знаете о классификации и методах определения оптимальных доз удобрений?
15. Каковы различия, достоинства и недостатки методов определения доз удобрений, основанных на обобщении данных полевых опытов с эмпирическими дозами удобрений?
16. Чем отличаются балансово-расчетные методы определения оптимальных доз удобрений между собой?
17. Что вы знаете о модификациях определения оптимальных доз удобрений с применением математики и электронной техники?
18. Каковы основные способы внесения удобрений и их роль в питании растений?
19. Меняется ли эффективность удобрений при разбросном и локальном, ежегодном и периодическом способах внесения их?
20. Влияют ли сроки внесения и глубина заделки удобрений на их эффективность?
21. Назовите обязательные материалы системы удобрения каждого агроценоза (севооборота).
22. Какова последовательность операций при разработке системы удобрения агроценозов?
23. Что общего в разработке системы удобрения при любой обеспеченности удобрениями?
24. Какова методика определения доз минеральных удобрений в агроценозе при очень ограниченных ресурсах их?
25. Как вы понимаете термины «минимальная», «оптимальная» и «максимальная» дозы удобрений?
26. Какова методика разработки общей схемы системы удобрения агроценоза при ограниченной (заданной или имеющейся) обеспеченности удобрениями?
27. Чем отличается методика разработки общей схемы системы удобрения агроценоза при неограниченных ресурсах удобрений?
28. Что такое баланс питательных элементов, как его определяют и выражают?
29. Как понимать утверждение, что баланс питательных элементов — это прогнозно-экологический показатель продуктивности культур и плодородия почв?
30. Какова методика определения оценки степени соответствия продуктивности культур количеству и качеству удобрений в конкретных почвенно-климатических условиях?
31. Как определить предельную максимально допустимую дозу удобрения под культурами?
32. Как определять затраты элементов на изменение обеспеченности почв ими?
33. Что вы знаете о балансе гумуса и возможности его регулирования?
34. Каковы причины и способы ежегодной коррекции доз удобрений в общей схеме системы удобрения?
35. Как распределяют в годовых планах по срокам и способам внесения и подбирают лучшие формы конкретных удобрений?
36. Что такое календарный план применения удобрений и зачем он нужен?
37. Когда и как корректируют дозы удобрений по результатам почвенной и растительной диагностики?
38. Что вы знаете об особенностях удобрения озимых и яровых зерновых культур?
39. Каковы особенности удобрения однолетних и многолетних бобовых культур?
40. Что вы знаете об особенностях удобрения крупных культур (гречихи, проса, риса)?
41. Расскажите об особенностях удобрения картофеля, сахарной свеклы.

42. Что вы знаете об особенностях удобрения кормовых корнеплодов? 43. Каковы особенности удобрения кукурузы? 44. Расскажите об особенностях удобрения прядильных культур (лен, конопля). 45. В чем особенности удобрения подсолнечника? 46. Каковы особенности удобрения капусты белокочанной и цветной? 47. В чем заключаются особенности удобрения огурца и томата? 48. Расскажите об особенностях удобрения столовых корнеплодов (свекла, морковь). 49. Каковы особенности удобрения лука при посадке семенами и луковичами (севком)? 50. Что вы знаете об особенностях удобрения многолетних трав на пастбищах и сенокосах? 51. Каковы особенности удобрения почв при закладке садов и ягодников? 52. Каковы различия удобрения молодых и плодоносящих садов и ягодников? 53. Каковы состав и дозы подкормок в садах и ягодниках? 54. Что вы знаете об удобрении культур в теплицах на почвогрунтах? 55. Каковы состав и свойства почвогрунтов? 56. В чем различия удобрения для производства рассады и товарной продукции? 57. Каковы особенности возделывания культур на твердых субстратах? 58. Что вы знаете о гидропонном возделывании культур? 59. Что такое аэропоника, каковы ее возможности? 60. Что вы знаете о технологии хранения, транспортировки и внесения минеральных удобрений? 61. Что такое агротехнические требования к качеству внесения удобрений? 62. Как определить агрономическую эффективность удобрений? 63. По каким показателям определяют экономическую эффективность удобрений? 64. Что вы понимаете под энергетической эффективностью удобрений и как она определяется?

---

## Глава 8

# ПОЛЕВЫЕ И ВЕГЕТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

●

### 8.1. ПОЛЕВЫЕ ОПЫТЫ С УДОБРЕНИЯМИ

*Полевой опыт* — исследования в полевой обстановке для установления действия удобрений на рост, развитие и урожайность культур, качество получаемой продукции и показатели плодородия почв. Это биологический метод изучения реакции возделываемых культур на испытываемые виды, дозы, сроки и способы применения удобрений в различных почвенно-климатических и агротехнических условиях, без точной характеристики которых результаты опыта не могут быть распространены на другие, аналогичные по указанным признакам территории. Эти обстоятельства обуславливают целесообразность и необходимость различного и обязательного сочетания в полевых опытах метеорологических, почвенных, биологических, химических, физико-химических и других методов исследований. Все это необходимо для определения типичности, точности, достоверности полученных результатов, возможности их распространения на другие территории, а также для квалифицированной трактовки результатов и выводов о потреблении растениями питательных элементов из почв и удобрений и баланса их, об изменении качества получаемой продукции и пищевого режима почв, агрономической, экономической и энергетической эффективности изучаемых факторов и т. д.

Результаты полевых опытов используют не только в науке, но и в практике для внедрения в сельскохозяйственное производство и определения объемов, видов и форм минеральных удобрений, мелиорантов и других химических средств, применяемых в сельском хозяйстве, а также машин и механизмов для качественного применения удобрений и мелиорантов.

По целям, задачам, месторасположению, длительности проведения, количеству изучаемых факторов и размеров делянок выделяют несколько видов полевого опыта.

**Полевые (лабораторно-полевые) опыты.** Проводят на специально выбранных участках (опытных полях) научно-исследовательских учреждений и хозяйств для углубленного познания действия отдельных факторов, приемов и комбинаций их на растения и почву с детальным разделением изучаемых условий и тесной взаимосвязью с другими методами исследований. Обобщенные результа-

ты таких опытов могут предназначаться для крупного района, региона или зоны, а размеры делянок в зависимости от целей, задач, техники закладки и проведения исследований обычно составляют до 100—250 м<sup>2</sup>.

**Производственные опыты.** Проводят с малым числом (2—3) вариантов в отдельных полях и севооборотах хозяйств с целью уточнения в конкретных почвенно-агротехнических и организационно-хозяйственных условиях результатов полевых и лабораторно-полевых опытов, для определения хозяйственной пригодности (агроэкономической эффективности) изучаемого (рекомендуемого) приема (условия). Размеры делянок здесь составляют от 500—1000 м<sup>2</sup> до 1—2 га и более, а результаты применимы для небольших районов с аналогичными природно-климатическими и организационно-хозяйственными условиями.

**Многолетние опыты.** Проводят в одном географическом пункте в течение 5—10 лет и более. При длительности 10—15 лет и более их называют *стационарными*. Цель их — учет действия изучаемых факторов при среднемноголетних и ежегодных погодных условиях; для качественного учета каждого метеоусловия (по влажности и температуре) их повторяемость должна быть не менее 3—4 лет. Многолетние опыты проводят при изучении влияния удобрений на растения и почву в севооборотах и в бессменных посевах: при учете действия и последствия удобрений и мелиорантов, при сравнительной эффективности отдельных видов (органические и минеральные, простые и комплексные, стандартные и новые), доз, форм, сроков и способов внесения удобрений, на одном или нескольких фонах, в сочетаниях и без других приемов (обработки почв, уходов за посевами и т. д.).

**Однолетние опыты.** Проводят ежегодно (даже при постоянной схеме) на новых участках, т. е. когда исследуемый фактор (условие) изучают только в течение одного вегетационного периода или действие изучаемого фактора не может быть длительным, например некорневая подкормка или обработка семян однолетних культур и т. д.

**Однофакторные (простые) опыты.** Содержат в схеме один изучаемый прием, условие или фактор на одном постоянном фоне.

**Многофакторные (комплексные) опыты.** Содержат в схеме два или более изучаемых приемов, условий или факторов разнокачественного (удобрения и пестициды, удобрения и орошение, удобрения и мелиоранты, удобрения, мелиоранты и пестициды и т. д.) или однокачественного (органические и минеральные удобрения в различных видах, комбинациях и т. д.) характера.

**Единичные опыты.** Проводят по разным схемам и программам в отдельных пунктах страны. Это большинство стационарных и длительных опытов научно-исследовательских учреждений и отдельные опыты в различных хозяйствах; последние нередко называют *эпизодическими опытами*.



**Массовые (географические) опыты.** Проводят по общей тематике, единым согласованным схемам и программам, допускающим обобщение полученных результатов с целью изучения влияния природных условий на эффективность того или иного приема, условия или фактора в пределах отдельных районов, областей, краев, регионов, зон и страны в целом для обоснованного планирования производства и распределения удобрений, мелиорантов, пестицидов и т. д.

Научно-методическое руководство Географической сетью опытов научно-исследовательских учреждений осуществляет ВИУА, а Агрохимслужбы Министерства сельского хозяйства РФ — ЦИ-НАО.

Основная задача Географической сети опытов — научное обоснование оптимальных доз, комбинаций, сроков и способов внесения удобрений и мелиорантов под отдельными культурами и в севооборотах по почвенно-климатическим зонам и административным регионам страны.

Основные задачи массовых опытов Агрохимслужбы — разработка рекомендаций и планов применения удобрений в хозяйствах и определение нормативов затрат удобрений на получение единицы прибавки урожая для уточнения потребности в удобрениях по культурам с учетом их размещения по регионам страны. Массовые опыты проводят сериями по 10 и более с единой схемой и программой в каждом, выделенном по ряду признаков (почва, история полей, культура, сорт, агротехника, метеоусловия) комплексе условий региона или зоны.

По размерам делянок опыты разделяют:

на производственные — от 500—1000 м<sup>2</sup> до 1—2 га и более;

полевые — в эпизодических опытах с культурами сплошного посева 50—100 м<sup>2</sup>, с пропашными 100—200 м<sup>2</sup>, в многолетних опытах 200—400 м<sup>2</sup>;

мелкоделяночные — 10—20 м<sup>2</sup>;

микрополевые — от 200—300 см<sup>2</sup> до 1—3 м<sup>2</sup>; на таких делянках обычно проводят опыты с применением стабильных изотопов (<sup>15</sup>N).

Существуют обязательные методические требования к качеству закладки и проведения полевого опыта любой модификации.

*Принцип единственного различия или тождества* всех условий, кроме изучаемого, предполагает выровненность природных условий и строгое соблюдение в каждом варианте всех агротехнических условий, принятых в схеме и программе опыта. Однако непродуманный и формальный подход к этому требованию может привести к неверным вариантам в схеме и, следовательно, к неправильным результатам. Например, эффективность фосфоритной муки нельзя сравнивать с эффективностью суперфосфата при внесении их весной перед посевом; хлориды и сульфаты калия нельзя сравнивать при возделывании чувствительных к хлору культур и т. д.

В длительных и стационарных опытах по истечении каждой ротации севооборота следует на основании полученных результатов вносить коррективы в схему и программу исследований, так как постоянство тождественных условий во времени нередко ограничивает действие (и взаимодействие) изучаемых факторов, приемов и условий.

При постановке новых многофакторных длительных опытов необходимо предусматривать введение параллельных повторных делянок (дубликатов) по важнейшим вариантам, чтобы в последующие ротации применять на них новые, более совершенные приемы.

*Типичность, или репрезентативность, полевого опыта* — это соответствие условий его проведения тем почвенно-климатическим (природным) и организационно-хозяйственным (агротехническим) условиям, в которых будут использовать его результаты.

Типичность почвы предполагает учет ее типа, подтипа и разновидности, гранулометрического состава, реакции, содержания гумуса, подвижных форм питательных элементов и других показателей, отражающих разнообразие и пестроту почвенного покрова. Для соблюдения типичности метеорологических условий опыт проводят в течение 3—5 лет и более, чтобы учесть изменение погоды в отдельные годы и в среднем за весь период.

В агротехническую типичность включают пригодность фона (или фонов: без навоза и с ним, без мелиорантов и с ними и т. д.) для изучаемых доз, видов и форм удобрений, подбор типичных культур и районированных сортов для зоны, лучших и типичных предшественников, строгое соблюдение зональной агротехники и т. д.

*Точность количественных результатов* (величина урожая, качество получаемой продукции, агрохимические показатели почвы, агрономическая, экономическая и энергетическая оценки эффективности и др.) — объективный показатель эффективности изучаемого в опыте приема, условия или их сочетаний.

Степень соответствия истинных и полученных в опыте результатов определяет точность и ошибки (погрешности) опыта, причем последние имеются в любом опыте по следующим причинам:

из-за ошибки в измерениях, обусловленной неточностью инструментов и приборов: чем меньше делянка, тем точнее должны быть измерения и взвешивания;

из-за пестроты почвенного покрова, рельефа и микрорельефа и неодинаковой предшествующей истории, с учетом которой определяют форму и размеры делянок, их расположение и число повторностей в опыте;

из-за случайных ошибок — огрехов и просеивов при закладке, поврежденных растений и потерь урожая и др.; для их устранения применяют выбраковку делянок или выключку частей их, подвергшихся случайному повреждению.

Точность опыта определяют путем математической обработки результатов его методами вариационной статистики. В многолетних и стационарных опытах необходима большая точность, чем в краткосрочных и однолетних опытах.

Достоверность опыта тесно связана с его точностью, но не идентична ей. Различают достоверность опыта по существу, т. е. соответствие поставленным целям и задачам исследований, и достоверность, или существенность, результатов опыта.

Критический анализ обоснованности схемы и программы (соответствие их задачам исследований), результатов соответствующих наблюдений и учетов, методики и техники закладки и проведения опыта дает оценку достоверности его по существу.

*Достоверность результатов* — это математически (статистически) доказанная разница между сравниваемыми вариантами опыта, позволяющая установить границы случайных и существенных различий между ними. Поэтому статистическая обработка результатов опыта является обязательным звеном методики его проведения, дающим объективную оценку его точности, которая всецело зависит от методики постановки и тщательности проведения всех работ.

Полная, точная и объективная документация определяет ценность всех результатов полевого опыта (для внедрения в производство, воспроизведения в аналогичных и близких условиях и др.). По каждому опыту должна иметься первичная документация — *дневник полевых работ* с хронологическими записями всех данных характеристики опытного участка, всех работ, наблюдений, учетов и измерений. Все записи делают во время проведения соответствующих работ. *Журнал полевого опыта* — основной сводный документ, в который переносят все записи из дневника, результаты всех анализов, обработок и других проводимых работ.

### 8.1.1. ПОСТРОЕНИЕ (РАЗРАБОТКА) СХЕМ ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ

*Схема опыта* — это совокупность всех сравниваемых между собой вариантов, причем одни из них содержат изучаемые приемы, а другие (контрольные или стандартные) служат для сравнения с первыми.

*Вариант опыта* — это совокупность принятых приемов возделывания растений, осуществляемых на всех повторениях (повторных делянках) этого варианта.

*Опытная делянка* — элементарная составная часть опыта, на которой осуществляют все приемы возделывания растений, принятые для данного варианта во всех повторениях.

Если невозможно или нецелесообразно изучение отдельных агротехнических приемов, вариантом опыта может быть весь комплексный прием в целом, а не отдельная его часть. В схеме, про-

грамме и при опубликовании результатов таких опытов следует подчеркивать комплексность изучаемого приема. Сравнение между собой комплексных приемов нельзя квалифицировать как нарушение принципа единственного различия, так как это сравнение проводится при тождестве прочих условий, которые не являются составными элементами сравниваемых агрокомплексов. Такие сравнения нередко проводят при определении оптимальных доз и соотношений удобрений, изучении сроков и способов внесения их, сочетаний с другими средствами химизации и т. д.

Первым обязательным условием результативности опытной работы является точная формулировка цели и задач опыта с указанием конкретных условий его проведения, т. е. разработка целенаправленной схемы опыта и программы исследований. На этом этапе не должно быть ошибок, устранение которых в последующем невозможно, поэтому все планирование эксперимента должно быть детально, неоднократно и критически проанализировано.

Варианты схемы должны отличаться изменением того условия, действие которого и является задачей сравнения; все другие условия должны быть одинаковыми. Если изучаемое условие связано с изменением других условий, то в схему вводят дополнительные варианты для определения влияния изменившихся условий. Например, с увеличением доз удобрений возрастает не только обеспеченность растений элементами, но и концентрация почвенного раствора с возможным изменением реакции среды. Нужно разработать такую схему, которая обеспечила бы интенсивное питание растений без отрицательных сопутствующих факторов.

К фактору единственного различия необходимо добавить фактор обстоятельности схемы опыта, т. е. растения должны быть чувствительны к изменениям изучаемого фактора. Например, для определения усвояемости элемента из разных форм удобрений нужно, чтобы растения вообще реагировали на внесение данного элемента. Если этого не будет, можно сделать вывод только об отсутствии действия данного элемента, а об испытывавшихся формах удобрений сказать будет невозможно.

Варианты, с которыми сравнивается изучаемое условие, называют *контрольными*, а вариант без удобрений — *чистым* или *абсолютным контролем*. Правильно выбранные контрольные варианты опыта — отличительный признак научного эксперимента. Общее число вариантов схемы должно быть минимальным, но достаточным для полного и четкого ответа на сформулированные цель и задачи исследований.

Пример простейшей схемы опыта — это два варианта: контроль без удобрений и удобряемый вариант.

В схемах с видами удобрений контрольными могут быть чистый контроль и фоновый вариант. В схемах по изучению действия трех видов удобрений контрольными являются чистый контроль и вариант без изучаемого удобрения. Классическая ортогональная

схема состоит из 8 вариантов: 0, N, P, K, NP, NK, PK и NPK. Нередко ее сокращают до 5 вариантов: 0, NP, NK, PK и NPK или до 4 вариантов (без чистого контроля). На почвах, богатых одним элементом, применяют укороченные схемы. Например, если известно, что калий не действует, применяют схему 0, N, P, NP и NPK.

При изучении *новых форм удобрений* полная схема опыта может иметь следующий вид: контроль (без удобрений), основное удобрение (фон); фон + 0,5 дозы стандартного удобрения (с. у.); фон + 0,75 дозы с. у.; фон + 1,0 доза с. у.; фон + 1,0 доза первой испытываемой формы; фон + 1,0 доза второй испытываемой формы и т. д.

В опытах со *сложными (комплексными) удобрениями* может быть следующая схема: без удобрений или фон; сложное удобрение; эквивалентные количества односторонних стандартных удобрений; сложное + одностороннее стандартное удобрение для получения оптимальных доз питательных элементов; эквивалентные предыдущему варианту количества элементов односторонних стандартных удобрений. Такая схема наряду со сравнительной эффективностью сложных и эквивалентных смесей стандартных удобрений позволяет уточнить соотношения элементов в сложном удобрении для испытываемых культур в конкретных почвенно-климатических условиях.

Схемы опытов для определения *оптимальных доз удобрений* в зависимости от целей и задач разрабатывают двумя принципиально разными подходами: эмпирически и расчетными методами.

**Эмпирический метод (метод проб и ошибок).** Применяют, когда требуется определить, какая доза в конкретных условиях обеспечивает максимальную урожайность, или максимальную оплату удобрений прибавками урожая, или какая доза является хозяйственно наиболее выгодной, или если нужно получить кривую изменения урожая при возрастании доз удобрений. Для этого в схеме наряду с контролем без удобрений должны быть 3—4 дозы, причем интервалы между ними делают достаточными, чтобы прибавки урожая от соседних доз могли различаться на величину, превосходящую ошибку опыта.

Испытанные на одном фоне дозы удобрений, как правило, не подходят на другом. Например, оптимальные дозы фосфора на фоне азотных удобрений будут одни, без азота — другие, на фоне орошения — одни, без него — другие и т. д. Поэтому однофакторные опыты с дозами отдельных удобрений, естественно, переходят в многофакторные, комплексные по изучению соотношений питательных элементов при разных дозах и насыщенности удобрениями.

В многофакторных опытах наиболее правильным, точным и достоверным является ортогональное построение схемы, содержащей всевозможные сочетания всех изучаемых факторов. Например, при изучении трех видов удобрений (NPK) в трех дозах и трех

соотношениях в схеме должно быть 27 вариантов ( $3 \cdot 3 \cdot 3$ ). При 27 делянках в одном повторении очень трудно исключить пестроту почвенного плодородия при закладке опыта в 3—4-кратной повторности, поэтому опыт получается недостаточно точным. Для уменьшения ошибки опыта используют метод звеньев, или расщепленных делянок. Например, при комплексном изучении шести азотных форм или доз, двух фосфорных и трех калийных комбинаций удобрений в ортогональной схеме в каждом повторении должно быть 36 вариантов ( $6 \cdot 2 \cdot 3$ ). Если все 6 ( $2 \cdot 3$ ) комбинаций фосфора с калием разместить как бы в одной делянке и на ней же поперек всех этих комбинаций наложить 6 азотных форм или доз удобрений, получим звено опыта, в котором есть все варианты схемы, т. е. одну полную повторность, рядом с которой аналогичным образом можно разместить еще 2—3 повторности этого опыта. При таком размещении повышается точность сравнения вариантов внутри каждого звена опыта.

С увеличением видов, доз, форм удобрений и других факторов (сортов, мелиорантов, орошения, способов обработки почв и т. д.) количество вариантов ортогональных схем опытов резко возрастает. Например, при изучении тех же комбинаций минеральных удобрений ( $6 \cdot 2 \cdot 3$ ) на фоне извести и без нее число вариантов в схеме возрастает в 2 раза ( $6 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2$ ) и составит уже 72, а если добавить еще два разных фона обработки почвы — еще в 2 раза и составит 144 варианта и т. д.

Проведение опыта с таким числом вариантов в схеме становится невозможным, поэтому возникает необходимость сокращения схемы по принципу выборок или синтетического опыта путем выбора из общей схемы только части вариантов, равномерно охватывающих всю область изучаемых доз, комбинаций, форм и сочетаний удобрений с другими факторами. Подобное нарушение ортогональности, естественно, приводит к уменьшению достоверности выводов по полученным результатам.

Упрощенные ортогональные схемы комплексных опытов содержат обычно варианты с тремя дозами каждого элемента на фоне одной комбинации двух остальных. При этом можно выявить влияние на культуру четырех степеней обеспеченности любым из изучаемых элементов: без удобрений, при 1, 2 и 3 дозах вносимых удобрений. При размещении блоками по такой упрощенной схеме в опыте может быть 15—16 вариантов, тогда как при ортогональной схеме их было бы 64 ( $4 \cdot 4 \cdot 4$ ).

Расчетные методы. Используют при разработке схем опытов для определения доз и соотношений удобрений с целью получения плановых (программируемых) уровней урожаев сельскохозяйственных культур желаемого качества. Основу определяемой дозы удобрений здесь составляют биологические потребности в питательных элементах культур и сортов для создания планируемого уровня и качества получаемой продукции в конкретных при-

родно-экономических условиях, которые далее трансформируются в дозы удобрений разными методами, подробно описанными в предыдущей главе.

Схемы таких опытов в зависимости от цели и задач исследований состоят из 5—8 вариантов, причем во всех вариантах, кроме контрольного, изменение доз и соотношений удобрений обуславливается уровнями и качеством планируемой продукции при постоянных коэффициентах использования элементов из удобрений и почвы или вариациями коэффициентов при одном плановом уровне и качестве продукции. Если нужно, изменяют те и другие, но тогда схемы усложняются, превращаются в многофакторные и могут содержать гораздо больше вариантов.

Результаты опытов с дозами удобрений позволяют оценить степень пригодности лабораторных методов для установления нуждемости культур в удобрениях с одновременным уточнением результатов анализов почв по обеспеченности подвижными формами элементов для разных культур в конкретных почвенно-климатических и агротехнических условиях.

*Сравнение действия органических и минеральных удобрений* изучают в длительных опытах при внесении их в эквивалентных дозах по элементам, содержащимся в испытываемой дозе органических удобрений. Полная схема такого опыта должна кроме контрольного содержать и дополнительные варианты: внесение минеральных удобрений в нормальном (оптимальном) соотношении и органических удобрений с добавлением минеральных в количестве и соотношениях, эквивалентных предыдущему варианту.

Для выявления роли органического вещества в навозе (и других органических удобрениях) С. В. Шербой предложена схема, в которой возрастающие дозы минеральных удобрений вносят на фоне навоза и без него. По характеру кривых увеличения урожая (прибавок) определяют, чем оно вызвано: наличием элементов в навозе и минеральных удобрениях или действием органического вещества и другими свойствами (щелочность, буферность, микрофлора и др.) навоза.

Для определения усвоения азота навоза А. В. Соколов предложил сравнивать действие его с возрастающими дозами азота на достаточном фосфорно-калийном фоне. Аналогично можно выстраивать схемы по изучению эффективности и других питательных элементов органических удобрений.

*Эффективность совместного применения органических и минеральных удобрений* можно изучать по схеме: контроль без удобрений; навоз; NPK (полная, оптимальная доза); навоз (0,5 дозы) + NPK (0,5 дозы); навоз — 0,5 дозы; NPK — 0,5 дозы.

При изучении *техники внесения удобрений* контрольными являются варианты без удобрений и с обычным (стандартным) способом (техникой) внесения их. Так как многие способы внесения дают эффект при определенных дозах, обязательным является ус-

тановление такой дозы. Не следует забывать и о дополнительных контрольных вариантах внесения удобрений. Например, при глубокой заделке удобрений нужен еще контроль с такой же обработкой без удобрений.

*Сроки внесения удобрений* при одной дозе их изучают в зависимости от целей и задач исследований по разным схемам. Например, без удобрений, осенью, весной, в период вегетации. При изучении дробного внесения удобрений следует использовать схему: без удобрений; полная доза до посева; часть дозы до посева, другая — при посеве или в подкормку; часть дозы до посева, другая — при посеве, остальная — в подкормку.

Результаты опытов с подкормками зависят от способов внесения основного удобрения и подкормки, и нередко различия способа, а не времени внесения определяют разницу в эффективности изучаемых вариантов.

При сравнительном изучении *гранулированных и порошковидных форм удобрений* в схемах следует предусматривать равенство доз и тождество способов внесения. Здесь важно определить, что обеспечивает эффект: форма или изменение способа внесения, так как в первом случае надо рекомендовать гранулирование удобрения, а во втором — производство машин и орудий для лучшего способа внесения обычных удобрений. Поэтому схема при одинаковой дозе должна быть следующей: без удобрений; гранулированная форма вразброс; порошковидная вразброс; гранулированная локально; порошковидная локально.

Разработка схем каждого опыта с удобрениями, сортами, севооборотами и т. д. имеет специфические особенности, обусловленные целью и задачами исследований, методикой размещения опытов в пространстве и статистической обработкой их результатов. Поэтому реальная схема — это синтез разных требований и возможностей. Возможности не всегда удовлетворяют требованиям, поэтому приходится сокращать число вариантов, но в опытной работе лучше сделать меньше, но хорошо. При сокращении числа вариантов следует помнить, что, исключая контрольные варианты, исследователь выбрасывает и результаты научного изучения.

### 8.1.2. ПРОГРАММА, ТЕХНИКА ЗАКЛАДКИ И ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ

Содержание программы, так же как и схемы, опыта зависит от цели и задач исследований и должно предусматривать все условия (почвенно-климатические, агрохимические, фенологические, агротехнические и т. д.), методы (отбора проб и анализов почвы и растений, учета урожая, статистической обработки результатов и т. д.) и сроки проведения всех работ, имеющих значение в решении поставленных цели и задач исследований и в получении точных и достоверных выводов.



При выборе участка для закладки опыта важно, чтобы по рельефу, почвенным условиям и предшествующей истории он был наиболее однородным и типичным для тех зон и регионов, на которые предполагается распространять результаты опыта.

*Рельеф участка* должен быть выровненным — ровное плато или равномерный односторонний склон с уклоном 1—2,5 м на 100 м длины без замкнутых понижений (западин, блюдца), бугорков и свально-развальных борозд. При размещении на склоне все деланки опыта должны быть равномерно вытянуты в одну сторону вдоль склона, чтобы по обеспеченности влагой, питательными элементами и освещенности они находились в равных условиях. По этой же причине опытный участок нельзя размещать на склонах разных крутизны и экспозиции.

Для стационарных опытов нивелировку участка проводят с нанесением горизонталей на почвенную карту через 0,1—0,2 м, а для краткосрочных — через 1,0 м или ограничиваются глазомерным определением направления и крутизны склона.

*Почвенные условия* участка определяют по почвенной карте, для полной характеристики которой проводят необходимые обследования и анализы. Детализация почвенного обследования опытного участка зависит от пестроты почвенного покрова и размера деланок. Для длительных опытов проводят наиболее тщательное обследование почв, причем исходные образцы почвы сохраняют для контроля за изменением свойств ее под влиянием удобрений и других изучаемых факторов.

*Предшествующая история участка* необходима для соблюдения принципа единственного различия и типичности опыта и определяется по Книге истории полей и другим имеющимся материалам.

В последние 3—4 года опытный участок должен иметь одинаковые агротехнические условия (чередование культур, удобрение их, обработка почвы и т. д.). Особо важно однообразие приемов мелиорации, запасного применения органических и минеральных удобрений, углубления пахотного горизонта, посевов многолетних бобовых и т. д. Сильная и неравномерная засоренность участка должна быть предварительно устранена, иначе это скажется на результатах опыта.

Предшествующая история чрезвычайно важна и при закладке опытов в производственных условиях, где участок не подвергают специальной подготовке, применяемой на опытных полях.

*Случайные факторы* также могут нарушать однородность участка и точность результатов опыта. На участке не должно быть следов земляных работ, засыпанных ям и канав, воронок, раскорчевок, остатков строений, стоянок скота, бывших токов, площадок перегрузки и хранения удобрений и мелиорантов, грунтовых дорог и т. д.

Размещать опыты следует на расстоянии не менее 200 м от

водоемов, 40—50 м от построек и леса, 25—30 м от отдельных деревьев, 10—20 м от дорог и 10 м от плотных изгородей.

Требования к выбору опытного участка по однородности и типичности не всегда совпадают, поэтому в каждом конкретном случае нужно согласовывать их, поступаясь в допустимых пределах тем или иным.

**Подготовка участка для опыта.** Это уравнильные и рекогносцировочные посевы на нем в течение одного или более лет до закладки опыта.

**Уравнильный** — это сплошной посев одной культуры на участке в течение 2—3 лет с тщательным и однообразным проведением всех работ на высоком агротехническом фоне, согласованном со схемой и программой предстоящего опыта.

Уравнильные посевы — это прием борьбы с засоренностью и ликвидации пестроты плодородия участка, вызванной предшествующими приемами агротехники с коротким последствием. Тщательный осмотр уравнильных посевов по росту и развитию растений позволяет выбрать для опыта наиболее выровненную часть участка.

**Рекогносцировочный** — это последний уравнильный посев, но с обязательным дробным учетом урожая. Чем меньше площадь элементарной делянки при дробном учете урожая, тем полнее учет пестроты участка и больше возможность выбора оптимальных величин, формы и расположения делянок будущего опыта.

Результаты дробного учета по равным (близким) величинам урожая делят на группы и придают им на схематическом плане определенную окраску (штриховку). Затем выделяют наиболее однородные участки для расположения на них самостоятельных опытов, отдельных повторений или комбинированных делянок одного опыта.

Другой путь — обработка результатов дробного учета методами *вариационной статистики*. Для вариационных рядов из элементарных и средних урожаев комбинированных (по величине, форме и направлениям) делянок вычисляют статистические характеристики: среднее (стандартное) квадратичное отклонение ( $\sigma$ ), вариационный коэффициент ( $V, \%$ ) и относительную ошибку средней, или точность опыта ( $m, \%$ ). Зная вариационный коэффициент и желая иметь заданную точность, находят необходимое число повторений ( $n$ ) в опыте по формуле  $n = (V/m)^2$ .

Рекогносцировочные посевы — обязательный прием при постановке многолетних стационарных опытов.

**Размер делянки.** Зависит от целей, задач, степени и характера пестроты плодородия почвы, возделываемых культур, агротехники и требований к точности опыта. Различают опытную (посевную) и учетную площади делянок. *Опытная* — это площадь, на которой проводят все операции в соответствии с программой исследований, *учетная* — с которой учитывают урожай; она меньше по-

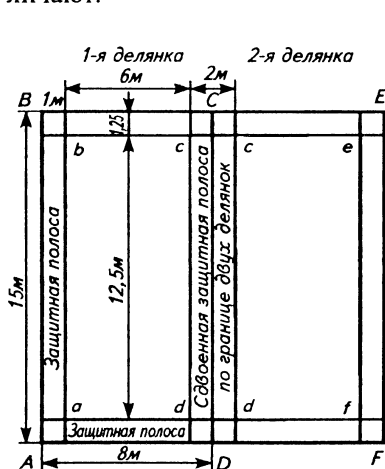
севной из-за выделения по ее краям защитных полос (рис. 22). *Защитные полосы* необходимы для исключения краевого влияния удобрений и соседних растений на урожай. Ширина защитной полосы в однолетних опытах с культурами сплошного посева не менее 0,75 м, а в многолетних — не менее 1 м, для пропашных культур — соответственно не менее 1 и 2 рядов. Для разворотов и в целях защиты от потрав и повреждений с концов делянок на границах участка выделяют защитные полосы шириной не менее 10 м.

**Форма делянки.** Может быть в виде вытянутого прямоугольника или близкой к квадрату, первая гарантирует большую точность, так как полнее охватывает пестроту участка. Отношение длины к ширине должно быть не более 10, иначе значительно возрастет площадь защитных полос, которая должна быть не более 25 % площади опытного участка.

**Повторность опыта.** Это повторное расположение каждого варианта на нескольких делянках; оно оказывает большое влияние на точность опыта. Чем меньше делянка, тем больше должна быть повторность опыта: при делянках 10—20 м<sup>2</sup> не менее 6—8-кратной, 50—100 м<sup>2</sup> не менее 4—6-кратной, в стационарных опытах не менее 4-кратной. В рекогносцировочных, демонстрационных и производственных опытах применяют 2—3-кратную повторность.

**Число вариантов в опыте.** Определяется целью и задачами исследований и считается нормальным при наличии не более 8—12 вариантов. При увеличении числа вариантов необходимо увеличить повторность контрольных вариантов. В многофакторных опытах следует стремиться к размещению вариантов методом расщепленных делянок или звеньев (блоков).

По размещению целых повторений опыта различают:



*однорядное расположение* (рис. 23, а) — применяют при малом числе вариантов и при изучении техники внесения удобрений;

*двух- и многорядное расположение* (рис. 23, б, в) — удобнее при большом числе вариантов и повторений и небольших делянках укороченной формы.

По размещению вариантов в каждом повторении различают:

Рис. 22. Опытная и учетная площади делянок и защитные полосы:

ABCD и DCEF — опытные делянки; abcd и dcef — учетные делянки

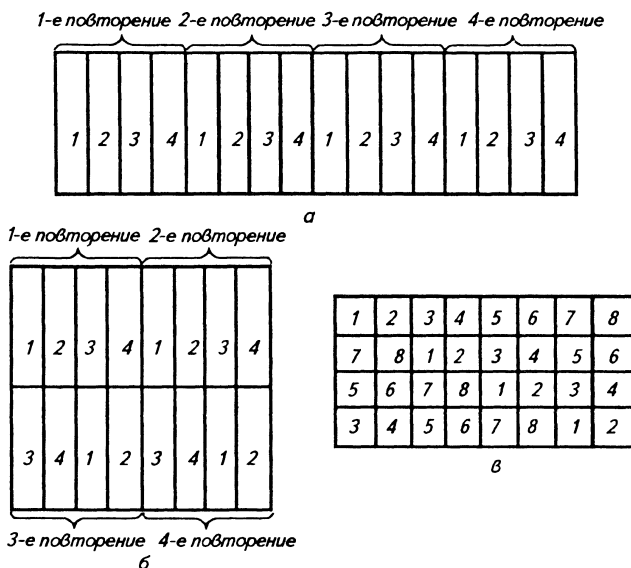


Рис. 23. Различные способы расположения делянок:

а — однорядное последовательное; б — двухрядное; в — многорядное ступенчатое

*систематическое*, т. е. в определенном порядке, например, последовательно (см. рис. 23, а), ступенчато или другим способом, допуская сближение одноименных вариантов не менее чем через два других в вертикальном и горизонтальном направлениях (см. рис. 23, б, в);

*случайное* (рэндомизированное) — расположение вариантов по жребию или по специальным таблицам случайных чисел методами случайных блоков (повторений) или латинским квадратом. Число блоков равно числу повторений, а в каждом блоке варианты располагают по жребию. В латинском квадрате число повторений равно числу вариантов, причем число последних здесь обычно от 4 до 7, а размещение их может быть случайным и ступенчатым.

Перед закладкой опыта в дневнике и журнале опыта составляют схематический план его с указанием всех размеров: длины, ширины делянок, защитных полос, дорог — с обозначением расположения вариантов и повторений (рис. 24). По этому плану закладывают опыт в натуре и фиксируют («привязывают») его на местности с помощью постоянных ориентиров (репер, дерево, столб и т. д.), расстояния от которых до опытного участка отмечают на плане. Многолетние опыты «привязывают» по двум основным линиям границ участка.

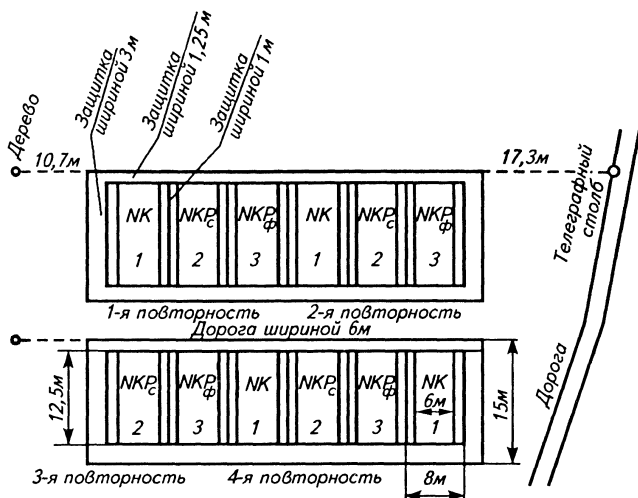


Рис. 24. План полевого опыта

**Разбивка и фиксация опытного участка в натуре.** Их осуществляют в соответствии со схематическим планом и с точным соблюдением всех требований методики опытного дела:

провешивают длинную сторону участка с помощью вешек-шестов высотой 2,0—2,5 м (всего их надо 4—5 шт.), натягивают шнур и по этой линии мерной лентой отмеряют короткие стороны нужного числа делянок, вбивая колышки длиной 35—40 см (всего их нужно вдвое больше, чем число делянок в опыте);

угломерными инструментами (буссоль, гониометр, теодолит или зеркальный эккер) восстанавливают перпендикуляр к длинной стороне в углу крайней делянки, провешивают по нему линию и отмеряют по ней длинные стороны делянок, в конце крайней из них вновь восстанавливают перпендикуляр и по нему провешивают и измеряют вторую длинную сторону участка и т. д.

Противоположные стороны опытного участка при правильно восстановленных перпендикулярах равны между собой, поэтому отклонение периметра участка при разбивке опыта не должно превышать 5—10 см на каждые 100 м.

Для установления границ делянок и всего участка в продолжение одной-двух сторон его в оба конца на определенном (указанном на плане) расстоянии нужно иметь фиксированные ориентиры — реперы.

**Подготовка и внесение удобрений.** Это очень ответственные операции, так как допущенные при этом ошибки впоследствии

нельзя исправить и обнаружить. Необходимое количество (дозу) каждого удобрения определяют по формуле

$$x = ac/(100b),$$

где  $x$  — доза удобрения, кг на делянку;  $a$  — доза питательного элемента, кг/га д. в. (по схеме);  $c$  — площадь опытной делянки, м<sup>2</sup>;  $b$  — содержание действующего вещества в удобрении, %.

Навески менее 1 кг взвешивают с точностью до 1 г, от 1 до 10 кг — до 10 г и более 10 кг — до 100 г. Взвешивают удобрения в лаборатории или в поле. Техника внесения удобрений (сеялками или вручную) должна обеспечивать наиболее равномерное распределение их по каждой делянке, причем вносить удобрения можно раздельно или, соблюдая правила смешивания, в смешанном виде.

Все агротехнические работы (обработка почвы, посев, посадка, уход за растениями и т. д.) кроме изучаемого фактора на всех делянках опыта должны проводиться одновременно и высококачественно, так как нарушение принципа единственного различия станет причиной утраты достоверности опыта по существу.

**Специальные работы на опыте.** Это фиксация защитных полос после всходов культур сплошного посева, поддержание в чистоте дорожек (дорог) и запольных участков, расстановка этикеток по делянкам, отбор образцов растений и почв в соответствии с программой, фенологические и метеорологические наблюдения, подготовка к учету урожая и др. с обязательными соответствующими записями в дневнике и журнале опыта. Постоянное наблюдение за сохранностью и состоянием посевов, этикеток, дорожек следует проводить не реже 2 раз в месяц и все замеченные недостатки (неполадки) фиксировать в дневнике, а при возможности устранять.

**Фенологические наблюдения от посева до уборки урожая культур.** Они позволяют обнаружить любые воздействия, не сохраняющиеся до учета урожая, и искать причины их затухания. Все различия в развитии растений на делянках надо охарактеризовать конкретно и по возможности количественно; все количественные учеты проводят в соответствии с программой исследований в 3—5-кратной повторности на 2—4 повторениях опыта.

**Исследование почвенных условий.** Это обязательная работа не только перед закладкой, но и в процессе проведения полевого опыта в разные промежутки времени в зависимости от задач и программы исследований. Методически более правильно сравнивать результаты анализов с исходными данными этой же почвы по каждому варианту, а не только с данными контрольных вариантов. Число индивидуальных проб для смешанного образца с делянки зависит от размеров делянки, определяемого показателя и возможной точности анализа. Для малых делянок (до 20 м<sup>2</sup>) его составляют не менее чем из 5 индивидуальных проб, для средних (20—100 м<sup>2</sup>) — из 10—15 и для более крупных (> 100 м<sup>2</sup>) — не менее

чем из 20 проб. Иногда образцы отбирают не со всех, а с некоторых, но не менее чем с двух несмежных повторений опыта.

При необходимости учета массы корней с каждой делянки рендомизированно отбирают 4—10 монолитов размером 25 × 25 см (на желаемую глубину) и отдельно в каждом из них отмывают, высушивают и взвешивают корни.

**Подготовка к учету урожая.** Заключается в удалении растений с тех частей делянок и опыта, которые не поступают в учет (защитные полосы, выключки и выбракованные делянки).

**Выключки** (если повреждено не более 50 % учетной площади) и **выбраковки** (если повреждено > 50 %) делают с учетом предыдущих наблюдений и записей только в том случае, если есть объективные данные, объясняющие случайность повреждения, вымочку, ошибку в работе и т. д., изменившие урожайность делянки или части ее. Выключки для удобства делают прямоугольными и кратными 0,1—0,5 площади делянки.

На каждой учетной делянке с пропашными культурами подсчитывают (и заносят в дневник и журнал) количество кустов или корней для внесения в дальнейшем поправок на недостающие растения.

**Учет урожая.** Осуществляют двумя методами:

**сплошной (прямой)** учет урожая наиболее точен, прост и надежен: убранный (машинами или вручную) массу урожая (с разделением на основную и побочную продукцию) с каждой делянки взвешивают в поле, результаты записывают в дневник по форме 1. При этом отбирают образцы основной и побочной продукции с соответствующими этикетками для определения влажности и последующих пересчетов урожая на стандартную влажность и необходимых показателей качества продукции;

### 1. Форма записи при сплошном учете урожая

| № делянки | Вариант опыта | Учетная площадь, м <sup>2</sup> | Урожай с делянки, кг |                 |                | Коэффициент пересчета на 1 га | Урожай, т/га |                 |                |
|-----------|---------------|---------------------------------|----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------|-----------------|----------------|
|           |               |                                 | общей массы          | зерна (клубней) | соломы (ботвы) |                               | общей массы  | зерна (клубней) | соломы (ботвы) |

**косвенный (по пробному снопу)** учет урожая проводят по делянкам так же, как при сплошном учете, но после взвешивания общей массы урожая с каждой делянки отбирают 2—4 пробных снопа массой не менее 1 % общего урожая, которые взвешивают с точностью до 10 г, снабжают этикеткой с указанием опыта, номера делянки, массы снопа и времени уборки и отправляют на сушку. Результаты всех взвешиваний заносят в дневник прямо в поле. Просушенные до постоянной массы пробные снопы вновь взвешивают до и после обмола та с точностью до 1—5 г, отбирают образцы продукции для определения влажности (с последующим пе-

ресчетом на стандартную) и показателей качества продукции. Все результаты записывают в дневник и журнал опыта по форме 2.

## 2. Форма записи при учете урожая по пробному снопу

| № делянки | Вариант опыта | Учетная площадь на делянке, м <sup>2</sup> | Сырая масса в поле, кг |                | Коэффициент пересчета пробного снопа на делянку | Сухая масса пробного снопа, кг |       |        | Урожай на делянке, кг |       |        | Коэффициент пересчета на 1 га | Урожай, т/га |       |        |
|-----------|---------------|--|------------------------|----------------|---|--------------------------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|-------------------------------|--------------|-------|--------|
|           |               |  | с учетной делянки      | пробного снопа |   | общая                          | зерно | солома | общий                 | зерно | солома |                               | общий        | зерно | солома |

Особенность *учета урожаев пропашных культур* заключается в применении поправок на изреживание, которые возможны, если оно не связано с изучаемым фактором и не превышает 20—30 % учетной площади. При этом обязательны удаление перед учетом всех растений, граничащих с пустыми местами в рядах, и учет только нормальных (средних) растений. По средней массе одного среднего растения, умноженной на нормальное число их, определяют *истинный урожай* на делянке.

*Учет урожаев прядильных культур* (лен, конопля и др.) можно проводить любым методом, но при определении выхода волокна масса пробного снопа (или образца) должна быть не менее 30 кг. Солому и семена этих культур после обмолота взвешивают отдельно (повторно).

Все другие методы учета урожаев (пробные площадки, отдельные растения и т. д.) сокращают учетную площадь делянок, поэтому дают приближенные результаты, что снижает точность исследований.

*Статистическая (математическая) обработка результатов учета урожаев* в опытах — обязательный прием объективной оценки исследовавшихся факторов и условий и последующих расчетов агрономической, экономической и энергетической эффективности любого из них.

### 8.1.3. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОПЫТЫ И УЧЕТ ДЕЙСТВИЯ УДОБРЕНИЙ В ХОЗЯЙСТВАХ

Успех опытной работы в хозяйстве зависит от четкой ее организации и строгого соблюдения методики и техники проведения. В зависимости от культуры и принятой в хозяйстве технологии ее возделывания должен быть сугубо конкретный подход к выбору техники и методики проведения каждого производственного опыта.

Выбор участка под опыт зависит от возможности одновременного выполнения всех работ по вариантам с сохранением приня-



той агротехники и с максимальной механизацией всех операций по закладке, проведению опыта и учету урожаев. Уровень почвенной и хозяйственной однородности опытного участка определяют по почвенной карте и агрохимическим картограммам (паспортам), Книге истории полей и по состоянию посевов на нем. Делянки располагают вдоль или поперек поля; границы их фиксируют кольями (вешками) и «привязывают» к постоянным ориентирам за полем. Длина делянок равна длине или ширине поля, а ширина кратна ширине захвата машин (не менее двух) для внесения удобрений и уборки урожая. Схемы опытов короткие — 2—4 варианта, повторность 3-кратная. Программой опыта предусматривают проведение сопутствующих наблюдений и учетов.

Данные урожая с учетом влажности и засоренности (загрязненности) пересчитывают на стандартную влажность и 100%-ную чистоту и подвергают обработке методами вариационной статистики, с учетом которых определяют агрономическую и экономическую эффективность изученных приемов, условий и факторов.

Наряду с производственными опытами можно (и важно) учитывать эффективность удобрений в хозяйственных посевах любых культур. Для этого на удобряемых полях оставляют неудобренные (контрольные) участки (полосы), которые располагают в строгом направлении движения машин при внесении удобрений и уборке урожая. Ширина контрольных полос должна быть кратной ширине захвата машин (не менее двух) для внесения удобрений и уборки урожая, а длина — длине поля. Границы полос выделяют кольями (вешками) и «привязывают» к постоянным ориентирам вне поля.

Площадь контрольной полосы для культур сплошного посева должна быть не менее 0,25 га, для пропашных — не менее 0,1 га. Посев (или посадку) растений и все последующие операции проводят одновременно и одинаковым способом на всем поле.

Перед уборкой урожая восстанавливают границы контрольной полосы (если их больше, то всех) и по обе стороны от нее (них) на 10—15 м отбивают такие же удобренные учетные полосы. Учет урожаев на всех полосах проводят сплошным механизированным методом, как и в производственном опыте, отбирая при этом образцы для определения влажности и показателей качества продукции.

При трудностях с проведением сплошного учета для культур сплошного посева возможен выборочный учет по метровкам. В каждой полосе в зависимости от ее площади выделяют по нескольку метровок: при площади 0,5 га 6, до 1 га 8—9, до 5 га 10—12 и более 5 га 15, которые располагают равномерно по всей учетной полосе, избегая выделяющихся по травостойу мест. Растения с метровок связывают в снопы и далее поступают с ними так же, как с пробными снопами в полевых опытах.

Агрономическую и экономическую эффективность удобрений определяют с учетом результатов статистической обработки данных урожаев.

## 8.2. ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ

Выращивание растений в различных сосудах в искусственных условиях в специальных сооружениях (фитотрон, вегетационный домик, теплица, огражденные сеткой или прозрачной пленкой стеллажи) называют *вегетационным методом исследований* или *вегетационным опытом*. Этот метод позволяет детально расчлнить и выявить роль и значение отдельных факторов в жизни растений при регулируемых (в разной степени в зависимости от сооружений) условиях влажности, освещенности, температуры и питательного режима в сочетании с детальными химическими, физиологическими и другими исследованиями, возможности которых трудно переоценить. Д. Н. Прянишников подчеркивал, что «задачей вегетационного метода является вскрытие существа процессов и уяснение значения отдельных факторов, прежде всего роли растения, почвы и удобрения в условиях, наиболее благоприятных для выявления этой роли».

Вегетационный опыт позволяет при необходимости изменить основные факторы жизни растений и тем самым быстрее и точнее, чем в полевом опыте, установить искомые закономерности взаимодействия растений, почвы и удобрений. Вместе с тем вегетационный метод не может заменить полевых опытов, так как условия возделывания растений в вегетационном сосуде существенно отличаются от полевых. Ценность вегетационных опытов заключается не в замене ими полевых, а в том, что полученные в них результаты позволяют понять причины тех явлений, которые наблюдаются в полевых опытах.

В зависимости от целей и задач исследований используют разные модификации вегетационного метода: почвенные, песчаные, водные культуры и гидропонику. Для решения специфических вопросов применяют и другие модификации: сменных или текущих растворов, изолированного питания, стерильных культур и др.

**Построение схем опытов.** Основные принципиальные подходы к разработке и примеры разных схем опытов с удобрениями в строгом соответствии с целями и задачами исследований были изложены в предыдущем разделе. Здесь подчеркнем лишь то, что в вегетационных опытах легче и точнее можно определить потребности разных культур в макро- и микроудобрениях в зависимости от любых других условий внешней среды.

В опытах с микроэлементами в водных и песчаных культурах необходима чрезвычайная чистота сосудов, воды, песка и реактивов (солей) для предотвращения случайных искажений. В почвен-

ных культурах эти предосторожности необходимы для сосудов, солей (удобрений) и воды.

Примерная схема опыта с определением потребности в элементе может быть следующей: 0; NPK (фон); фон + первая доза; фон + + вторая доза; фон + третья доза. На кислых почвах обеспеченность растений бором, марганцем, цинком и кобальтом следует изучать и на известковом фоне. Дозы микро- и макроэлементов в вегетационных опытах разных модификаций могут быть эмпирическими, рекомендуемыми или расчетными.

Для повышения точности и достоверности результатов опытов каждый вариант должен повторяться в нескольких сосудах (повторностях): в опытах с зерновыми, зернобобовыми культурами и травами не менее 3—4, с картофелем, корнеплодами, капустой, огурцом не менее 5—6 повторностей.

**Техника постановки вегетационных опытов.** Вегетационные сосуды для опытов бывают двух типов, различающихся по способу полива: без и с отверстием в дне. Сосуды без отверстий используют для более точных опытов, поливают их по массе и располагают в сооружениях, защищенных от осадков. Сосуды с отверстиями в дне обязательно имеют поддон для сбора избытков осадков (дождей); их помещают на стеллажах под сеткой. Сосуды могут быть пластмассовые, стеклянные и металлические.

Для защиты от света и перегрева на стеклянные (иногда и на пластмассовые) сосуды надевают чехлы из плотной двухслойной ткани или плотной бумаги. Металлические сосуды покрывают консервантами (внутри асфальтовым лаком, снаружи белой краской) или эмалируют. Наиболее распространены цилиндрические сосуды следующих размеров (см): пластмассовые и стеклянные диаметром 15—30 и высотой 20—25, металлические диаметром 20—30 и высотой 20—30.

Для разных культур нужны сосуды различных объемов: для зерновых, зернобобовых и трав 5—7 кг почвы, для картофеля, капусты 25—30 кг, для свеклы и других корнеплодов 15—25 кг. Размеры сосудов зависят не только от культур, но и от целей и задач исследований. Например, в краткосрочных опытах обычно используют широкие сосуды, не заботясь об их глубине, для песчаных культур большие сосуды применяют редко, в гидропонике вместо сосудов используют поддоны, стеллажи и т. д.

### 8.2.1. ПОЧВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ

Почвенными культурами называют опыты, в которых растения выращивают в сосудах, наполненных почвой. Это наиболее распространенная модификация вегетационного метода, постановку которой осуществляют в определенном порядке.

**Подбор (взятие) и подготовка почвы.** Определяются темой и за-

дачами опыта. Почву отбирают из нужного места и горизонта вес-ной, когда она не мажется и комки ее легко разрушаются при рас-тирании. Привезенную почву приводят в однородное состояние (перемешивают, выбирают камни, крупные корни и пожнивные остатки), просеивают через грохот с ячейками 3 мм. Для удовлет-ворительной схожести результатов повторностей отбирают сме-шанный образец для агрохимических анализов.

**Подготовка сосудов.** Это подбор близких по высоте, объему и массе сосудов, а также тщательная промывка, сушка их и подбор чехлов (если нужно) для них. Для пролива воды на дно сосуда под-бирают стеклянные трубки диаметром 1—1,5 см и длиной на 2—3 см выше стенки сосуда. На дно сосуда для дренажа помещают 200—300 г вымытого и высушенного битого стекла, с помощью которого тарируют, т. е. выравнивают, массы сосудов с трубками. Затем сдвигают дренаж к стенке горкой, накрывают кружком мар-ли с отверстием для трубки, которую помещают в горку стекла, и расправляют марлю, накрывая ею весь дренаж и дно сосуда.

Дозы удобрений на сосуд рассчитывают по действующему ве-ществу (табл. 144), причем там, где это не противоречит теме опы-та, лучше применять не удобрения, а химически чистые соли, так как они содержат минимальные количества балласта.

**144. Дозы удобрений для опытов в почвенных культурах, г д.в. на 1 кг почвы (по Журбицкому)**

| Культура  | N                      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|-----------|------------------------|-------------------------------|------------------|
| Зерновые  | 0,15                   | 0,10                          | 0,10             |
| Бобовые   | 0,10—0,15 (0,02—0,04)* | 0,10—0,15                     | 0,10—0,15        |
| Картофель | 0,12                   | 0,20                          | 0,28             |
| Свекла    | 0,15—0,20              | 0,20—0,25                     | 0,20—0,25        |
| Лен       | 0,05—0,07              | 0,10—0,12                     | 0,06—0,10        |
| Конопля   | 0,20—0,30              | 0,20—0,30                     | 0,20—0,30        |
| Табак     | 0,20—0,30              | 0,10—0,20                     | 0,20—0,30        |
| Капуста   | 0,15—0,20              | 0,20—0,25                     | 0,20—0,25        |
| Томат     | 0,10—0,15              | 0,15—0,20                     | 0,20—0,30        |
| Огурец    | 0,15—0,20              | 0,15—0,20                     | 0,20—0,25        |
| Лук       | 0,10—0,15              | 0,10—0,15                     | 0,15—0,20        |

\* С учетом симбиотической азотфиксации.

Если почва односторонне богата каким-то элементом, дозу его уменьшают в 2—5 раз. Удобрения (или чистые соли) вносят, пере-мешивая их с почвой, в виде растворов, порошков и гранул. Ра-створимые в воде соли удобнее вносить в виде процентных ра-створов определенных (1—10 %) концентраций, отмеряя их объе-мы до 50 мл бюреткой (или пипеткой), а более 50 мл цилиндрами. Нерастворимые соли и удобрения вносят в сухом виде, беря навес-ку до 5 г на аналитических, а более 5 г на технохимических весах.

**Набивка сосудов почвой.** Ее начинают с пробной набивки одного сосуда для определения массы почвы для всех сосудов: на дно сосуда на марлю слоем 1,5—2,0 см укладывают увлажненный до 60 % от влагоемкости (15 мл воды на 100 г песка) кварцевый песок, которым прижимают края марли к стенке сосуда. Затем совком или руками переносят почву в сосуд, равномерно уплотняя ее, особенно у стенок и трубки, которая должна стоять вертикально в 1,5—2,0 см от стенки сосуда. Уровень почвы в сосуде должен быть на 2—2,5 см ниже верхнего края сосуда. К установленной навеске почвы добавляют навески сухих удобрений (солей) и тщательно перемешивают все в тазу, затем добавляют растворы удобрений и вновь перемешивают.

Если почва недостаточно влажная, добавляют дистиллированную воду до оптимального увлажнения, когда почва при сжатии в руке образует ком, распадающийся при выпадении из нее. Количество воды и растворов удобрений (солей) в сумме должно быть одинаковым во всех сосудах. Набивать сосуды, начиная с вариантов без удобрений, должен один человек: это обеспечит одинаковое уплотнение почвы во всех сосудах. Все работы следует проводить по заранее заготовленной в журнале опыта ведомости, в которой указывают дату закладки, схему опыта, название, влажность и навеску почвы в сосуде, массу тарированного сосуда, массу его для полива, культуру, номера сосудов по каждому варианту и соответствующие им навески удобрений или количества растворов. В день набивки сосудов определяют влажность и влагоемкость почвы, на основании которых рассчитывают норму полива и массу абсолютно сухой почвы в сосуде.

**Семена для посева.** Могут быть сухими, намоченными или пророщенными, но чистыми в сортовом отношении и протравленными в 1%-ном растворе формалина. Наклюнувшие семена высевают по шаблону на глубину 0,5—2,0—5,0 см в зависимости от культуры и размера семян и засыпают поверхность почвы тонким слоем кварцевого песка. При посеве сухими семенами проверяют их всхожесть, которая должна быть близка к 100 %. Окончив посев, сосуды накрывают бумагой (или поддонами) и ежедневно увлажняют верхний слой почвы; при появлении всходов бумагу убирают.

**Уход за растениями.** Состоит из прореживания, поливов и перестановки сосудов. *Прореживание* — доведение числа растений до заданного количества. Его проводят, когда растения достаточно разовьются, при этом удаляют поврежденные, слабо и чрезмерно развитые растения и оставляют наиболее выровненные в каждом сосуде. В сосудах среднего размера после прореживания оставляют зерновых 20—25 растений, бобовых 10—15, гречихи 12—15, льна 35—40 растений. Пропашные культуры выращивают в больших сосудах и до уборки оставляют по одному растению в сосуде, а для повышения точности опыта увеличивают число повторений.

Для предотвращения полегания растений сосуды укрепляют металлическим или деревянным каркасом одинаковой массы.

*Полив* растений в сосудах в зависимости от программы опыта проводят водопроводной или дистиллированной водой заранее установленной нормой (60—80 % полной влагоемкости). Подают воду сверху и снизу через трубку, причем в жаркую погоду поливают дважды: по объему воды и по массе сосуда, определяя объем по взвешиванию 3—4 сосудов разных вариантов. При поливах проводят *перестановку сосудов*, меняя сосуды крайних и средних рядов, чтобы выровнять условия освещения и предохранить крайние сосуды от перегрева.

Сосуды с отверстиями в дне поливают до появления воды в поддоне.

В течение вегетации ведут наблюдения и учет роста и развития растений, результаты которых записывают в журнал. В зависимости от целей и задач исследований растения убирают в разные периоды вегетации, но чаще в фазе полной спелости. При учетах подсчитывают число растений (стеблей), колосьев (стручков), высоту (длину) тех и других, укладывают в пакеты с указанием номера сосуда (иногда предварительно взвесив), высушивают до постоянной массы, взвешивают, обмолачивают зерно. Все результаты записывают в журнал, а образцы сохраняют для анализов.

При необходимости учитывают массу корней, промывая их с применением сит диаметром ячеек 0,5 мм, высушивая и взвешивая с точностью 0,01 г, и сохраняют, если нужно, для анализов.

При уборке корнеплодов (клубнеплодов) учет их и ботвы проводят отдельно, взвешивая после очистки (если нужно, после промывки и просушки) с точностью до 0,1 г, а образцы сохраняют для анализов.

Все полученные результаты учетов после приведения к стандартной влажности подвергают статистической обработке для установления степени достоверности и точности (ошибки) опыта.

### 8.2.2. ПЕСЧАНЫЕ КУЛЬТУРЫ

В песчаных культурах при выращивании растений в сосудах с чистым кварцевым песком, обогащенным питательными смесями (солями), изучают роль отдельных элементов, их концентраций и соотношений в питании растений, взаимодействия между элементами, соединениями их, корневыми выделениями и другими разнообразными факторами жизни растений в зависимости от цели и задач исследований. Здесь, как и в почвенных культурах, можно выращивать все без исключения растения.

При постановке опытов в песчаных культурах проводят операции, аналогичные таковым в почвенных культурах.

В зависимости от цели опыта чистый кварцевый песок, просе-

янный через сита с ячейкой 0,5 мм, используют для набивки сосудов сразу или после промывки водопроводной, а затем дистиллированной водой и последующей просушки. Если нужен особо чистый песок, его промывают сначала крепкой соляной кислотой, затем водопроводной и дистиллированной водой до полного удаления хлора, высушивают и используют для набивки сосудов.

Питательные смеси (их состав и концентрация) должны удовлетворять потребностям возделываемых культур, быть физиологически сбалансированными и иметь оптимальную реакцию (рН) в течение всего периода вегетации, так как от этого в значительной, если не в решающей, степени зависят результаты опыта.

Полный перечень питательных смесей приводить нет смысла из-за их обилия и возможностей непрерывного появления новых, различающихся по набору и соотношениям питательных элементов и солей, по реакции и концентрации их в течение вегетационного периода.

В песчаных и водных культурах нередко применяют классические питательные смеси (табл. 145), в которые добавляют водорастворимые соли микроэлементов в два-три приема: по 0,25—0,50 мг марганца и бора и по 0,1 мг молибдена, цинка и меди на 1 кг песка или 1 л раствора.

**145. Состав питательных смесей, г на 1 кг песка или 1 л раствора**

| Соль, реакция, элемент                          | Гельригеля | Кнопс | Пригитникова |
|---|------------|-------|--------------|
| $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ безводная            | 0,492      | 1,0   | —            |
| $\text{NH}_4\text{NO}_3$ безводная              | —          | —     | 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                       | 0,06       | 0,25  | 0,06         |
| KCl   | 0,075      | 0,12  | 0,16         |
| $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$       | —          | —     | 0,344        |
| рН в начале опыта                               | 3,6        | 5,5   | 6,5          |
| рН в конце опыта                                | 7,0        | 7,2   | 5,8          |
| <i>Дозы действующих веществ, мг/кг или мг/л</i> |            |       |              |
| N   | 68         | 94    | 68           |
| $\text{P}_2\text{O}_5$                          | 71         | 76    | 71           |
| $\text{K}_2\text{O}$                            | 94         | 160   | 94           |

Существуют более концентрированные, чем классические, питательные смеси для разных культур, созданные с различными целями и соотношениями азота, фосфора, калия, кальция, магния, серы и других элементов, с неодинаково расширенным набором микроэлементов. В качестве примера приведем некоторые из обобщения З. И. Журбицкого с указанием авторов и доз соответственно азота, фосфора и калия (мг/л раствора): Белоусов — 155,

362, 358; Цинцадзе — 140, 320, 436; Тоттингем — 327, 922, 614; Итон — 137, 213, 42; Арнон, Хогланд — 184, 143, 472; Хьюит — 140, 95, 156; Уоллес — 148, 143, 236; Гейслер — 122, 135, 362; Чесноков, Базырина — 140, 88, 230; Гуминская — 229, 198, 278.

Хьюит, обобщив имеющуюся литературу, рекомендует следующие дозы микроэлементов для испытаний в опытах (мг/л): железо 2,0, марганец и бор по 0,5, цинк 0,05, медь и молибден по 0,02.

Хогланд и Снайдер рекомендуют максимально широкий набор микроэлементов, приготавливаемый в двух растворах — А и В. На 1 л питательной смеси рекомендуется вносить по 1 мл каждого раствора. Для приготовления раствора А на 18 л берут следующие количества солей (г):  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  — по 1,0;  $\text{KJ}$ ,  $\text{KBr}$ ,  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{LiCl}$  — по 0,5;  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  — 7,0;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  — 11,0. Для приготовления раствора В на 18 л вносят:  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{Rb}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KF}$ ,  $\text{PbCl}_2$ ,  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{VCl}_3$  — по 0,1;  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ,  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{SrSO}_4$  — по 0,5;  $\text{CdCl}_2$  — 1,0.

Набор необходимых микроэлементов и их дозировки для разных культур до сих пор нельзя считать окончательно решенными. Чем чище техника проведения опытов и выше урожайность возделываемых культур, тем большие количества и ассортимент разнообразных элементов могут оказаться необходимыми.

Растворы (и сухие навески) каждой соли нужно вносить отдельно и последовательно с обязательным перемешиванием с песком, так как предварительное смешивание различных растворов может привести к образованию осадков.

Техника набивки сосудов песком, подготовка и посев семян, уход за растениями во время вегетации, наблюдения и учет урожая такие же, как в опытах с почвенными культурами. Отмывать корни от песка легче, чем от почвы.

### 8.2.3. ВОДНЫЕ КУЛЬТУРЫ

Выращивание растений в сосудах на водном растворе питательных элементов (водные культуры) — наиболее трудоемкая модификация вегетационного метода. Ее применяют при необходимости полной или частичной смены питательного раствора в течение вегетации, при проведении опыта на особо чистой воде (бидистилляте) с макро- и микроэлементами, при изучении периодичности питания растений, развития корневых систем, влияния буферности и реакции питательной среды и т. д. Водные культуры обеспечивают наиболее однородное распределение внесенных элементов, в них быстрее восстанавливаются одинаковая реакция и концентрация среды при взаимодействии с растениями.

Опыты в водных культурах проводят в стеклянных или пластмассовых сосудах емкостью 3—8 л с деревянными кружками-



крышками толщиной 1,5—2,0 см, у которых нижний диаметр равен внутреннему, а верхний — наружному диаметру сосуда. В крышках по числу растений есть отверстия диаметром 1—2 см и более и еще 2 — для продувания воздуха и крепления каркаса. В отверстие для продувания воздуха вставляют стеклянную трубку с загнутым концом, не доходящую до дна сосуда на 2—3 см.

На сосуды надевают двойные чехлы с вставленной тесемкой, которой поверх крышки привязывают чехол; пробка при этом плотно прилегает к сосуду и служит устойчивой опорой для растений и поддерживающего их каркаса. Сосуды на 70 % заполняют дистиллированной водой, затем последовательно в соответствии со схемой добавляют необходимые объемы нужных питательных растворов и в заключение — дистиллированную воду до нужного объема, причем уровень ее не должен достигать нижнего края крышки на 1,0—1,5 см. По мере потребления воды растениями ее доливают до прежнего уровня.

После протравливания проращивают семена в кюветах, чтобы корни их достигли 2—3 см. Затем семена пересаживают на специальные сетки для дорастивания. Сетки помещают на кристаллизаторы с водопроводной водой, которую ежедневно меняют. Через 8—12 дней корни растений достигают 5—7 см и растение можно пересаживать в сосуды на питательные смеси.

Для пересаживания в сосуды отбирают растения, одинаковые по длине корней, стебля и листьев и по числу листьев и корней. У отобранных растений семена обертывают ватой, погружают корни в дистиллированную воду и затем помещают в сосуды и закрепляют растения в отверстиях крышек сосудов. Для высокостебельных культур в отверстиях пробки закрепляют каркас для поддержания растений.

Важным является продувание воздухом питательных растворов в сосудах, которое должно быть периодическим: по 1—3 ч с перерывами в 3—5 ч в сутки, со скоростью 2—3 пузырька в секунду в каждом сосуде. Для этого нужны компрессор и резервуар со сжатым воздухом с автоматическим в зависимости от давления переключением и временным реле для подачи напряжения через заданные промежутки времени. Стеклянные трубки сосудов соединяют между собой шлангами (трубками) и резервуаром воздуха, а для регулировки подачи воздуха в сосуды на шланги надевают винтовые зажимы. Эти работы следует проводить до высадки растений в сосуды.

В течение вегетации 2—4 раза меняют питательные растворы и еженедельно 2—3 раза проверяют реакцию (рН) растворов и в случае необходимости, если это не противоречит задачам опыта, регулируют ее с помощью соответствующих кислот и щелочей.

В водных культурах вместо минеральных солей железа в питательных смесях лучше применять хелаты его в виде комплексов с этилендиаминтетрауксусной (ЭДТА) или гидроксипропилендиаминтетрауксусной (НЭДТА) кислотами, в которых железо доступно

растениям независимо от реакции и окислительно-восстановительного потенциала питательного раствора.

Наблюдения, уход, уборку и учет урожая в водных культурах проводят так же, как в почвенных, но здесь обязательно наряду с надземными органами учитывают и корни. Результаты учета подвергают статистической обработке, а отдельные части растений — анализам по интересующим показателям.

*Гидропоника* — выращивание растений на питательных растворах в специальных сооружениях на твердых субстратах, в водных и воздушных (аэропоника) культурах. Широко используется в исследовательских целях и в производственной деятельности и является модификацией вегетационного метода.

Подробная методика гидропонного выращивания растений в различных модификациях изложена в предыдущей главе.

### 8.3. ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение выщелачивания органических и минеральных соединений из почвы и внесенных удобрений, контроль за динамикой влажности, просачиванием атмосферных осадков и поливных вод и вымыванием с ними питательных элементов с помощью специальных устройств — лизиметров — называют *лизиметрическими исследованиями* (опытами). В таких опытах изучают потери элементов в зависимости от видов, доз, форм, сроков и способов внесения удобрений под посевами и без растений для обоснования баланса питательных элементов в почве.

Существует несколько конструкций лизиметров, отличающихся размерами, формой, материалами и приспособлениями для сбора просачивающихся вод и растворенных веществ. Лизиметры могут быть в виде цилиндров, кубов, параллелепипедов или конусов-воронок. Стенки и дно их должны быть влагонепроницаемы (бетон, металл, кирпич, пластмассы) и устойчивы к коррозии. Для стока просачивающейся жидкости дно лизиметра делают с уклоном в сторону отверстия с трубкой для сбора фильтрата и по дну укладывают дренарующий слой из гравия, песка или щебня.

Различают лизиметры с насыпной почвой и с почвой естественного сложения. В первом случае почву набивают послойно с сохранением естественного размещения генетических горизонтов и уплотнением до естественного объема.

Для сравнительных исследований лизиметры размещают группами по 10 и более штук в 2 или более четных ряда на определенном расстоянии друг от друга. Вкапывают их так, чтобы уровень почвы внутри них и снаружи был одинаковым.

Приемники для сбора фильтрующих вод помещают в подземные сооружения (коридоры, траншеи, ямы), хорошо защищенные от атмосферных осадков и резких перепадов температур.

Устанавливают лизиметры (особенно стационарные) вблизи лабораторий, а пространственно размещают так, чтобы обеспечить нормальное освещение и защиту от птиц и животных, ограждая их сеткой со всех сторон или по периметру.

Для длительных исследований насыпные лизиметры изготавливают из бетона или кирпича с площадью поверхности каждого 1—4 м<sup>2</sup> и более и глубиной обычно 1 м. Между рядами делают подземный коридор, в который входят трубки из разных слоев каждого из лизиметра со сменными приемниками фильтратов.

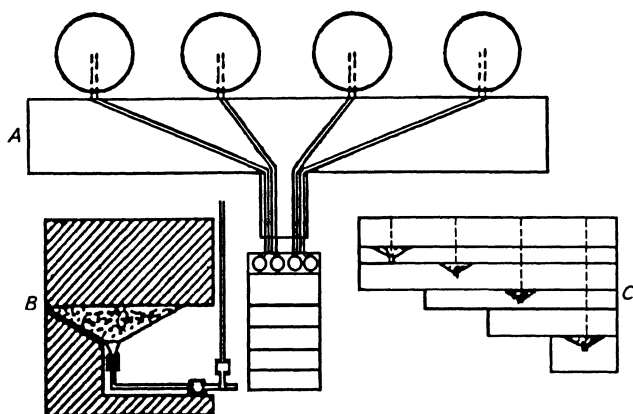
Металлические и пластмассовые насыпные лизиметры можно закапывать непосредственно в грунт или в сосуд большего объема, предварительно вкопанный для укрепления стенок ямы и удержания в нем плотно вставляемого лизиметра с приемником. Съемные лизиметры очень удобны при необходимости (в соответствии с программой опыта) периодического взвешивания их в течение вегетационного периода.

Для заполнения почвой без нарушения естественного сложения ее применяют лизиметры с отделяющимся дном, нижние стенки которых заострены. Такой цилиндр или прямоугольник врезают в почву полностью, затем осторожно выкапывают его вместе с почвой. Дно воронкообразной формы, заполненное дренажем, с отверстием для сбора фильтрата плотно прикрепляют к выкопанному с почвой лизиметру. Переносят готовый лизиметр на заранее подготовленное место, соединяют его с приемником и помещают (включая сменный вариант) на одном уровне с окружающей почвой.

Следует подчеркнуть, что при взятии почвы в естественном состоянии применяют небольшие лизиметры — диаметром 10—20 см и глубиной (длиной) 20—30 см, так как с большими объемами качественно выполнять такую работу чрезвычайно трудно.

Для работы с почвами естественного сложения наиболее удобны лизиметрические воронки, так как они не имеют боковых стенок. Схема устройства и размещения лизиметрических воронок Эмбермайера приведена на рисунке 25. Цинковые воронки диаметром 25—50 см имеют глубину 5 см; края их загнуты вверх на 0,5 см и заострены; выходное отверстие закрыто цинковым кружком с отверстием 2 мм; вся воронка заполнена дренажем.

Для установки воронок роют траншею глубиной на 50 см больше желаемого размещения каждой воронки; на вертикальной стене ее делают ниши на той глубине, на которой нужно разместить каждую воронку. В ниши вводят воронки, которые врезают острыми краями в потолки. Воронки соединяют трубками с приемниками, размещенными в наиболее глубокой части траншеи. Пустоты в нишах, а также мелкую часть траншеи засыпают почвой. Стенки и верх глубокой части траншеи закрепляют досками, оставляя люк с крышкой для проникновения к приемникам. Сверху траншею накрывают изолирующим материалом и засыпают почвой. Распо-



**Рис. 25. Лизиметрические воронки Эбермайера:**

*A* — план; *B* — разрез одного лизиметра воронки; *C* — схема расположения воронок на различной глубине

лагают воронки обычно на расстоянии 30—100 см друг от друга вдоль траншеи. При размещении воронок на неодинаково удобренных участках расстояния между ними должны быть более 2 м, чтобы предотвратить отекание или затекание влаги с соседних участков.

Следует иметь в виду, что в естественных условиях, как правило, 20—25 % воды (осадков) стекает с поверхности по уклонам микрорельефа, поэтому в лизиметры со стенками осадков попадает больше, чем в лизиметрические воронки.

Дно лизиметров прерывает слои почвы и приводит к появлению воздушной подушки (прослойки), мешающей свободному движению гравитационной воды вниз. Поэтому влажность в лизиметрах несколько больше, чем в таком же слое естественной почвы. Просачивание воды в лизиметрах зависит от их глубины — в более глубоких оно относительно выше, чем в мелких. Поэтому при равном количестве осадков испарение происходит более интенсивно из мелких, чем из глубоких лизиметров, а из любых из них — более интенсивно, чем с такой же площади в естественных условиях.

Следовательно, абсолютные значения динамики влажности почвы в лизиметрических опытах отличаются от аналогичных, полученных в естественных условиях. Вместе с тем проведение опытов в лизиметрах одинаковой конструкции по конкретной схеме (с фактором единственного различия) обеспечивает получение сравнимых относительных результатов в пределах испытываемой схемы.

Несмотря на относительность сравнения с естественной почвой, лизиметрические исследования позволяют изучать передвижение воды и растворенных в ней веществ и, следовательно, количественно определять одну из расходных статей баланса элементов, гумуса и влаги в почвах в зависимости от изучаемых условий и факторов жизни растений.

#### 8.4. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

В любом опыте неизбежны ошибки, которые обычно разделяют на три группы: грубые, систематические и случайные.

*Грубые ошибки* обусловлены невнимательностью и неумением исполнителей качественно проводить работы при закладке и проведении опыта, например внесение удобрений дважды на одну делянку (в сосуд), применение вместо одного вида удобрений (соли, раствора) другого, ошибки в размещении этикеток с названиями или результатами разных вариантов и повторностей и т. д.

Строгое соблюдение всех требований методики и техники закладки и проведения опыта и тщательная организация всех работ при этом позволяют избежать грубых ошибок. Если же в опыте обнаружена грубая ошибка, то все результаты на испорченных делянках (сосудах) выбраковывают.

*Систематические ошибки* всегда однонаправленны: или завышают, или занижают результаты, причем могут быть обусловлены одной или несколькими причинами, действующими в определенном направлении. Эти ошибки классифицируют в три группы:

сплошная систематическая ошибка, охватывающая все варианты и повторности опыта. Так как она одинаково изменяет все данные, то не влияет на сравнимость разных вариантов. Если эта ошибка определена, она может быть введена как поправка к результату;

систематическая ошибка, охватывающая все варианты одной или нескольких повторностей опыта, обусловлена неодинаковым плодородием почвы (субстрата) разных повторностей. Если она определена, ее можно исключить из общего варьирования при обработке данных методом дисперсионного анализа;

систематическая ошибка, охватывающая лишь некоторые варианты и повторности опыта, обусловлена также неодинаковым плодородием почвы (субстрата) этих вариантов (повторностей) с остальными. Эта ошибка наиболее опасна, так как нарушает сравнимость результатов с другими вариантами, искажает оценку изучаемых факторов и снижает точность опыта.

*Случайные ошибки* обусловлены обычно неизвестными причинами. Они возникают в связи с пестротой почвенного плодородия участка (сосудов) и посевного материала, неоднородностью вы-

полнения работ и ошибками измерений при закладке, проведении и обобщении результатов опыта (при разбивке участка, определении площадей делянок, взвешивании удобрений, урожая и т. д.).

Случайные ошибки неизбежны в любом опыте; избавиться от них невозможно, но при строгом и тщательном соблюдении методики и техники закладки и проведения опыта их можно максимально уменьшить.

Для обоснования правильных выводов по результатам каждого опыта проводят агрономический и статистический (математический) анализы (обработку) полученных в нем результатов.

*Агрономический анализ* — это критическое сопоставление данных урожая с результатами фенологических и метеорологических наблюдений и учета засоренности, поражений растений болезнями и вредителями и т. д., позволяющее найти объяснение того или иного эффекта, полученного в опыте. При этом проводят оценку методики и техники проведения всех работ, соответствия их поставленным задачам опыта, проверяют правильность первичных записей в дневнике и журнале опыта.

При обнаружении нарушений в методике и технике закладки и проведения опыта или грубых ошибок, искажающих сущность изучаемого приема, опыт бракуют.

При положительном агрономическом анализе результатов опыта проводят статистическую (математическую) обработку его данных, на основании которой устанавливают при принятых уровнях вероятности достоверную научную и практическую ценность изучаемых приемов и факторов.

Статистическая (математическая) обработка результатов опыта позволяет определить границы различных колебаний полученных данных, т. е. установить точность (ошибку) опыта, а также достоверность (существенность) различий по средним урожаям между вариантами опыта. Существуют разные методы статистической обработки и оценки результатов опытов; наиболее широко используют *метод дисперсионного анализа*. В основе его лежит предположение о том, что если колебания (вариации) в урожаях по делянкам, вызванные изучаемым в опыте фактором (по вариантам), превышают таковые, вызванные случайными факторами (по повторностям), то опыт считается достоверным. Дисперсионный метод позволяет дать одновременно оценку существенности различий нескольких средних, например общую ошибку урожаяв ( $m$ , %) в среднем для всего опыта и общую ошибку разности двух урожаев ( $m_d$ ) для любой пары сравниваемых вариантов опыта.

Принцип дисперсионного метода заключается в разложении общей вариации (рассеяния) на составные части: по вариантам, повторностям и остаточная вариация. Этот метод при введении в общую вариацию вариации по повторностям позволяет учитывать имеющуюся в опыте систематическую ошибку и тем самым уменьшает остаточную вариацию, зависящую от случайных оши-

бок опыта. В этом методе используют понятие «число степеней свободы»; оно всегда на единицу меньше, чем количество варьирующих величин, по которым исчисляется средняя. Например, для *общего варьирования* число степеней равно числу всех поделаночных урожаев минус единица, для *варьирования по вариантам* — число вариантов минус единица, для *рассеивания (варьирования) по повторностям* — число повторностей минус единица, для *остаточной вариации* — разница между числом степеней свободы общего варьирования и суммой чисел степеней свободы вариантов и повторностей.

Для установления достоверности действия изучаемых в опыте факторов в среднем по опыту находят специальный критерий существенности  $F$  (Фишера). Различают  $F$ -фактический и  $F$ -табличный.  $F$ -фактический равен отношению среднего квадратичного отклонения вариантов (дисперсия вариантов) к среднему квадратичному отклонению остатка (дисперсия остаточная):

$$F_{\text{факт}} = \frac{\text{Дисперсия вариантов}}{\text{Дисперсия остаточная}}.$$

Если  $F$ -фактический больше табличного, то опыт достоверный и следует находить достоверность различий между отдельными вариантами.

Для лучшего методического понимания дисперсионного метода рассмотрим конкретный пример статистической обработки урожайных данных полевого опыта с ячменем. Поделаночные урожаи по вариантам опыта записывают в таблицу (табл. 146) с точностью до 0,01 т, причем для любой культуры цифры должны быть трехзначными.

**146. Урожайность ячменя, т/га**

| Вариант опыта     | Повторность |       |       |       |       |       | Сумма урожаев (S) | Средняя урожайность |
|-------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|---------------------|
|                   | 1-я         | 2-я   | 3-я   | 4-я   | 5-я   | 6-я   |                   |                     |
| 1 Контроль        | 1,90        | 1,70  | 1,95  | 2,16  | 2,34  | 2,17  | 12,22             | 2,04                |
| 2 РК              | 2,10        | 1,95  | 1,85  | 2,26  | 2,43  | 2,30  | 12,89             | 2,15                |
| 3 НК              | 1,90        | 2,23  | 2,13  | 1,96  | 2,42  | 2,18  | 12,87             | 2,15                |
| 4 НР              | 2,15        | 2,00  | 2,47  | 2,24  | 2,56  | 2,43  | 13,85             | 2,31                |
| 5 НРК             | 2,30        | 2,55  | 2,60  | 2,70  | 2,65  | 2,90  | 15,70             | 2,62                |
| 6 НР2К            | 2,40        | 2,70  | 2,54  | 2,85  | 2,46  | 3,00  | 15,95             | 2,66                |
| 7 Н2РК            | 2,70        | 2,90  | 3,05  | 3,40  | 3,10  | 3,50  | 18,65             | 3,11                |
| 8 2НРК            | 3,75        | 3,40  | 3,02  | 3,65  | 3,65  | 3,30  | 20,77             | 3,46                |
| Сумма урожаев (P) | 19,20       | 19,40 | 19,66 | 21,22 | 21,61 | 21,78 | $Q = 122,90$      | $M = 2,56$          |

Вычисляют суммы по вариантам опыта (S), по повторностям (P) и общую (Q):  $Q = \Sigma S = \Sigma P$ . Определяют среднюю урожайность

по вариантам делением суммы по вариантам ( $S$ ) на число повторений ( $n$ ) и среднюю урожайность по опыту ( $M$ ) делением общей суммы ( $Q$ ) на общее число наблюдений ( $N$ ), равное числу делянок ( $nl$ ):  $M = 122,9 : 48 = 2,56$  т/га.

Наблюдаемые значения урожайностей по делянкам выражают в отклонениях от условного начала  $X - A = y$ , т. е. из каждого наблюдения вычитают величину  $A$  (произвольное или условное начало), которая должна быть числом, близким к средней урожайности по всему опыту. В данном случае она принята равной 2,5, так как средняя урожайность опыта  $M = 2,56$  т/га. Результаты записывают в таблицу (табл. 147).

**147. Отклонение ( $\pm$ ) от условного (произвольного) начала**

| Вариант опыта      | Повторность ( $y$ ) |       |       |       |       |       | Сумма ( $\Sigma y_c$ ) |
|--------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------|
|                    | 1-я                 | 2-я   | 3-я   | 4-я   | 5-я   | 6-я   |                        |
| 1 Контроль         | -0,60               | -0,80 | -0,55 | -0,34 | -0,16 | -0,33 | -2,78                  |
| 2 РК               | -0,40               | -0,55 | -0,65 | -0,24 | -0,07 | -0,20 | -2,11                  |
| 3 НК               | -0,60               | -0,27 | -0,32 | -0,54 | -0,08 | -0,32 | -2,13                  |
| 4 НР               | -0,35               | -0,50 | -0,03 | -0,26 | +0,06 | -0,07 | -1,15                  |
| 5 НРК              | -0,20               | +0,05 | +0,10 | +0,20 | +0,15 | +0,40 | +0,70                  |
| 6 НР2К             | -0,10               | +0,20 | +0,04 | +0,35 | -0,04 | +0,50 | +0,95                  |
| 7 Н2РК             | +0,20               | +0,40 | +0,55 | +0,90 | +0,60 | +1,00 | +3,65                  |
| 8 2НРК             | +1,25               | +0,90 | +0,52 | +1,15 | +1,15 | +0,80 | +5,77                  |
| Сумма $\Sigma y_n$ | -0,80               | -0,57 | -0,34 | +1,22 | +1,61 | +1,78 | $\Sigma y_c = +2,90$   |

Затем подсчитывают суммы отклонений от условного начала по строкам  $\Sigma y_c$ , графам  $\Sigma y_n$  и общую  $\Sigma y = +2,90$ . Чтобы убедиться в правильности вычислений, приведенных в таблице 147, следует сделать проверку. Сумма урожайности по делянкам ( $Q$ ) равна сумме отклонений от условного начала ( $\Sigma y$ ) плюс произведение числа делянок на условное начало ( $nA$ ):  $Q = \Sigma y + nA = 2,9 + 48 \cdot 2,5 = 122,9$  (в табл. 146  $Q = 122,9$ ).

Далее все величины — отклонения от условного начала  $y$  и суммы отклонений  $\Sigma y_c$  и  $\Sigma y_n$  — возводят в квадрат (табл. 148).

**148. Квадраты отклонений от условного начала**

| Вариант опыта | Повторность |      |      |      |      |      | Сумма квадратов ( $\Sigma y_c^2$ ) | Квадрат суммы ( $\Sigma y_c$ ) <sup>2</sup> |
|---------------|-------------|------|------|------|------|------|------------------------------------|---|
|               | 1-я         | 2-я  | 3-я  | 4-я  | 5-я  | 6-я  |                                    |   |
| 1 Контроль    | 0,36        | 0,64 | 0,30 | 0,11 | 0,03 | 0,11 | 0,95                               | 7,73  |
| 2 РК          | 0,16        | 0,30 | 0,42 | 0,06 | 0,00 | 0,04 | 0,98                               | 4,45  |
| 3 НК          | 0,36        | 0,07 | 0,10 | 0,29 | 0,01 | 0,10 | 0,93                               | 4,54  |
| 4 НР          | 0,12        | 0,25 | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,44                               | 1,32  |
| 5 НРК         | 0,04        | 0,00 | 0,01 | 0,04 | 0,02 | 0,16 | 0,27                               | 0,49  |
| 6 НР2К        | 0,01        | 0,04 | 0,00 | 0,12 | 0,00 | 0,25 | 0,42                               | 0,90  |
| 7 Н2РК        | 0,04        | 0,16 | 0,30 | 0,81 | 0,36 | 1,00 | 2,67                               | 13,22                                       |



Продолжение

| Вариант опыта                               | Повторность |      |      |      |      |      | Сумма квадратов ( $\Sigma y_c^2$ ) | Квадрат суммы ( $\Sigma y_c$ ) <sup>2</sup> |
|---|-------------|------|------|------|------|------|------------------------------------|---|
|   | 1-я         | 2-я  | 3-я  | 4-я  | 5-я  | 6-я  |                                    |   |
| 8 2NPK                                      | 16,5        | 0,81 | 0,27 | 1,32 | 1,32 | 0,64 | 5,92                               | 32,23                                       |
| Сумма квадратов ( $\Sigma y_n^2$ )          | 2,65        | 2,27 | 1,40 | 2,82 | 1,74 | 2,30 | 12,58 = $\Sigma y^2$               | 64,88 = $\Sigma (\Sigma y_c)^2$             |
| Квадрат суммы ( $\Sigma y_n$ ) <sup>2</sup> | 0,64        | 0,32 | 0,12 | 1,49 | 2,59 | 3,17 | 8,33 = $\Sigma (\Sigma y_n)^2$     | 8,41 = $(\Sigma y)^2$                       |

Причем сначала возводят в квадрат отклонения от условного начала по делянкам  $y^2$ , подсчитывают их суммы по строкам  $\Sigma y_c^2$ , графам  $\Sigma y_n^2$  и общую сумму  $\Sigma y^2 = 12,58$ . Затем возводят в квадрат суммы отклонений  $(\Sigma y_c)^2$  и  $(\Sigma y_n)^2$  и также подсчитывают их суммы: по графам  $\Sigma (\Sigma y_c)^2 = 64,88$  и строкам  $\Sigma (\Sigma y_n)^2 = 8,33$ . На пересечении последней строки и графы записывают квадрат общей суммы отклонений от условного начала  $(\Sigma y)^2 = +2,9^2 = 8,41$ .

Далее определяют суммы квадратов отклонений.

Общая сумма квадратов отклонений

$$W_{\text{общ}} = \Sigma y^2 - \frac{(\Sigma y)^2}{N} = 12,58 - \frac{8,41}{48} = 12,38,$$

где  $N$  — общее число наблюдений опыта ( $nI$ ).

Сумма квадратов отклонений средних по вариантам от общей средней

$$W_{\text{вар}} = \frac{\Sigma (\Sigma y_c)^2}{n} - \frac{(\Sigma y)^2}{N} = \frac{64,88}{6} - \frac{8,41}{48} = 10,61,$$

где  $n$  — число повторений по каждому варианту.  $\Sigma (\Sigma y_c)^2$  делят на  $n$ , так как квадрат итога по каждому варианту представляет сумму по шести повторностям.

Сумма квадратов отклонений средних по повторностям от общей средней

$$W_{\text{повт}} = \frac{\Sigma (\Sigma y_n)^2}{I} - \frac{(\Sigma y)^2}{N} = \frac{8,33}{8} - \frac{8,41}{48} = 0,84,$$

где  $I$  — число вариантов.  $\Sigma (\Sigma y_n)^2$  делят на  $I$ , так как квадрат итога каждой повторности представляет сумму по восьми вариантам.

Сумму квадратов остаточных отклонений ( $W_{\text{ост}}$ ) определяют по разнице:  $W_{\text{ост}} = W_{\text{общ}} - W_{\text{вар}} - W_{\text{повт}} = 12,38 - 10,83 - 0,84 = 0,71$ .

Для определения дисперсий надо подсчитать число степеней свободы, соответствующее каждой из рассчитанных сумм квадратов: общее  $N - 1 = 48 - 1 = 47$ ; вариантов  $I - 1 = 8 - 1 = 7$ ; повтор-

ностей  $n - 1 = 6 - 1 = 5$ ; остаточное  $(N - 1) - (l - 1) - (n - 1) = 47 - 7 - 5 = 35$ .

Далее составляю таблицу анализа дисперсий (табл. 149) и вносят в первые три графы рассчитанные величины.

**149. Анализ дисперсий**

| Вариация            | Сумма квадратов отклонений $W$ | Степень свободы | Дисперсия (средний квадрат) $S^2$ | Отношение дисперсий $F_{\text{факт}}$ | $F_{\text{табл}}$ при вероятности 0,95 |
|---------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--|
| Общая               | 12,38                          | 47              | —                                 | —                                     | —                                      |
| Вариантов           | 10,61                          | 7               | 1,52                              | 76,0                                  | 2,30                                   |
| Повторностей        | 0,84                           | 5               | 0,17                              | 8,5                                   | 2,49                                   |
| Остаточная (ошибка) | 0,71                           | 35              | 0,02                              | 1                                     | —                                      |

Дисперсии (средние квадраты) находят по формулам:

$$S_{\text{вар}}^2 = \frac{W_{\text{вар}}}{l - 1} = \frac{10,61}{7} = 1,52;$$

$$S_{\text{повт}}^2 = \frac{W_{\text{повт}}}{n - 1} = \frac{0,84}{5} = 0,17;$$

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{W_{\text{ост}}}{(N - 1) - (l - 1) - (n - 1)} = \frac{0,71}{35} = 0,02.$$

Далее дисперсии вариантов ( $S_{\text{вар}}^2$ ) и повторностей ( $S_{\text{повт}}^2$ ) сопоставляют с остаточной дисперсией ( $S_{\text{ост}}^2$ ) — ошибкой, т. е. определяют фактическое отношение дисперсий в опыте ( $F_{\text{факт}}$ ):

$$F_{\text{факт.вар}} = \frac{S_{\text{вар}}^2}{S_{\text{ост}}^2} = \frac{1,52}{0,02} = 76,0;$$

$$F_{\text{факт.повт}} = \frac{S_{\text{повт}}^2}{S_{\text{ост}}^2} = \frac{0,17}{0,02} = 8,5.$$

Табличные значения  $F$  находят при вероятности 95 % (табл. 150) на пересечении графы и строки, соответствующих числу степеней свободы сравниваемых дисперсий. Дисперсии вариантов соответствует 7 степеней свободы (7-я графа), остаточной дисперсии — 35 степеней свободы (35-я строка). Пересечению 7-й графы и 35-й строки в таблице 150 соответствует значение

$$F_{\text{табл}} = \frac{2,34 + 2,25}{2} = 2,295.$$

150. Величины F для вероятности 95 % и различных значений числа степеней свободы большего ( $V_1$ ) и меньшего ( $V_2$ ) квадратов рассеяния

| $V_2 \backslash V_1$ | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 10    | 12    | 20    | 40    | $\infty$ |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 2                    | 18,51 | 19,00 | 19,16 | 19,25 | 19,30 | 19,33 | 19,36 | 19,37 | 19,39 | 19,41 | 19,44 | 19,47 | 19,50    |
| 3                    | 10,13 | 9,94  | 9,28  | 9,12  | 9,01  | 8,94  | 8,88  | 8,84  | 8,74  | 8,66  | 8,60  | 8,53  |          |
| 4                    | 7,17  | 9,55  | 6,59  | 6,39  | 6,26  | 6,16  | 6,09  | 6,04  | 5,98  | 5,91  | 5,80  | 5,71  | 5,63     |
| 5                    | 6,61  | 5,79  | 5,41  | 5,19  | 5,05  | 4,95  | 4,88  | 4,82  | 4,74  | 4,68  | 4,56  | 4,46  | 4,36     |
| 6                    | 5,99  | 5,14  | 4,76  | 4,53  | 4,39  | 4,28  | 4,21  | 4,15  | 4,06  | 4,00  | 3,87  | 3,77  | 3,67     |
| 7                    | 5,59  | 4,74  | 4,35  | 4,12  | 3,97  | 3,87  | 3,79  | 3,73  | 3,63  | 3,57  | 3,44  | 3,34  | 3,23     |
| 8                    | 5,32  | 4,46  | 4,07  | 3,84  | 3,69  | 3,58  | 3,50  | 3,44  | 3,34  | 3,28  | 3,15  | 3,05  | 2,93     |
| 9                    | 5,12  | 4,26  | 3,86  | 3,63  | 3,48  | 3,37  | 3,29  | 3,23  | 3,13  | 3,07  | 2,93  | 2,82  | 2,71     |
| 10                   | 4,96  | 4,10  | 3,71  | 3,48  | 3,33  | 3,22  | 3,14  | 3,07  | 2,97  | 2,91  | 2,77  | 2,67  | 2,54     |
| 11                   | 4,84  | 3,98  | 3,59  | 3,36  | 3,20  | 3,09  | 3,01  | 2,95  | 2,86  | 2,79  | 2,65  | 2,53  | 2,40     |
| 12                   | 4,75  | 3,88  | 3,49  | 3,26  | 3,11  | 3,00  | 2,92  | 2,85  | 2,76  | 2,69  | 2,54  | 2,42  | 2,30     |
| 13                   | 4,67  | 3,80  | 3,41  | 3,18  | 3,02  | 2,92  | 2,84  | 2,77  | 2,67  | 2,60  | 2,46  | 2,34  | 2,21     |
| 14                   | 4,60  | 3,74  | 3,34  | 3,11  | 2,96  | 2,85  | 2,77  | 2,70  | 2,60  | 2,53  | 2,39  | 2,27  | 2,13     |
| 16                   | 4,49  | 3,63  | 3,24  | 3,01  | 2,85  | 2,74  | 2,66  | 2,59  | 2,49  | 2,42  | 2,28  | 2,16  | 2,01     |
| 18                   | 4,41  | 3,55  | 3,16  | 2,93  | 2,77  | 2,66  | 2,58  | 2,51  | 2,37  | 2,34  | 2,19  | 2,07  | 1,92     |
| 20                   | 4,35  | 3,49  | 3,10  | 2,87  | 2,71  | 2,60  | 2,52  | 2,45  | 2,35  | 2,28  | 2,12  | 1,99  | 1,84     |
| 22                   | 4,30  | 3,44  | 3,05  | 2,82  | 2,66  | 2,55  | 2,47  | 2,40  | 2,30  | 2,23  | 2,07  | 1,93  | 1,78     |
| 24                   | 4,26  | 3,40  | 3,01  | 2,78  | 2,62  | 2,51  | 2,43  | 2,36  | 2,26  | 2,18  | 2,02  | 1,89  | 1,73     |
| 26                   | 4,22  | 3,37  | 2,98  | 2,74  | 2,59  | 2,47  | 2,39  | 2,32  | 2,22  | 2,15  | 1,99  | 1,85  | 1,69     |
| 28                   | 4,20  | 3,34  | 2,95  | 2,71  | 2,56  | 2,44  | 2,36  | 2,29  | 2,19  | 2,12  | 1,96  | 1,81  | 1,65     |
| 30                   | 4,17  | 3,32  | 2,92  | 2,69  | 2,53  | 2,42  | 2,34  | 2,27  | 2,16  | 2,09  | 1,93  | 1,79  | 1,62     |
| 40                   | 4,08  | 3,32  | 2,84  | 2,61  | 2,45  | 2,34  | 2,25  | 2,18  | 2,07  | 2,00  | 1,84  | 1,69  | 1,51     |
| 60                   | 4,00  | 3,15  | 2,76  | 2,52  | 2,37  | 2,25  | 2,17  | 2,10  | 1,99  | 1,92  | 1,75  | 1,59  | 1,39     |
| 100                  | 3,94  | 3,09  | 2,70  | 2,46  | 2,30  | 2,19  | 2,10  | 2,03  | 1,92  | 1,85  | 1,68  | 1,51  | 1,28     |
| $\infty$             | 3,84  | 2,99  | 2,60  | 2,37  | 2,21  | 2,09  | 2,01  | 1,94  | 1,83  | 1,75  | 1,57  | 1,40  | 1,00     |

Для дисперсии повторностей  $F_{\text{табл}} = \frac{2,53 + 2,45}{2} = 2,49$ .

Так как  $F_{\text{факт}}$  больше  $F_{\text{табл}}$ , то различия между средними урожаями по вариантам и по повторностям (влияние неодинакового почвенного плодородия) достоверны, существенны и можно проводить оценку частных различий.

Для характеристики точности опыта делают следующие вычисления.

1. Определяют среднее квадратичное остаточное отклонение:

$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0,04} = 0,2 \text{ т/га}$  — характеристика ошибки урожая с единичной делянки в среднем по всему опыту.

2. Вычисляют среднюю ошибку средних урожаев по всему опыту:

$$m = \sqrt{\frac{S^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,04}{6}} = \sqrt{0,0067} = 0,08 \text{ т/га.}$$

3. Определяют относительную ошибку средней (точность опыта):

$$m\% = \frac{m}{M} \cdot 100 = \frac{0,08 \cdot 100}{2,56} = 3,1\%.$$

Для определения достоверных различий между средними урожаями различных вариантов опыта вычисляют среднюю ошибку разности средних

$$m_D = \sqrt{2m^2} = m\sqrt{2} = 0,08 \cdot 1,414 = 0,113 \text{ т/га};$$

наименьшую существенную разницу — НСР, которая в зависимости от принятого уровня вероятности (95 %) обозначается НСР<sub>0,95</sub>.

НСР<sub>0,95</sub> =  $t m_D$ , где  $t$  — критерий достоверности (Стьюдента), значения которого находят по таблице 151 в зависимости от числа степеней свободы для остаточной вариации (в нашем примере 35) и принятого уровня вероятности суждений (у нас 95 %):

$$\text{НСР}_{0,95} = 2 \cdot 0,113 = 0,226 \approx \pm 0,23 \text{ т/га}.$$

**151. Стандартные значения критерия достоверности (критерия Стьюдента)**

| Число степеней свободы | Уровень вероятности $P$ |      | Число степеней свободы | Уровень вероятности $P$ |      |
|------------------------|-------------------------|------|------------------------|-------------------------|------|
|                        | 0,95                    | 0,99 |                        | 0,95                    | 0,99 |
| 2                      | 4,3                     | 9,9  | 11—12                  | 2,2                     | 3,1  |
| 3                      | 3,2                     | 5,8  | 13                     | 2,2                     | 3,0  |
| 4                      | 2,8                     | 4,6  | 14—15                  | 2,1                     | 3,0  |
| 5                      | 2,4                     | 4,0  | 16—20                  | 2,1                     | 2,8  |
| 6                      | 2,4                     | 3,7  | 21—28                  | 2,1                     | 2,9  |
| 7                      | 2,4                     | 3,5  | 29—30                  | 2,0                     | 2,7  |
| 8                      | 2,3                     | 3,4  | 31—62                  | 2,0                     | 2,8  |
| 9                      | 2,3                     | 3,3  | >62                    | 2,0                     | 2,6  |
| 10                     | 2,2                     | 3,2  |                        |                         |      |

Следовательно, все различия между средними урожаями по вариантам опыта существенны (достоверны) с вероятностью 95 %, если они равны или больше 0,23 т/га, и недостоверны, лежат в пределах ошибки опыта, если они меньше этой величины (НСР<sub>0,95</sub>).

При выбраковке отдельных делянок пустые клетки таблицы поделяночных урожаев заполняют средними величинами в скобках, вычисленными по остальным повторностям данного варианта. Дальнейшую статистическую обработку проводят, как принято, но в таблице анализа дисперсий общее число степеней свобо-

ды уменьшают на число выбракованных делянок, естественно, и остаточное число степеней свободы уменьшится на такую же величину.

### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое полевой опыт и для чего он нужен? 2. Какова роль опытов в научных исследованиях и в производстве? 3. Что необходимо для планирования и проведения опытов? 4. Что такое программа и схема опыта? 5. Каковы принципы разработки схем опытов? 6. В чем различия схем опытов по дозам и срокам внесения удобрений? 7. Каковы различия схем по видам и формам удобрений? 8. Как составить схему опыта по способам внесения и заделки удобрений? 9. Как выбрать участок для полевого опыта? 10. Что такое уравнильные и рекогносцировочные посе́вы? 11. Расскажите о формах и размерах делянок, размещении их. 12. Как размещают варианты и повторности по делянкам? 13. Что вы знаете о наблюдениях и методах учета урожая в полевом опыте? 14. Чем отличаются производственные опыты? 15. Расскажите о вегетационных опытах, их классификации. 16. Какие исследования можно проводить в водных культурах? 17. Какова техника проведения работ в почвенных культурах? 18. В чем особенности опытов с песчаными культурами? 19. Что такое гидропоника, каковы ее модификации? 20. Что вы знаете о питательных смесях для вегетационных опытов? 21. Что такое лизиметрические исследования? 22. Что вы знаете о конструкциях лизиметров? 23. Что вы знаете о методе дисперсионного анализа статистической обработки результатов опытов? 24. В чем заключается принцип дисперсионного метода? 25. Что такое критерий существенности ( $F$ ) и критерий достоверности ( $t$ )?

---

## Глава 9

### ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

●

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, 1995), страны Западной Европы, Северная Америка и Япония, имея на своей территории 15 % населения, тратят в 50 раз больше ресурсов на душу населения, чем другие страны, и выбрасывают в окружающую среду 77 % всех вредных промышленных отходов.

В мире накопились миллионы гектаров нарушенной земли в результате эрозии, неправильного проведения сельскохозяйственных работ, загрязнения воздуха, почвы, озер и рек отходами. Возникла необходимость превращения многочисленных загрязняющих среду отходов в полезные ресурсы с помощью химических и биологических методов, а также внедрения безотходных технологий, не нарушающих экологической ситуации.

В начале XX в. население Земли составляло 1,6 млрд человек, в 2000 г. — 6 млрд. Перед человечеством стоит задача значительного увеличения производства продовольствия, энергии, строительства жилья. Видимо, и в будущем среди основных средств повышения урожайности сельскохозяйственных культур останутся удобрения, поэтому с каждым годом доля их в круговороте питательных веществ будет увеличиваться.

За счет применения промышленных минеральных удобрений обеспечивается 50 % прироста урожая, а по некоторым культурам (хлопчатник на орошаемых землях, чай) — около 80 %.

Полный отказ от использования минеральных удобрений, который иногда предлагают в качестве одного из возможных путей развития сельского хозяйства, приведет к катастрофическому сокращению производства продовольствия. Поэтому единственно правильное решение данной проблемы — это не отказ от применения, а коренное улучшение технологии использования минеральных удобрений, внесение их в оптимальных дозах и соотношениях, правильное хранение. При неравномерном их внесении одни растения получают избыточное, а другие — недостаточное количество питательных веществ. Это приводит к неодинаковым темпам развития и созревания растений, снижению урожая и качества продукции.

Наряду с основными элементами питания в минеральных удобрениях часто присутствуют различные примеси в виде солей тяже-

лых металлов, органических соединений, радиоактивных изотопов. Сырье для получения минеральных удобрений (фосфориты, апатиты, сырые калийные соли), как правило, содержит значительное количество примесей — от  $10^{-5}$  до 5 % и более. Из токсичных элементов могут присутствовать мышьяк, кадмий, свинец, фтор, стронций, которые должны рассматриваться как потенциальные источники загрязнения окружающей среды и строго учитываться при внесении в почву минеральных удобрений.

К критической группе веществ, накопление которых ведет к стрессу окружающей среды, относятся ртуть, свинец, кадмий, мышьяк и др. Среди них наиболее токсичны первые три элемента и некоторые их соединения.

В природе в результате антропогенного воздействия происходит накопление тяжелых металлов, поступающих из застывшей земной магмы, обычно покрытой безвредными поверхностными осадками. Во многих странах мира в результате рудных разработок образовались области загрязнения площадью от нескольких квадратных метров до нескольких гектаров. На них преобладают почвы с большим содержанием тяжелых металлов, которые токсичны для сельскохозяйственных культур. Высокая концентрация их в почвенном растворе полностью останавливает рост корней и вызывает гибель растений.

Выпадение кислотных дождей, обычное в районах загрязнения среды тяжелыми металлами, повышает их подвижность и создает угрозу попадания в грунтовые воды, а также увеличивает вероятность поступления избытка этих металлов в растения.

Высокий уровень интенсификации производства, рост городов неизбежно вызывают негативные изменения в биосфере. Воздействие человека на биосферу в целом и на составляющие ее компоненты — педосферу, атмосферу и гидросферу — весьма сложно и многообразно и приводит чаще всего к необратимым последствиям. Все изменения антропогенной природы нарушают естественный, сформировавшийся в течение длительного периода баланс каждой экосистемы. В результате сельскохозяйственной деятельности многие экосистемы превратились в искусственные агроэкосистемы с существенно измененным химическим составом.

Загрязнение среды химическими веществами — один из наиболее сильных факторов разрушения компонентов биосферы. Среди загрязнителей химической природы тяжелые металлы имеют особое экологическое, биологическое и медицинское значение.

К тяжелым металлам относят группу химических элементов плотностью более  $5 \text{ г/см}^3$ . Такое разделение характерно для технической литературы, где металлы классифицируются на легкие и тяжелые. В биологической классификации к тяжелым металлам относят металлы с относительной атомной массой более 40. Термин «тяжелые металлы» следует употреблять, когда речь идет об опасных для животных организмов концентрациях элемента с от-

носителем массой более 40, и считать его же микроэлементом в том случае, если он находится в почве, растениях, организме животных и человека в нетоксичных концентрациях или используется в малых количествах как удобрение или минеральная добавка к корму для улучшения роста и развития растений и животных.

Главными источниками техногенного загрязнения биосферы являются промышленность и автотранспорт. Минеральные (N, P, K), органические удобрения, средства химической мелиорации почв и защиты растений также усиливают техногенную нагрузку на окружающую среду, так как с удобрениями (особенно фосфорными и органическими) и пестицидами в нее поступают многочисленные примеси тяжелых металлов.

Тяжелые металлы, выделяемые антропогенными источниками, поступают в окружающую среду и вовлекаются в сложившиеся биогеохимические циклы. Одним из путей выявления и предупреждения негативных последствий антропогенных изменений в агроценозах является организация мониторинга, который включает систему наблюдений как за живой, так и за неживой частями биосферы.

Мониторинг ставит следующие основные задачи:

наблюдение за состоянием почвы и растений или биосферы в целом;

оценка и прогноз этого состояния;

оценка опасности антропогенного воздействия на окружающую среду, и в частности, на агроценозы, выявление источников загрязнения;

разработка мероприятий (рекомендаций), направленных на снижение опасности загрязнения среды и негативного влияния на животных и человека, а также своевременное прогнозирование и предупреждение нежелательных последствий, связанных с загрязнением.

Важной составной частью мониторинга антропогенных изменений в биосфере является мониторинг загрязнения почв тяжелыми металлами.

Почвенный покров не только геохимически аккумулирует компоненты загрязнений, но и выступает как природный буфер, существенно снижающий токсичное действие тяжелых металлов и регулирующий поступление химических элементов в растение и, как следствие, в организм животных и человека. В отличие от атмосферы и гидросферы, где наблюдаются процессы периодического самоочищения от тяжелых металлов, почва практически не обладает такой способностью. Металлы, накапливающиеся в почвах, удаляются крайне медленно лишь при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции. В этой связи разработка агрохимических мероприятий, снижающих поступление тяжелых металлов в сельскохозяйственные растения, приобретает большую агроэкологическую значимость. Все это требует деталь-



ного изучения характера распределения и путей трансформации подвижных и неподвижных форм соединений тяжелых металлов в почве и контроля за их поведением в агроценозах.

С одной стороны, металлы-микроэлементы, оказывая непосредственное влияние на формирование урожаев сельскохозяйственных культур и качество продукции, являются важным компонентом почв; с другой стороны, чрезмерное поступление тяжелых металлов в биосферу в результате хозяйственной деятельности вызывает загрязнение почвы и растений вследствие накопления их выше допустимых концентраций, опасных для здоровья животных и человека. В настоящее время фоновым уровнем содержания тяжелых металлов в почвах принято считать естественное содержание металлов с учетом металлов антропогенного происхождения как следствие глобального переноса загрязнителей от источников их выброса в окружающую среду. Вероятно, наиболее правильно под «фоновым» следовало бы понимать содержание элемента в почвах, находящихся на большом удалении от источников загрязнения.

Валовое содержание тяжелых металлов в естественных незагрязненных почвах обусловлено содержанием элементов в материнской породе и определяется генезисом, петрографией и процессами почвообразования. Количество подвижных форм химических элементов в почвах связано с реакцией среды, содержанием в почве органического вещества, гранулометрическим составом, биологическим круговоротом элементов, растительным покровом и процессами миграции металлов в почвенном профиле (табл. 152).

**152. Содержание тяжелых металлов, мг/кг**

| Показатель                | Cu    | Zn     | Pb    | Cd       | Ni    |
|---------------------------|-------|--------|-------|----------|-------|
| Литосфера                 | 47    | 83     | 16    | 0,13     | 58    |
| Почвы мира                | 6—60  | 10—300 | 2—200 | 0,1—1,5  | 1—100 |
| Почвы России              | 7—50  | 20—150 | 10—70 | 0,01—1,4 | 5—80  |
| Дерново-подзолистые почвы | 10—20 | 10—100 | 10—50 | 0,1—0,3  | 10—20 |

Кадмий обладает более высокой, чем свинец, миграционной способностью (соединения кадмия примерно в 100 раз более растворимы, чем соединения свинца, и соответственно он более подвижен в почве). Почвы одного и того же типа могут различаться по содержанию кадмия в 10—50 раз. Причем фоновые уровни содержания кадмия в почве, как правило, не превышают 0,5 мг/кг, поэтому более высокое его значение свидетельствует об антропогенном загрязнении пахотного слоя почвы.

Для оценки доступности тяжелых металлов сельскохозяйственным растениям и их миграционной способности по профилю почвы проводят определение подвижности элементов или их соеди-

нений в почвах, т. е. их способности переходить из твердой фазы почвы в почвенный раствор. Подвижность металлов обуславливается их природой, минералогическим составом почвы, содержанием органического вещества, реакцией почвенного раствора.

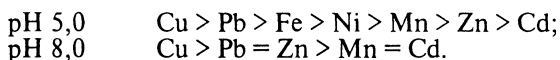
Из дерново-подзолистых почв, не подверженных антропогенному загрязнению, ацетатно-аммонийным буферным раствором (рН 4,8) извлекается: цинка 0,12—0,20 мг/кг, меди 0,05—2,0, свинца 0,5—1,0, кадмия 0,05—0,12 мг/кг. Среднее содержание подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве составляет: свинца 0,5 мг/кг, кадмия 0,06, цинка 0,8, меди 0,05, никеля 0,2 мг/кг (Обухов, 1987; Попова, 1992).

Для оценки последствия загрязнения тяжелыми металлами важное значение имеют определение уровня естественного (исходного) содержания и изучение закономерностей их миграции.

Тяжелые металлы довольно значительно различаются по способности взаимодействовать с различными компонентами твердой фазы почвы. Концентрация металлов, имеющих ионный радиус 0,5—0,8 Å ( $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ) и координационное число 6, имеет положительную корреляцию с содержанием илистой фракции почвы. Они могут вступать в реакции изоморфного замещения с алюминием и другими металлами (Fe, Mg) в октаэдрах алюмосиликатов. В илистой части дерново-подзолистых почв содержание тяжелых металлов в 2—4 раза выше, чем в почве в целом. Элементы с большим радиусом (свинец, кадмий) не способны к изоморфному замещению в октаэдрах. Они более активно связываются органическим веществом почвы. Их концентрация в почве положительно коррелирует с содержанием гумуса.

Помимо обменного поглощения гумусовые вещества образуют с тяжелыми металлами многообразные комплексные органо-минеральные соединения (фульваты и гуматы), что значительно снижает их миграционную способность и доступность растениям. Устойчивость комплексов тяжелых металлов с гуминовыми и фульвокислотами возрастает с увеличением заряда и уменьшением размера ионов. Наиболее устойчивые комплексы образуют металлы,  $e^-$ -оболочки которых заполнены  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  или же  $p$ - и  $d$ -подуровнями ( $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ).

По прочности связи металлокомплексов в дерново-подзолистой почве они располагаются в следующем порядке:



Тяжелые металлы могут выступать в роли ведущего экологического фактора, определяющего направление и характер развития агробиocenозов. Массовое загрязнение ими окружающей среды приводит к явно выраженным токсикозам растений, животных и человека и поэтому сравнительно легко диагностируется.

Более сложно оценить воздействие относительно невысоких концентраций тяжелых металлов, которые без внешних признаков токсичности растений медленно и малозаметно отрицательно влияют на здоровье человека и окружающую среду в целом. Однако именно такое загрязнение встречается наиболее часто. Длительные загрязнения вызывают существенные сдвиги в биологическом равновесии.

Почва — основная среда, в которой накапливаются тяжелые металлы в результате антропогенной деятельности. Основная масса техногенно-рассеянных металлов, хотя и выбрасывается в атмосферу, довольно быстро поступает на поверхность почвы. Значительная часть их включается в почвообразовательные процессы (сорбируется ППК, связывается органическим веществом и т. д.); некоторая часть металлов поглощается сельскохозяйственными культурами и отчуждается с урожаем.

Загрязнение почвы тяжелыми металлами отрицательно влияет не только на растительные, но и на микробиологические ценозы. Среди различных биологических критериев оценки токсичности тяжелых металлов в почве, по-видимому, наиболее перспективно использование биохимических и микробиологических показателей активности почв. При этом особую ценность представляют данные о напряженности биохимических процессов в почве — азотфиксации, нитрификации, минерализации растительных остатков.

Установлено, что на высокогумусированных почвах негативное действие ионов тяжелых металлов значительно снижается вследствие связывания их в органо-минеральные комплексы, что приводит к образованию малотоксичных и нетоксичных хелатов. Именно этим объясняется меньшая токсичность тяжелых металлов на богатом органическим веществом черноземе.

Важный критерий плодородия почвы — ее ферментативная активность. По данным Г. Д. Белецкой (1985), содержание кадмия 7 мг/кг в дерново-подзолистых почвах Московской области способствовало заметному снижению дегидрогеназной активности, а при 15 мг/кг инвертазная активность почвы тормозилась. Аналогичное действие на этой почве оказывали свинец, цинк и медь в концентрациях соответственно 200, 500 и 5 мг/кг почвы. Увеличение концентрации этих металлов соответственно до 500, 1000 и 10 мг/кг полностью блокировало ферментативную активность почвы.

В разных почвах тяжелые металлы оказывают неодинаковое действие на микрофлору и протекающие в почвах биохимические процессы. По данным Н. Г. Зырина (1989), при содержании кобальта в дерново-подзолистой окультуренной почве 100 мг/кг активность амилазы, инвертазы, протеазы и дегидрогеназы была в 2 раза ниже, чем на контроле (на контроле 8 мг/кг почвы), каталазная активность снизилась на 25 %. Внесение свинца в количе-

стве 1000 мг/кг почвы лишь незначительно снижало ферментативную активность почвы.

Техногенное воздействие на почву солей тяжелых металлов в течение нескольких лет, как правило, приводит к заметным изменениям численности основных групп микроорганизмов. Исследования Г. А. Евдокимовой и др. (1988) показали, что загрязнение почвы медью (в 2—3 раза выше фоновых) существенно изменяет микробиологические сообщества. Наиболее чувствительны сапрофитные микроорганизмы и актиномицеты, вызывающие минерализацию растительных остатков. На загрязненных тяжелыми металлами почвах происходит относительное увеличение олиготрофных микроорганизмов и грибов.

Добавление в богатую органическим веществом почву свинца в количестве 0,1 и 0,3 % от ее массы снижало рост бактерий в среднем соответственно на 50 и 70 %. Установлено, что у большинства микроорганизмов, длительно обитавших в экстремальных условиях загрязнения почвы тяжелыми металлами, выработались механизмы адаптации к верхним пороговым концентрациям солей по сравнению с микрофлорой незагрязненных регионов.

Микробиологический эффект, проявляющийся в угнетении роста микроорганизмов, явно выражен на дерново-подзолистых почвах при 5—6-кратном превышении концентрации тяжелых металлов в почве по сравнению с фоном, а на черноземах — при 7—9-кратном (Скворцова, 1990). По данным некоторых авторов, внесение свинца и кадмия в виде  $Pb(NO_3)_2$  и  $CdSO_4$  в количестве, в 2—3 раза превышающем их фоновое содержание в почве (10—20 мг/кг), задерживает развитие многих микроорганизмов.

Следует отметить, что влияние солей тяжелых металлов не ограничивается только тем, что они проявляют фитотоксичность. Почва является многокомпонентной функциональной системой со сложными взаимозависимыми отношениями, поэтому блокирование или существенное угнетение одной из систем непосредственно отразится на всей системе, нарушая ее нормальное функционирование.

Свинец и кадмий отличаются высокой кумулятивной способностью в организмах теплокровных животных и человека. Поэтому в результате загрязнения этими металлами почвы и растений наибольшей опасности подвергаются конечные звенья пищевой цепи, в том числе человек. Одним из наиболее вредных токсикантов является кадмий. Попадая в почву, он абсорбируется корневой системой растений, накапливается в них и по пищевым цепям может поступать в организм животных и человека. У млекопитающих он накапливается в основном в печени, почках, костях, шерсти (Захаров, 1975). Дозы кадмия (значительно ниже полуметаллических) вызывают у животных гибель половых клеток и стерильность. Соединения кадмия обладают явно выраженными тератогенным и мутагенным эффектами, что проявляется уже при концентрации  $CdCl_2$   $2 \cdot 10^{-5}$  мг/л (Козаченко и др., 1987).

Кадмий, ртуть и свинец практически невозможно изъять из почвы, поэтому они все больше накапливаются в ней и различными путями попадают в организм человека. Основной путь уменьшения содержания тяжелых металлов в растительной продукции — разработка совершенных технологических приемов снижения их подвижности в почве.

При разработке мероприятий по снижению содержания тяжелых металлов в сельскохозяйственных растениях, возделываемых на почвах, подвергающихся антропогенному загрязнению, возникает необходимость решения ряда проблем. С агрономической и экологической точек зрения необходимы такие приемы возделывания культур, которые одновременно способствовали бы снижению поступления тяжелых металлов в растения и уменьшению их содержания в корнеобитаемом слое почвы. Трудности решения данной проблемы состоят в том, что агрохимические мероприятия, способствующие уменьшению поступления тяжелых металлов в растения (известкование, внесение органических удобрений, повышение гумусированности почв и емкости катионного обмена), вызывают накопление их в почве в форме малорастворимых соединений, в результате чего подвижность металлов и естественная миграция их по профилю почвы снижаются.

Так, при известковании кислых почв кадмий, ртуть, свинец, кобальт, никель и другие металлы образуют практически нерастворимые гидроксиды и карбонаты, произведения растворимости которых находятся в пределах  $10^{-12}$  —  $10^{-17}$ . Ограниченные подвижность и доступность металлов растениям приводят в этих условиях к снижению их содержания в продукции, но одновременно увеличивают степень загрязнения почвы в результате ослабления миграционных потоков.

Следует отметить, что к настоящему времени вследствие недостаточного изучения влияния внешних факторов на процессы трансформации тяжелых металлов в почве определенной концепции о характере эволюции почв в условиях антропогенного загрязнения не сформировалось. Однако можно с уверенностью сказать, что агрохимические приемы позволяют существенно снизить содержание тяжелых металлов в растениях.

Результаты наших исследований в длительном (с 1956 г.; Ягодин, Маркелова) стационарном опыте полевой станции Московской сельскохозяйственной академии показали, что в условиях интенсивного антропогенного загрязнения (опытная станция расположена в черте г. Москвы) почва аккумулировала значительные количества тяжелых металлов, в том числе кислоторастворимых форм свинца 15—20 мг/кг, кадмия 1,0—1,6 мг/кг. Периодическое известкование легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы независимо от способов ее основной обработки (вспашка на глубину 23—25 см, периодическая трехъярусная вспашка на глубину 38—40 см, дискование — 10—12 см) приводило к значительному сни-

жению концентрации свинца и кадмия в клубнях картофеля как на контроле (без удобрений), так и при внесении минеральных и органических удобрений (табл. 153).

**153. Содержание свинца и кадмия в клубнях картофеля, мг/кг сухой массы (полевой длительный опыт МСХА)**

| Элемент  | Без удобрений | NPK  | Навоз, 40 т | NPK + навоз | 1,5 (NPK + навоз) |
|--|---------------|------|-------------|-------------|-------------------|
| <i>Вспашка на 25 см</i>                            |               |      |             |             |                   |
| Свинец   | 1,81          | 2,69 | 2,43        | 2,91        | 2,88              |
|  | 1,57          | 1,83 | 1,51        | 2,22        | 1,85              |
| Кадмий   | 0,59          | 0,69 | 0,35        | 0,63        | 0,47              |
|  | 0,23          | 0,32 | 0,25        | 0,40        | 0,35              |
| <i>Периодическая трехъярусная вспашка на 40 см</i> |               |      |             |             |                   |
| Свинец   | 2,76          | —    | —           | 2,79        | 2,92              |
|  | 1,91          | —    | —           | 1,89        | 2,30              |
| Кадмий   | 0,65          | —    | —           | 0,55        | 0,80              |
|  | 0,20          | —    | —           | 0,13        | 0,29              |

*Примечание.* Над чертой — без извести, под чертой — с известью.

На известкованном фоне содержание свинца по сравнению с неизвесткованной почвой снижалось на 20—60 %, кадмия — на 50—300 %. Следовательно, внесение извести более существенно влияет на содержание в клубнях картофеля кадмия, чем свинца.

Разработка технологий получения экологически чистой продукции растениеводства требует детального учета степени воздействия биогенных и абиогенных факторов внешней среды на химический состав сельскохозяйственных культур. Согласно нашим исследованиям концентрация тяжелых металлов в продукции в значительной мере определяется видовыми особенностями культур и характером антропогенного загрязнения. Агротехнические приемы, в том числе известкование, существенно ограничивают поступление тяжелых металлов в растения в случае загрязнения почвы. При интенсивном и систематическом поступлении металлов с осадками или пылью (вблизи дорог и промышленных зон) с помощью известкования не удастся существенно снизить их содержание в надземных органах растений.

Исследования, проведенные с озимой пшеницей и ячменем на опытной станции МСХА (в черте города), показали, что содержание свинца и кадмия в зерне и соломе в большей степени варьировало по годам в зависимости от погодных условий, чем от агротехнических приемов обработки почвы и возделываемых культур. В этих опытах в результате некорневого поступления тяжелых ме-

таллов на растения с пылью содержание свинца в зерне на неизвесткованном фоне колебалось в пределах 1,3—2,7 мг/кг, на фоне извести — 2,8—4,8 мг/кг (ПДК свинца в зерне 2,0 мг/кг); содержание кадмия по годам составляло 0,4—1,3 мг/кг (ПДК кадмия 0,3 мг/кг).

В опыте с ячменем (табл. 154) известкование снижало содержание кадмия, свинца, никеля, хрома в зерне, однако их концентрации оставались значительно выше ПДК. Следовательно, при интенсивном атмосферном загрязнении почвы и растений тяжелыми металлами агротехнические приемы снижения их концентрации в зерновых культурах могут оказаться малоэффективными.

**154. Накопление тяжелых металлов в зерне ячменя, мг/кг сухой массы**

| Вариант опыта                           | Cd      |             | Pb      |             | Ni      |             | Cr      |             |
|---|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|
|   | известь | без извести | известь | без извести | известь | без извести | известь | без извести |
| <i>Вспашка на 23—25 см</i>              |         |             |         |             |         |             |         |             |
| Контроль                                | 1,04    | 1,40        | 2,60    | 3,40        | 1,48    | 1,92        | 0,28    | 0,80        |
| NPK                                     | 0,95    | 1,04        | 2,64    | 3,72        | 2,08    | 3,08        | 0,44    | 0,74        |
| Навоз                                   | 0,40    | 1,36        | 2,12    | 4,84        | 1,24    | 2,28        | 0,24    | 0,80        |
| NPK + навоз                             | 1,04    | 1,28        | 2,60    | 3,96        | 1,60    | 2,44        | 0,96    | 0,96        |
| 1,5 NPK + 1,5 навоз                     | 1,04    | 1,12        | 2,00    | 4,44        | 1,52    | 2,16        | 0,24    | 0,60        |
| <i>Дискование на 10—12 см</i>           |         |             |         |             |         |             |         |             |
| NPK                                     | 1,00    | 1,20        | 3,20    | 4,24        | 1,00    | 1,20        | 0,40    | 0,60        |
| <i>Трехъярусная вспашка на 38—40 см</i> |         |             |         |             |         |             |         |             |
| Контроль                                | 1,12    | 1,28        | 2,40    | 3,80        | 1,12    | 1,28        | 0,56    | 0,84        |
| NPK + навоз                             | 0,96    | 1,24        | 2,40    | 2,96        | 0,96    | 1,24        | 0,20    | 0,40        |
| 1,5 NPK + 1,5 навоз                     | 0,96    | 1,24        | 2,72    | 3,04        | 0,96    | 1,24        | 0,08    | 0,52        |
| Среднее                                 | 1,05    | 1,24        | 2,52    | 3,82        | 1,33    | 1,87        | 0,38    | 0,70        |

В то же время исследования, проведенные в экологически относительно чистой зоне, вдали от промышленных районов и автомагистралей, показывают, что при отсутствии атмосферных загрязнений известкование значительно (в 1,5—2,0 раза) снижает содержание свинца и кадмия в зерне озимой пшеницы (табл. 155).

**155. Влияние известкования на содержание свинца и кадмия в зерне озимой пшеницы, мг/кг (среднее из четырех полевых опытов)**

| Элемент | pH <sub>сеп</sub> |         |         |           |
|---------|-------------------|---------|---------|-----------|
|         | 4,1—4,3           | 4,5—4,8 | 5,2—5,6 | 6,5—6,8   |
| Свинец  | 1,7—2,1           | 1,5—1,9 | 1,3—1,6 | 1,0—1,4   |
| Кадмий  | 0,3—0,4           | 0,3—0,4 | 0,2—0,3 | 0,15—0,25 |

Содержание в почве подвижных форм свинца составило 8—11 мг/кг, кадмия — 0,17—0,26 мг/кг. При этом положительное

действие известкования находилось в прямой зависимости от дозы извести.

Наряду с известкованием большое влияние на урожай и качество сельскохозяйственной продукции оказывают окультуренность почвы, минеральные и органические удобрения. Несмотря на бытующее мнение о негативном действии минеральных и органических удобрений на содержание тяжелых металлов в растениях, наши исследования показали, что длительное их применение даже при относительно высоком естественном содержании тяжелых металлов в фосфорных и органических удобрениях не увеличивало, а, как правило, снижало концентрацию тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции в результате «ростового разбавления» при значительном увеличении урожайности.

Результаты длительного (25-летнего) опыта, проведенного на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Подольского района Московской области, убедительно свидетельствуют о том, что систематическое применение под различные сельскохозяйственные культуры расчетных доз минеральных и органических удобрений не увеличивает содержание свинца и кадмия в товарной продукции (табл. 156).

**156. Влияние удобрений на содержание свинца и кадмия в растениях (мг/кг) на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве**

| Вариант опыта | Элемент | Вика | Овес (сено) | Клевер | Тимо-феявка | Озимая пшеница | Овес (зерно) | Ячмень |
|---------------|---------|------|-------------|--------|-------------|----------------|--------------|--------|
| Без удобрений | Свинец  | 2,90 | 1,20        | 3,90   | 1,82        | 1,83           | 1,65         | 2,80   |
|               | Кадмий  | 0,40 | 0,36        | 0,61   | 0,36        | 0,20           | 0,30         | 0,40   |
| НРК + навоз   | Свинец  | 2,80 | 1,60        | 3,80   | 1,60        | 0,20           | 2,25         | 3,20   |
|               | Кадмий  | 0,36 | 0,38        | 0,40   | 0,24        | 0,04           | 0,38         | 0,36   |

Высокий уровень содержания подвижного фосфора в почве приводит к заметному снижению подвижности в ней свинца, кадмия и других тяжелых металлов в результате образования нерастворимых фосфатов. Аналогичное влияние оказывает также внесение высоких доз фосфорных удобрений (табл. 157).

**157. Влияние фосфорных удобрений (преципитат) на содержание свинца и кадмия в сене злаковых трав, мг/кг (в среднем за 5 лет; почва дерново-луговая; Strassel, 1991)**

| Элемент | Доза фосфора ( $P_2O_5$ ) при залуужении, кг/га |      |      |      |
|---------|---|------|------|------|
|         | NK-фон  | 100  | 300  | 600  |
| Свинец  | 1,5   | 1,4  | 0,9  | 0,8  |
| Кадмий  | 0,36  | 0,29 | 0,17 | 0,11 |

Из данных таблицы 157 следует, что применение умеренных доз фосфорных удобрений практически не влияет на содержание свинца и кадмия в сене многолетних лугопастбищных трав, в то



время как при повышенных и высоких дозах фосфора ( $P_{300}$  и  $P_{600}$ ) содержание тяжелых металлов в сельскохозяйственных растениях уменьшалось в 1,5—2,0 раза по сравнению с контролем (НК).

При повышении гумусированности почв различных агроценозов подвижность и миграционная способность тяжелых металлов в них значительно снижаются, вследствие чего существенно уменьшается опасность загрязнения ими источников питьевой воды, рек, водоемов и продукции растениеводства.

Исследования, проведенные в длительном стационарном опыте в Подольском районе Московской области, показали, что хорошо окультуренная высокогумусированная дерново-подзолистая почва (содержание гумуса 2,7—2,9 %) обладала более высокой аккумулярующей способностью к тяжелым металлам по всему профилю по сравнению с неокультуренной слабогумусированной (1,2 % гумуса) почвой одного и того же минералогического состава и генезиса (табл. 158). При этом поступление тяжелых металлов в различные сельскохозяйственные растения и содержание их в товарной продукции не увеличивались (см. табл. 156) вследствие образования слабодиссоциированных хелатов.

**158. Влияние гумусированности дерново-подзолистой почвы на содержание свинца, мг/кг**

| Горизонт почвы, см | Окультуренность почвы |                       |                       |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                    | слабая (гумус 1,2 %)  | средняя (гумус 2,1 %) | высокая (гумус 2,8 %) |
| 0—20               | 6,3                   | 7,5                   | 8,3                   |
| 20—40              | 5,0                   | 5,5                   | 5,7                   |
| 40—60              | 4,3                   | 4,6                   | 5,2                   |

Наряду с известкованием, внесением минеральных и органических удобрений важным агротехническим приемом, оказывающим непосредственное влияние на урожай и его качество, является система обработки почвы. Получившая в последнее время широкое распространение минимальная поверхностная обработка почвы может быть экономически оправдана в экологически чистых регионах на слабозасоренных высокогумусированных плодородных почвах. В районах повышенного поверхностного загрязнения почвы возникает необходимость оборота пласта с глубокой заделкой верхнего слоя.

Результаты наших исследований показали, что применение ежегодной безотвальной обработки почвы (дискование на глубину 10—12 см) приводит к нежелательным последствиям — дифференциации пахотного слоя почвы, вызванной накоплением в верхнем ее слое не только макроэлементов, но и значительных количеств тяжелых металлов. Более высокий уровень загрязнения верхнего слоя (0—10 см) почвы является, несомненно, одной из причин, вызывающих повышенное содержание тяжелых металлов в сельс-

кохозяйственной продукции. Согласно данным длительного полевого опыта МСХА (табл. 159) периодическая трехъярусная глубокая обработка дерново-подзолистой почвы заметно снижает концентрацию многих тяжелых металлов в растениях по сравнению с ежегодным ее дискованием на глубину 10—12 см.

**159. Влияние способа обработки дерново-подзолистой почвы на содержание тяжелых металлов в клубнях картофеля, мг/кг сухой массы**

| Способ обработки                         | Pb                  | Cd                  | Ni                  | Cu                  | Zn                  | Cr                  | Co                  |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Дискование на глубину 10—12 см           | <u>2,70</u><br>2,10 | <u>0,77</u><br>0,32 | <u>1,49</u><br>2,03 | <u>6,40</u><br>5,60 | <u>35,6</u><br>34,3 | <u>0,85</u><br>0,41 | <u>0,60</u><br>0,71 |
| Трехъярусная вспашка на глубину 38—40 см | <u>2,36</u><br>1,89 | <u>0,55</u><br>0,13 | <u>0,55</u><br>1,40 | <u>4,40</u><br>4,60 | <u>25,7</u><br>27,8 | <u>0,60</u><br>0,29 | <u>0,52</u><br>0,60 |

*Примечание.* Над чертой — без извести, под чертой — с известью.

Таким образом, результаты наших исследований путей оптимизации способов расширенного воспроизводства плодородия почв и получения безопасной продукции растениеводства позволяют сделать следующее заключение:

в районах антропогенного загрязнения почв систематическое применение известковых и минеральных удобрений значительно снижает уровень содержания тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции и тем самым существенно повышает ее качество;

в районах систематического интенсивного атмосферного загрязнения (вблизи промышленных зон и автострад) различные способы основной обработки почв, внесение удобрений и средств химической мелиорации не являются достаточно надежными агротехническими приемами получения экологически чистой продукции и могут быть малоэффективными;

при антропогенном загрязнении почвы минеральные и органические удобрения существенно снижают концентрацию тяжелых металлов в растениях в результате «ростового разбавления» при повышении урожайности сельскохозяйственных культур, в то время как суммарное их количество, отчуждаемое с урожаем, значительно увеличивается;

применение органических удобрений заметно снижает опасность загрязнения тяжелыми металлами источников питьевой воды, рек, водоемов и сельскохозяйственной продукции в результате снижения растворимости и миграционной способности тяжелых металлов;

в зонах активной антропогенной нагрузки необходима перио-

дическая глубокая вспашка, которая устраняет локализацию тяжелых металлов в верхнем корнеобитаемом слое почвы и снижает их накопление в продукции.

Поступление микроэлементов в составе техногенной пыли приводит к образованию «техногенного» максимума в распределении микроэлементов по профилю почв, обычно приуроченного к верхней части почвенного профиля. Происхождение техногенного максимума в профиле почв в значительной степени зависит от ландшафта. Геохимически подчиненные ландшафты вторично загрязняются за счет аллювиальных ландшафтов при поверхностном и внутрипочвенном стоках, при весеннем стоке. Связь микроэлементов с содержанием гумуса обнаруживается не всегда. Почвы под пашней содержат меньше микроэлементов, чем под естественной растительностью. Обедненность почв и пород микроэлементами, промывной режим и кислая реакция среды ведут к низкой обеспеченности почв подвижными соединениями.

Добродеев и Голиков (1990) выявили локальную геохимическую аномалию в сфагнуме и торфе верховых болот, примыкающих к комбинату «Азот», построенному всего за 15 лет до сбора образцов. Отмечено отчетливое увеличение концентрации тяжелых металлов в торфе по мере приближения к источнику загрязнения (табл. 160).

**160. Концентрация тяжелых металлов в торфе верховых болот вблизи комбината «Азот» на разном расстоянии от источника загрязнения, мг/кг**

| Металл | Среднее по изученному полигону | Среднее по зонам техногенной нагрузки на расстоянии от источника загрязнения |          |          |
|--------|--------------------------------|--|----------|----------|
|        |                                | 0—10 км  | 10—20 км | 20—35 км |
| Cu     | 5,0                            | 10,8   | 4,2      | 2,0      |
| Zn     | 44,6                           | 68,8   | 45,8     | 33,4     |
| Cr     | 3,2                            | 6,9  | 2,5      | 1,5      |
| Co     | 2,6                            | 6,0  | 1,9      | 0,8      |
| Mn     | 136,7                          | 351,0  | 105,1    | 43,2     |
| Fe     | 2510                           | 6700   | 2340     | 900      |
| Ni     | 3,4                            | 7,2  | 3,1      | 1,8      |
| Cd     | 0,60                           | 1,1  | 0,4      | —        |
| Pb     | 21,7                           | 26,0   | 17,0     | —        |

Мотузова и Абрамова (1986) исследовали содержание меди, цинка и марганца в ландшафтах северной части Кировской области, равнину бассейна р. Северная Двина. Установлено, что почвообразующие породы обеднены медью (3—29 мг/кг), цинком (9—20 мг/кг) и марганцем (28—52 мг/кг). В покровных суглинках и глинах, в карбонатной морене содержание цинка колеблется от 57 до 66 мг/кг, марганца — от 620 до 1400 мг/кг. Содержание микроэлементов в почве определяется ее приуроченностью к элементу ландшафта, почвообразующей породой и типом почвообразова-

ния. Обогащены цинком (108—126 мг/кг), медью (35—38 мг/кг) и марганцем (1050—2630 мг/кг) иловато-болотные почвы на аллювиальных суглинках, приуроченные к супераквальному ландшафту. Бедны медью (5—12 мг/кг), цинком (8—21 мг/кг) и марганцем (51—98 мг/кг) песчаные подзолистые почвы элювиального ландшафта. На содержание микроэлементов в почвах существенно влияет аэрогенная деятельность человека.

Журавлева и Сиволобова (1978) установили, что в дерново-подзолистых почвах Ярославской области, различающихся по степени окультуренности и гранулометрическому составу, в гумусовых горизонтах содержание свинца от 11 до 16 мг/кг, никеля от 13 до 27 мг/кг, ванадия от 37 до 68 мг/кг. Более высокая концентрация свинца в гумусовых горизонтах по сравнению с почвообразующими породами свидетельствует о его активном участии в биологическом круговороте.

В естественных условиях биогеохимические процессы, приводящие к качественным изменениям окружающей среды, протекают медленно, и поэтому человеческий организм, нередко проявляя избирательную способность к определенным химическим элементам или веществам, успевает адаптироваться. В настоящее время при интенсивном изменении биогеохимической среды человеческого организм не может приспособиться и отвечает патологическими состояниями. Биогеохимические регионы, субрегионы и провинции, характеризующиеся недостатком важных микроэлементов, наиболее уязвимы при антропогенном загрязнении тяжелыми металлами.

Явления конкурентного и неконкурентного взаимоотношений лежат в основе антагонизма и синергизма элементов, что следует учитывать при создании оптимизированных систем питания растений и преодолении влияния того или иного загрязнителя (Ягодин, 1991). Установлено, что токсичность тяжелых металлов зависит не только от концентрации микроэлемента, но и от обеспеченности всеми элементами питания. При отсутствии в среде одного или нескольких элементов питания токсичность избыточного элемента проявляется уже при значительно меньших его концентрациях. Повышенный фон эссенциальных элементов повышает устойчивость организмов к кадмию, никелю и хрому в концентрациях, вызывающих в других условиях патологические изменения (Авцын и др., 1991). Следует учитывать, что использование элемента-антагониста для снижения поступления избыточного элемента может привести к нарушению поступления многих других элементов. Принцип снятия токсичного действия всегда требует предварительного изучения конкретных данных и условий.

Антропогенная деградация почв, определяющаяся снижением содержания гумуса, сопровождается значительными изменениями не только качественного состава минеральных питательных эле-

ментов, но и часто трудно предсказуемым снижением или резким усилением доступности химических элементов растениям (Ягодин и др., 1991). В МСХА изучено влияние ряда микроэлементов (различные дозы и формы) на поступление как эссенциальных элементов, так и элементов-ксенобиотиков в зерно и пищевые части овощных культур. Исследователи отмечают эффект группового концентрирования тяжелых металлов, ранее обнаруженный Саенко (1990), что характерно для морских растений.

Разрабатываемые в лаборатории микроэлементов МСХА технологии выращивания сельскохозяйственной продукции с заданным элементным составом позволяют, применяя агрохимические способы внесения макро- и микроудобрений, контролировать и ограничивать поступление тяжелых металлов и нитратов в используемые в пищу части растений. Основой технологий служит выявление закономерностей поступления микроэлементов в зависимости от концентрации элемента, соотношения его с другими макро- и микроэлементами питания, типа почв, влагообеспеченности и т. д. Подобные закономерности выясняют для отдельных сельскохозяйственных культур, сортов (Кремин, 1990; Кокурин и др., 1990; Белозерова, 1990; Ягодин и др., 1993).

Коробова (1961), детально изучавшая поступление йода, кобальта и меди в растения в таежно-лесном биогеохимическом регионе России, рекомендует для преодоления и снижения дефицита этих элементов в растениях внедрять на культурных пастбищах наиболее адаптированные к местным условиям виды, регулировать влагообеспеченность растений на осушенных торфяниках, строго соблюдать оптимальные дозы известкования почв. Иными словами, проводить мероприятия, способствующие нормализации поступления йода, кобальта и меди в растения, а отсюда — в рацион травоядных животных.

В условиях вторичных биогеохимических аномалий, возникающих в зоне загрязнения от автодорог, при планировании выращивания сельскохозяйственных культур необходимо учитывать расстояние от дороги, преимущественное направление ветров, рельеф. В качестве мероприятия, снижающего поступление ксенобиотиков в почву и растения, предлагают посадку лесозащитных полос.

Вводят также сельскохозяйственные культуры, которые допустимо выращивать при повышенных концентрациях в среде элементов-токсикантов. При этом учитывают как действие токсикантов на рост и урожайность данной культуры, так и накопление токсикантов в съедобной части растения. Поэтому наиболее часто в местах поступления избыточных количеств тяжелых металлов рекомендуют выращивать технические культуры при условии, что их качество изменяется в допустимых нормах. Во всех случаях загрязнения почв, вод и продукции растениеводства необходимо проводить мониторинг. Применение органических, минеральных

и любых нетрадиционных удобрений должно быть разрешено после химического анализа их на содержание элементов-примесей. Следует отметить, что предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в растениях накапливаются и при более низком содержании элемента в почве, чем то, при котором наступают сильное угнетение и гибель растений.

В настоящее время назрела необходимость создания всеобщего перспективного плана специализации сельскохозяйственного производства по зонам и различным биохимическим провинциям с учетом последних достижений науки. Перед человечеством стоит задача не только сознательно управлять процессами взаимодействия общества и природы, но и предвидеть ближайшие и отдаленные последствия своего вмешательства в природные объекты.

Говоря о проблеме окружающей среды и применения удобрений, имеют в виду загрязнение почвы, воды и сельскохозяйственной продукции вредными для здоровья людей и животных элементами и веществами. Однако применение химических средств в сельском хозяйстве — это только малая часть хозяйственной деятельности человека, в результате которой может происходить загрязнение окружающей среды. Химическое воздействие человека на биосферу в современном мире носит глобальный характер. Поэтому, прежде чем рассматривать влияние удобрений на окружающую среду, необходимо отметить, что значительно возрос пресинг на нее токсичных веществ из других источников.

Огромный ущерб окружающей среде наносят использование природных источников энергии (уголь, нефть, газ), при сгорании которых в атмосферу выбрасывается большое количество вредных веществ, строительство промышленных комплексов, мощное развитие транспорта, вследствие чего загрязняются воды и почвы сельскохозяйственного назначения.

Ореол техногенного рассеяния металлов вблизи промышленных предприятий имеет радиус 2—3 км, а более крупных промышленных комплексах — 3—12 и даже 20—25 км.

Об огромном значении элементного состава растений свидетельствуют случаи эндемических заболеваний, которые возникают в условиях выраженного избытка или недостатка в геохимическом круговороте веществ биологически значимого элемента.

Известно, что недостаток или избыток микроэлементов во внешней среде и в пище может вызвать у животных и человека различные эндемические (неинфекционные) заболевания, например эндемический зоб или кариес. У бактерий изменения концентрации кобальта, меди, молибдена, ванадия эффективно стимулируют или подавляют обменные процессы; цинк необходим для деления клеток и переноса генетической информации, а железо способствует появлению у бактерий патогенных (болезнетворных) свойств.

Е. В. Ротшильд пришел к выводу, что заболевания раститель-

ноядных животных, вызываемые бактериями и вирусами, устойчиво связаны в природе с аномальной, необычной для своего географического места концентрацией химических элементов в кормовых растениях. Таким образом, аномальный сдвиг эколого-геохимических условий среды, в том числе и в результате техногенных загрязнений, может вызвать появление массовых заболеваний. Не исключено провоцирование и новых, ранее неизвестных болезней.

В природе выявлены естественные провинции с недостатком йода, фтора, селена, а также с избытком ряда элементов. В таких провинциях проявляются специфические заболевания.

«Металлический пресс» на биосферу, обусловленный хозяйственной деятельностью человека, может вызывать техногенные геохимические аномалии. По данным зарубежных авторов, в окрестностях металлургических заводов наблюдается недобор урожая зерновых на 20—30 %, бобовых — на 40, картофеля — на 47, кормовой и сахарной свеклы — на 35 %. Увеличиваются кислотность почвы и вместе с тем подвижность некоторых токсичных элементов.

По стандартам Европейского сообщества (ЕС), предельно допустимое содержание свинца в фураже составляет 10 мг/кг сухого вещества. В США вдоль автострад в траве накапливается до 50 мг свинца на 1 кг сухой массы, а в ФРГ у обочин дорог зафиксировано 7000 мг/кг, тогда как фоновая величина составляет 2—10, а естественная теоретическая 1 мг/кг.

При выращивании вблизи автострад капусты отмечено загрязнение свинцом наружных листьев — в них содержалось в 1,5—3,0 раза больше свинца, чем во внутренних. Исследования, проведенные в придорожных яблоневых садах, показали, что свинец накапливается главным образом в листьях яблонь. Несколько повышенный уровень содержания свинца в плодах, главным образом в кожце, обнаружили только на очень близком расстоянии от дороги (8 м).

Во всех сельскохозяйственных культурах, выращиваемых в обследованных придорожных зонах, было повышено содержание свинца; в зерне пшеницы и ячменя оно превышало фоновый уровень в 5—8 раз, в соломе — 4—5 раз. В капусте и моркови свинца содержалось в 4—6 раз больше, чем при выращивании на удаленных от автомагистрали участках. Длительное употребление таких продуктов в пищу вредно для здоровья человека — оно может привести к развитию эндемических заболеваний.

Из-за высокой токсичности даже небольшой уровень загрязнения продукции свинцом представляет опасность для здоровья. Повышенное по сравнению с фоновым содержание этого металла обнаружено в дикорастущих растениях (лапчатка, подорожник, мать-и-мачеха) на участках вдоль дорог с относительно невысокой интенсивностью движения. Сбор этих растений для использования в качестве лекарственных средств, а также скашивание травы на корм скоту недопустимы.

Помимо свинца придорожные полосы загрязняются кадмием и цинком. Они попадают в окружающую среду при истирании шин. Содержание кадмия в почвах придорожных зон превышает местный геохимический фон в 2—3 раза, цинка — в 4—10 раз.

В почвах Москвы вблизи Ленинградского шоссе на расстоянии до 50 м по обе стороны дороги концентрация свинца достигает 200 мг/кг почвы (фон 9 мг/кг). В возделываемых на этих почвах культурах количество свинца возрастает: в клубнях картофеля в 20 раз, в ботве картофеля в 21, в листьях капусты и моркови — в 4—7, в зерне пшеницы и ячменя в 5—8 раз по сравнению с контрольными образцами, отобранными в 3 км от шоссе.

В ландшафтах, не затронутых хозяйственной деятельностью, содержание тяжелых металлов незначительное. Так, кларк кадмия в литосфере составляет 0,13 мг/кг, ртути — 0,083 мг/кг, свинца — 16 мг/кг.

Среднее содержание в золе растений кадмия и свинца  $n \cdot 10^{-4} \%$ , ртути  $n \cdot 10^{-6} \%$ . Эти данные позволяют судить о степени загрязнения и чистоты почв и принимать необходимые меры, направленные на сохранение почвенного плодородия и качества продукции сельского хозяйства.

В. П. Цемко с сотрудниками предлагают следующую группировку почв по степени загрязненности: слабозагрязненные почвы — содержание элемента 2—10 кларков, среднезагрязненные — от 10 до 30, сильнозагрязненные — свыше 30 кларков.

«Металлический пресс» становится постоянно действующим экологическим фактором.

В качестве показателя техногенного загрязнения введен специальный коэффициент обогащения. Он представляет собой отношение концентраций двух элементов в атмосферных осадках, деленное на отношение концентраций тех же элементов в земной коре. В нормальных условиях этот коэффициент близок к единице. Значение коэффициента обогащения больше единицы, особенно в несколько математических порядков, свидетельствует о техногенном загрязнении.

Наряду с основными элементами минерального питания в минеральных удобрениях часто присутствуют различные примеси в виде солей тяжелых металлов, радиоактивных веществ и т. д. Так, при внесении фосфорных удобрений в почву попадает кадмий, обладающий высокой токсичностью по отношению к живым организмам и канцерогенными свойствами.

Фосфатные руды в зависимости от геологического происхождения и географического положения содержат разное количество тяжелых металлов. Особенно большие различия в содержании кадмия. В простом суперфосфате есть примеси меди (17 мг/кг), цинка (95 мг/кг), мышьяка (300 мг/кг).

Все эти примеси следует рассматривать в качестве потенциальных источников загрязнения среды и строго учитывать при внесе-



нии в почву минеральных удобрений; путем совершенствования технологии переработки фосфорного сырья проблема примесей в будущем может быть решена.

Известкование препятствует поступлению в растения радиоактивного стронция, в то время как сама известь может содержать примеси стронция, поэтому известковые материалы следует анализировать на данный элемент.

Источником загрязнения почв являются также пестициды. Например, в результате многолетнего применения медьсодержащих пестицидов в почве под виноградниками резко возросла концентрация меди. Присутствующая в почве в избыточных количествах медь поступает в растения, изменяет окраску их листьев, нарушает рост.

Однако на данном этапе развития сельского хозяйства невозможно полностью отказаться от химических средств защиты растений, поскольку это приведет к значительному недобору урожая всех культур. К сожалению, других надежных способов защиты растений пока нет. Биологические методы еще недостаточно разработаны, кроме того, они, как и химические, не могут быть панацеей от всех бед.

Необходимы комплексное применение химических и биологических средств защиты растений, более тщательный подход к разработке рекомендаций по применению пестицидов, введение строжайшего контроля за содержанием этих соединений и продуктов их распада в сельскохозяйственной продукции.

Большие потери питательных веществ и загрязнение ими окружающей среды происходят в результате эрозии. Ежегодное вымывание элементов питания с 1 га пашни составляет до 100 кг азота, 5 кг фосфора, 60 кг калия. Потери питательных веществ значительно увеличиваются при поверхностном внесении. Повышение концентрации питательных веществ в водоемах вызывает усиленное размножение планктона, разрастание прибрежной флоры, что постепенно приводит к сокращению площади и заболеванию водоема. В таких водоемах погибают все гидробионты из-за дефицита растворенного в воде кислорода.

В естественных условиях недостаток фосфора в водоемах в наибольшей степени ограничивает рост водорослей.

Во избежание внесения в почвы избытка тяжелых металлов во многих странах введены ограничения на их содержание в сточных водах, в оросительной и питьевой воде.

На современном этапе необходимо не только заботиться об охране окружающей среды, но и решать вопросы, связанные с ее улучшением в связи с применением удобрений на основе оптимизации минерального питания и получения продукции высокого качества.

Постоянное совершенствование среды обитания — одна из основных задач современного человеческого общества. Важная роль

в этом процессе принадлежит осуществлению разумной научно обоснованной химизации.

Растения, со своей стороны, обладают в известной мере избирательностью к накоплению тех или иных элементов, в том числе тяжелых металлов, в своих органах и тканях. Свинец, ртуть и хром слабо поглощаются растениями, кадмий, цинк и таллий более доступны для растений. Способность никеля и меди поступать в растения расценивают по-разному. В определенных почвенных условиях (низкий pH, невысокая емкость поглощения, небольшое содержание органического вещества и фосфора) металлы, малодоступные для растений, могут поступать в них в значительных количествах. Концентрация свинца в почве 10 000 мкг/кг вызывает накопление свинца в кормах, что часто является причиной отравления сельскохозяйственных животных.

Различия в распространении поглощенных растениями тяжелых металлов существуют не только по органам, но и в самих органах. Так, при выращивании свеклы на загрязненной почве наибольшее количество свинца накапливается в кожце корнеплодов, в мякоти его меньше. Очистка такой свеклы перед употреблением снижает поступление свинца в организм человека. Таким же образом распределяются и нитраты.

Вступая в соединения с фосфатами, тяжелые металлы, в частности свинец, образуют труднорастворимые соединения, вызывая тем самым недостаток фосфора, так что растения обнаруживают признаки фосфорного голодания.

Агрохимические приемы — известкование и внесение органических удобрений — существенно снижают возможность попадания металлов в растения. Благодаря известкованию удается в несколько раз уменьшить содержание свинца в сельскохозяйственных культурах, выращиваемых на загрязненных почвах. Известь оказывает наибольший эффект на почвах, загрязненных кадмием.

В опытах с салатом, который выращивали на загрязненной кадмием почве, увеличение содержания меди и никеля в почве сопровождалось снижением концентрации кадмия в листьях. Аналогичное наблюдали и при внесении цинка в почву, загрязненную кадмием.

Распределение металлов в органах растений носит отчетливо выраженный характер: корни > стебли > листья > плоды, что свидетельствует о наличии у растений защитного механизма, который препятствует поступлению тяжелых металлов из корней в надземные органы. Эта тенденция слабее проявляется на почвах с нормальным содержанием металлов и сильнее — с избыточным.

В настоящее время исследуют механизмы токсичного действия тяжелых металлов и генотипической адаптации видов к их действию. Ведут поиски путей устранения угрозы загрязнения продукции сельского хозяйства вредными веществами. У элементов группы тяжелых металлов, а также у некоторых микроэлементов

очень узок оптимальный и токсичный интервал концентраций, в этом их опасность. Поэтому при внесении микроудобрений нужно тщательно подходить к выбору доз под конкретные культуры в конкретных почвенно-климатических условиях.

Для предотвращения попадания в пищу людей продуктов с избыточным содержанием нитратов, тяжелых металлов, остаточных количеств пестицидов и продуктов их распада во многих странах, в том числе и в России, введены ограничения на содержание этих веществ в продуктах питания (табл. 161, 162).

**161. ПДК некоторых химических элементов в основных группах пищевых продуктов, мг/кг сырого продукта**

| Элемент  | Рыбо-продукты | Мясо-продукты | Молочные продукты | Хлебо-продукты | Овощи | Фрукты | Соки и напитки |
|----------|---------------|---------------|-------------------|----------------|-------|--------|----------------|
| Ртуть    | 0,5           | 0,03          | 0,005             | 0,01           | 0,02  | 0,01   | 0,005          |
| Кадмий   | 0,1           | 0,05          | 0,01              | 0,02           | 0,03  | 0,03   | 0,02           |
| Свинец   | 1             | 0,5           | 0,05              | 0,2            | 0,5   | 0,4    | 0,4            |
| Мышьяк   | 1             | 0,5           | 0,05              | 0,2            | 0,2   | 0,2    | 0,2            |
| Медь     | 10            | 5             | 0,5               | 5              | 10    | 10     | 5              |
| Цинк     | 40            | 40            | 5                 | 25             | 10    | 10     | 10             |
| Железо   | 30            | 50            | 3                 | 50             | 50    | 50     | 15             |
| Олово    | 200           | 200           | 100               | —              | 200   | 100    | 100            |
| Сурьма   | 0,5           | 0,1           | 0,05              | 0,1            | 0,3   | 0,3    | 0,2            |
| Никель   | 0,5           | 0,5           | 0,1               | 0,5            | 0,5   | 0,5    | 0,3            |
| Селен    | 1             | 1             | 0,5               | 0,5            | 0,5   | 0,5    | 0,5            |
| Хром     | 0,3           | 0,2           | 0,1               | 0,2            | 0,2   | 0,1    | 0,1            |
| Алюминий | 30            | 10            | 1                 | 20             | 30    | 20     | 10             |
| Фтор     | 10            | 2,5           | 2,5               | 2,5            | 2,5   | 2,5    | 2,5            |
| Йод      | 2             | 1             | 0,3               | 1              | 1     | 1      | 1              |

Таким образом, наряду с естественными, природными миграционными потоками — водной миграцией, биологическим круговоротом элементов — появился новый поток за счет хозяйственной деятельности человека, превышающий природную миграцию элементов. Поэтому надо стремиться к созданию замкнутых производственных циклов, исключающих попадание химических веществ в окружающую среду. Применение экономико-математических методов оптимизации производства, транспортировки и хранения удобрений — залог высокой эффективности удобрений.

**162. Допустимые уровни содержания нитратов в продуктах растительного происхождения (Минздрав СССР, 1988)**

| Наименование продукта                        | Допустимые уровни NO <sub>3</sub> , мг/кг |                |
|--|---|----------------|
|  | Открытый грунт                            | Закрытый грунт |
| Картофель                                    | 250                                       |                |
| Капуста белокочанная, ранняя (до 1 сентября) | 900                                       |                |

## Продолжение

| Наименование продукта  | Допустимые уровни NO <sub>3</sub> , мг/кг |                |
|--|---|----------------|
|  | Открытый грунт                            | Закрытый грунт |
| Морковь ранняя (до 1 сентября)   | 400                                       |                |
| Морковь поздняя  | 250                                       |                |
| Томаты   | 150                                       | 300            |
| Огурцы   | 150                                       | 400            |
| Свекла столовая  | 1400                                      |                |
| Лук репчатый   | 80  |                |
| Лук на перо  | 600                                       | 800            |
| Листовые овощи (салат, шпинат, щавель, петрушка, сельдерей, кориандр, укроп и др.) | 2000                                      | 3000           |
| Дыни   | 90  |                |
| Арбузы   | 60  |                |
| Перец сладкий  | 200                                       | 400            |
| Кабачки  | 400                                       | 400            |
| Виноград столовых сортов   | 60  |                |
| Яблони   | 60  |                |
| Груши  | 60  |                |
| Продукты детского питания (овощи консервированные)                                 | 50  |                |

Необходимы организация глобального мониторинга, охватывающего весь спектр объектов, включая человека, дальнейшее изучение теоретических основ питания растений, гигиенических аспектов негативного действия загрязнителей на организм человека с участием ученых разных специальностей. Это позволит своевременно и эффективно контролировать состояние окружающей среды.

Максимум безвредной дозы нитратов для человека составляет 5 мг NO<sub>3</sub>/кг массы тела.

Наибольшую опасность представляют не сами нитраты, а образующиеся из них соединения — нитриты и нитрозамины, вызывающие разрушение гемоглобина крови. Нитрозамины и нитрозамиды обладают канцерогенным, мутагенным и эмбриотоксическим действием.

В кочанном салате при ранних сроках посева может накапливаться до 10 000 мг/кг нитратов, в шпинате — до 2000 мг/кг.

Токсичный уровень нитратного азота в кормах 0,2 % (в расчете на сухую массу). Даже при потреблении его в дозе 0,13 г на 1 кг живой массы происходит превращение 70—80 % гемоглобина в метгемоглобин, что вызывает гибель животных.

Накопление нитратов в сельскохозяйственной продукции в большой степени зависит от дозы и сроков внесения азотных удобрений, длины светового дня и времени посева семян. Кроме того, оно зависит от освещения — в загущенных посевах и на затененных участках содержание нитратов выше.

При одноразовом внесении высоких доз азотных и других удобрений значительно возрастают потери питательных веществ, резко повышается жизнедеятельность почвенных микроорганизмов; в круговорот вместе с азотом удобрений включается азот почвы, который может выходить из системы почва—удобрение—растение и загрязнять биосферу.

С помощью стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$  установлено, что из почвы может теряться в газообразной форме от 1 до 75 % (чаще 20—25 %) азота, внесенного с удобрениями.

Закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) образуется в результате денитрификации. Она способна разрушать озоновый слой атмосферы, предохраняющий поверхность Земли от прямого попадания губительных для всего живого ультрафиолетовых лучей. Закись азота окисляется озоном до высших окислов азота, образующих с водой азотную и азотистую кислоты, которые выпадают с атмосферными осадками на сушу и поверхность океана.

Потери в результате вымывания нитратов можно свести к минимуму с помощью научно обоснованного чередования сельскохозяйственных культур с включением в севооборот растений, имеющих глубокопроникающую корневую систему (многолетние травы и др.). Это способствует лучшему использованию питательных веществ из глубоких горизонтов почвы (до 2 м).

Экологические последствия применения фосфорных удобрений серьезнее, чем только увеличение притока фосфора в водные объекты. Образующиеся лигандные комплексы вовлекают в круговорот многие тяжелые металлы, усиливая их мобильность, что приводит к загрязнению природных вод.

Присутствие полифосфатов в почве и воде сильно осложняет химическую очистку последних, сдвигая динамическое равновесие в сторону увеличения растворимости фосфорсодержащих соединений. Это является основным фактором, затрудняющим естественное осаждение фосфатных солей в водоемах.

Мировое производство фосфорных удобрений в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  составляет 30 млн т в год. С этим количеством удобрений в почву вносится до 2—3 млн т фтора. В суперфосфате он находится в растворимой форме и легко поступает в растение. Повышение концентрации фтора тормозит фотосинтез, дыхание и рост растений, нарушает структуру ассимиляционного аппарата. В листьях петрушки, лука, щавеля его количество может достигать 50—60 мг%. С каждой тонной суперфосфата в почву поступает около 160 кг фтора. В простом суперфосфате содержится меди около 20 мг/кг, цинка 100 мг/кг, мышьяка 300 мг/кг, а в состав фосфоритной муки входят свинец (около 20 мг/кг) и кадмий (около 2 мг/кг). Свинец может вступать в реакцию с фосфатами, снижая их усвояемость. С фосфорными удобрениями в почву обычно поступает и ванадий.

Проблему примесей можно успешно решить в будущем за счет

совершенствования технологии переработки фосфатного сырья. Дeterгенты (моющие средства), содержащие большое количество фосфора и бора, вместе со сточными водами населенных пунктов попадают в почву и водоемы, загрязняя их этими элементами. Большое количество фосфора поступает в водоемы в результате водной и ветровой эрозии. Смыв с поверхности почвы миллиметрового слоя уносит от 14 до 34 кг/га  $P_2O_5$ . Вынос фосфора из почвы можно уменьшить в результате проведения противоэрозионных мероприятий, необходимых агротехнических приемов и очистки сточных вод. Накопление фосфора в водной среде в значительных количествах вызывает эвтрофикацию (зарастание) водоемов.

Калийные удобрения загрязняют воды в меньшей степени. Отрицательное влияние оказывают в основном сопутствующие калию анионы: хлорид, сульфат и др.

К вредным примесям, содержащимся в калийных удобрениях, можно отнести хлор, который в больших дозах негативно влияет на урожай картофеля, винограда, табака, цитрусовых и прядильных культур.

Повышенное содержание калия в кормовых травах может вызывать отравление животных. Удобрения — главный источник загрязнения водоемов калием. Размеры потерь этого элемента с фильтрационными водами обычно составляют 10—20 кг/га, а средние величины вымывания калия из почвы — 20—25 кг/га  $K_2O$ . Повышенная концентрация катионов калия в почвенном растворе нарушает соотношения  $Ca : K$  и  $Mg : K$  и может привести к вытеснению из почвенного поглощающего комплекса кальция и магния и передвижению их по профилю. Ежегодные потери кальция с дренажными водами могут составлять до 1 т/га. Этот процесс еще больше усиливается при внесении высоких доз физиологически кислых удобрений.

Функцию регулятора изменений концентрации тяжелых металлов в клетке растений выполняют металлотионеины — богатые серой низкомолекулярные белки, связывающие кадмий, цинк, ртуть, медь, серебро.

Велико значение и транспирации. Растение перекачивает из почвы в атмосферу с током воды не только хлор, натрий, калий, но и ртуть, цинк, свинец. Процесс выделения этих токсичных металлов с испаряемой влагой можно рассматривать как средство избавления растений от вредных элементов.

В практике сельскохозяйственного производства более сбалансированного питания растений достигают путем применения оптимального состава удобрений, устраняющего недостаток или избыток тех или иных элементов. Сложность решения данной проблемы заключается в необходимости точного учета потребностей растений в элементах питания в период роста, наследственных особенностей культивируемых сортов и постоянно изменяющегося

ся комплекса почвенно-климатических факторов жизнеобеспечения растений. Необходимо изучить возможное негативное последствие отдельных микроэлементов (кадмия, меди, лития, фтора, мышьяка, хрома, свинца) в результате техногенного загрязнения и вопросы охраны окружающей среды. Совместное действие нескольких тяжелых металлов (кадмий, цинк, свинец) менее токсично, чем каждого в отдельности, что объясняется антагонизмом ионов при их поглощении.

При помощи предварительного известкования загрязненных почв удается в несколько раз уменьшить содержание свинца в сельскохозяйственных культурах, выращиваемых на них. Этот прием еще эффективнее на полях, загрязненных кадмием. Внесение торфа и органических удобрений значительно снижает поступление в растения тяжелых металлов. У салата, выращенного на участке, загрязненном кадмием, снижается концентрация этого элемента в листьях при увеличении содержания в почве меди и никеля.

Содержание в почве таких тяжелых металлов, как кадмий, стронций, никель и цинк, в большей степени зависит от ее кислотности, в меньшей — от гранулометрического состава. Например, кадмий подвижен в кислых почвах с рН менее 5,5, а в слабокислых и нейтральных с рН 5,5—7,5; в щелочных и сильнощелочных с рН 7,5—9,5 он малоподвижен.

Известно, что органические компоненты почвы образуют с металлами слабоподвижные комплексы. Органическое вещество связывает тяжелые металлы прочнее, чем минеральное вещество почвы. Емкость поглощения металлов гумусом в 4 раза выше, чем поглощение их глиной.

Прочно фиксируются органическим веществом свинец и медь; более слабые связи образуются с кадмием, никелем, марганцем и кобальтом. Определенную роль в связывании тяжелых металлов играют полутораоксиды, а также кальций и фосфор.

В верхних горизонтах почвы кадмий удерживается за счет высокой адсорбционной способности минералов типа монтмориллонита, иллита, хлорита и тонкой глины, а также за счет образования комплексов с органическим веществом почвы. Этому способствует и внесение органических удобрений.

Агротехнические приемы, известкование и внесение органических удобрений существенно снижают возможность попадания тяжелых металлов в растения.

Некоторое количество тяжелых металлов поступает в почву с навозом. Так, отмечено увеличение содержания меди в почвах пастбищ, длительное время удобряемых свиным навозом (медь и цинк используют в качестве кормовых добавок при откорме свиней). Это способствовало повышению концентрации меди в растениях, что неблагоприятно отражалось на состоянии выпасаемых овец, которые особенно чувствительны к избытку этого металла в кормах.

Один из источников загрязнения — использование для орошения сточных вод, осадок которых может содержать значительные количества тяжелых металлов (табл. 163).

**163. Содержание тяжелых металлов в осадках коммунальных сточных вод, мг/кг сухой массы (Page, 1974; Sommers, 1977, цит. по Алексееву, 1987)**

| Металл   | Осадок     |          |             |
|----------|------------|----------|-------------|
|          | анаэробный | аэробный | другие виды |
| Марганец | 400        | 420      | 250         |
| Кобальт  | 8,8        | —        | 4,3         |
| Ртуть    | 1100       | 7        | 810         |
| Молибден | 30         | 29       | 27          |
| Свинец   | 1640       | 720      | 1630        |
| Цинк     | 3380       | 2170     | 2140        |
| Медь     | 1420       | 940      | 1020        |
| Никель   | 400        | 150      | 360         |
| Кадмий   | 106        | 135      | 70          |
| Хром     | 2070       | 1270     | 6390        |

Во многих странах во избежание внесения в почвы избытка тяжелых металлов введены ограничения на их содержание в сточных водах.

Требования к допустимому содержанию тяжелых металлов зависят от использования вод для культур, выращиваемых в теплицах и парниках, и для всех полевых и огородных растений.

Необходим также строгий контроль за содержанием тяжелых металлов в питьевой и оросительной воде.

| Металл   | ПДК в водоемах СНГ, мг/л  | Металл   | ПДК в водоемах СНГ, мг/л   |
|----------|---------------------------|----------|----------------------------|
| Алюминий | —                         | Медь     | 1,0 ( $\text{Cu}^{2+}$ )   |
| Барий    | 4,0 ( $\text{Ba}^{2+}$ )  | Молибден | 0,5 ( $\text{Mo}^{6+}$ )   |
| Бериллий | 0,0002                    | Мышьяк   | 0,05 ( $\text{As}^{3+}$ )  |
| Ванадий  | 0,1 ( $\text{V}^{5+}$ )   | Никель   | 0,1                        |
| Железо   | 0,5 ( $\text{Fe}^{3+}$ )  | Свинец   | 0,03                       |
| Кадмий   | 0,01 ( $\text{Cd}^{2+}$ ) | Селен    | 0,001 ( $\text{Se}^{6+}$ ) |
| Кобальт  | 1,0 ( $\text{Co}^{2+}$ )  | Хром     | 0,1 ( $\text{Cr}^{6+}$ )   |
| Литий*   | —                         |          | 0,5 ( $\text{Cr}^{3+}$ )   |
| Магний   | —                         | Цинк     | 1,0 ( $\text{Zn}^{2+}$ )   |
| Марганец | —                         |          |                            |

\* При орошении citrusовых культур ПДК для лития составляет 0,075 мг/л.

В странах ЕС в сельском хозяйстве используется 30—40 % общего объема накопленного на станциях аэрации осадка. Регулярное внесение осадка сточных вод и компостов из бытового мусора часто вызывает загрязнение почв в пригородной зоне.

Выпадающие на поверхность почвы тяжелые металлы, как правило, концентрируются в слое 2—5 см и подразделяются на фиксирующую и мигрирующую части. Миграционные формы частич-



но трансформируются. Установлено, что исходные формы меди и свинца переходят в менее миграционные формы, а соединения кадмия и цинка — в более подвижные. В почвах с промывным режимом тяжелые металлы в составе растворов и твердых частиц мигрируют. Лизиметрические опыты показали, что с глубиной концентрация тяжелых металлов уменьшается — на глубине 90 см она в 5—6 раз меньше, чем на поверхности.

Содержание тяжелых металлов в твердой фазе почвы выходит на фоновый уровень на глубине 30—40 см. Высокое содержание в почвенном растворе водорастворимых органических соединений повышает миграционную способность металлов благодаря образованию устойчивых органо-минеральных комплексов. В их составе металлы могут транспортироваться за пределы почвенного профиля. В лабораторных опытах скорость перемещения кобальта при низких концентрациях его в незагрязненных почвах была весьма ограниченной — в 500—770 раз меньше, чем воды.

В агрохимических исследованиях при определении доступных форм тяжелых металлов в почве важен подбор экстрагентов. Прямое заимствование методик извлечения обменных щелочных и щелочно-земельных металлов и их использование для определения обменных форм тяжелых металлов иногда могут привести к ошибочным выводам, так как основным типом связи с почвенно-поглощающим комплексом служит ионная связь, а многие тяжелые металлы из-за высокой способности к образованию соединений с координационной связью формируют в почвах соединения различной устойчивости.

Биосфера характеризуется неоднородностью — мозаичностью химического состава, в связи с чем проводят биогеохимическое районирование. Цель его состоит не только в определении зональных различий в содержании и соотношении химических элементов в разных объектах, но и в искусственном изменении отношений между организмом и средой (в сельском хозяйстве с помощью удобрений) и влиянии на свойства организма в заданном направлении.

Результаты проведенных работ в различных биогеохимических регионах страны позволили разработать рекомендации по ликвидации недостатка или избытка элементов в почве, найти оптимальные дозы микроудобрений, предложить наиболее рациональные способы их внесения, что привело к значительному увеличению урожайности сельскохозяйственных культур.

При разработке оптимальных систем применения удобрений следует учитывать генетическую адаптацию растений к природным условиям, приводящую к функциональным отклонениям, в связи с чем меняется реакция растений на изменения условий среды. Новые сорта должны отличаться широким диапазоном толерантности к элементам минерального питания.

Толерантность определяют по содержанию тяжелых металлов в тканях растений. На основе обобщенных данных об изменении роста и развития растений определен уровень толерантности к ряду металлов: для кадмия 5—7 млн<sup>-1</sup>, кобальта 10—20, хрома 1—2, меди 15—20, ртути 0,5—1, никеля 20—30, свинца 10—20, теллура 20—70, цинка 150—200 млн<sup>-1</sup> сухого вещества. Еще один показатель толерантности — отношение концентрации металла в корнях к содержанию его в надземной части (у устойчивых растений это отношение выше, чем у неустойчивых). В качестве критерия толерантности используют и визуальные симптомы угнетения растений. Менее распространен протоплазматический метод определения устойчивости к металлам.

Следует отметить важное значение разработки высокоэффективных способов применения удобрений, при которых достигалась бы максимальная продуктивность при ограниченном внесении элементов питания. Коэффициенты использования питательных веществ из почвы и удобрений для большинства культур ниже потенциально возможных. Неиспользованная часть удобрений увеличивает затраты на урожай, может вызывать уменьшение и ухудшение качества его, загрязнение сельскохозяйственных продуктов, почвы, воды. Микроэлементы, являясь жизненно необходимыми, при достижении определенных концентраций в среде становятся высокотоксичными как для растений, так и для других организмов.

Наряду с учетом биогеохимических условий выращивания сельскохозяйственных культур необходимо создание высокопродуктивных сортов, эффективно использующих элементы минерального питания. В настоящее время в этом направлении ведут интенсивную исследовательскую работу: изучают полиморфизм по признакам минерального питания у культурных растений; проводят поиск доноров среди дикорастущих видов, отличающихся эффективным поглощением ионов в экстремальных условиях существования; выясняют физиолого-биохимические механизмы, определяющие различия растений в процессах минерального питания.

При химизации особое внимание необходимо уделять сбалансированному питанию растений, изучению взаимосвязи между макро- и микроэлементами. При использовании сбалансированного питательного раствора в условиях гидропоники по сравнению со стандартными урожай овощных культур увеличивается на 30—54 %, растения более полно используют макро- и микроэлементы, происходит экономия питательного раствора.

Правильный выбор доз, сроков и способов внесения удобрений, соотношения питательных элементов не только обеспечит получение высокого урожая, но и позволит исключить загрязнение почвы и продукции токсичными элементами и соединениями, поддерживать естественное плодородие почвы на необходимом уровне.

При использовании макроудобрений в высоких дозах резко увеличивается подвижность микроэлементов в почве: они мигрируют в нижележащие горизонты. Так, в карбонатном черноземе на глубине 2 м содержание цинка увеличилось в 6—10 раз, магния — в 2—4, железа — в 1,5 раза.

Поступление микроэлементов в растения зависит от биологических особенностей растений, в первую очередь от катионообменной емкости корней, биохимического состава и прочности связи ионов с клеточными оболочками. Поглощение микроэлементов осуществляется как метаболическим, так и неметаболическим путем; соотношение между ними меняется в зависимости от свойств, возраста, биологических особенностей культуры. Так, в поглощении свинца, кадмия, меди, лития преобладает пассивный перенос, а цинка и магния — активный и пассивный переносы. Превалирование пассивного поступления ряда ионов тяжелых металлов объясняется отчасти нарушением структуры клеточных мембран, вызываемым содержанием тяжелых металлов в клетке и приводящим к дополнительному диффузному поступлению их в растения.

Для оптимизации питания необходимо учитывать не только действие вносимых элементов, но и их взаимное влияние (антагонизм и синергизм ионов).

При увеличении дозы азота повышается поступление молибдена, меди, свинца, кобальта (при  $N_{60}$  в 1,5 раза, при  $N_{90}$  в 2 раза по сравнению с контролем), снижается накопление меди. Предпосевная обработка семян сои молибденом увеличивает концентрацию в растении не только этого элемента, но и цинка, железа, меди в надземной массе, кальция, цинка, меди, кобальта, марганца в корнях. Обработка семян раствором соли цинка приводит к увеличению содержания железа в надземной массе, цинка, кобальта — в корнях сои. Внесение в почву кобальта повышает аккумуляцию меди в корнеплодах редиса.

Увеличение концентрации никеля в проростках подсолнечника снижает содержание кальция и магния в листьях и марганца во всех органах. Повысить устойчивость растений к токсичному действию никеля (хлороз, некроз тканей) можно, например, за счет увеличения концентрации магния в растворе.

Устранить отрицательное влияние избыточности одного элемента можно путем увеличения концентраций других элементов в субстрате.

С удобрениями в почву могут поступать большие количества загрязняющих элементов, часто в несбалансированных соотношениях (табл. 164). Поэтому необходимо тщательно контролировать поступление удобрений в почву.

**164. Содержание микроэлементов в дождевых водах и растениях (Ruppert, 1975), мг/кг**

| Элемент | Дождевая вода | Удобрения | Сухие растения |
|---------|---------------|-----------|----------------|
| Ag      | 2,9—31,8      | 50        | 0,06           |
| Al      | 56700—70500   | —         | 500            |
| Ba      | 900—1690      | 250       | 14             |
| Bi      | 0,6—1,9       | 0,01      | 0,06           |
| Ca      | 17800—29500   | 400000    | 18000          |
| Cd      | 0,7—8,3       | 1         | 0,6            |
| Cl      | —             | —         | 2000           |
| Cr      | 380—1300      | 200       | 0,23           |
| Cu      | 150—990       | 5         | 14             |
| Fe      | 55500—102000  | 20000     | 140            |
| Hg      | 40—87         | 0,05      | 0,02           |
| K       | 18300—23200   | 400000    | 140000         |
| Li      | 28—76         | 30        | 0,1            |
| Mg      | 12200—19800   | 50000     | 3200           |
| Mn      | 730—990       | 500       | 630            |
| Mo      | 9—34          | 4         | 0,9            |
| Na      | 9700—13800    | 250000    | 1200           |
| Ni      | 125—193       | 10        | 3              |
| P       | 2900—12300    | 200000    | 2300           |
| Pb      | 750—2610      | 100       | 2,7            |
| Rb      | 78—104        | 150       | 20             |
| S       | —             | 240000    | 3400           |
| Si      | 284000—313000 | —         | 500            |
| Ti      | 7700—10200    | 600       | 1              |
| Tl      | 0,20—0,56     | 0,2       | —              |
| V       | 152—272       | 40        | 1,6            |
| Zn      | 600—2120      | 150       | 100            |

Есть данные о повышении содержания меди в почве при внесении NPK и навоза (в 1,5—2,0 раза). При этом происходит изменение микроэлементного состава овощных растений. При подборе удобрений необходимо учитывать их влияние на биологическую и пищевую ценность растительной продукции.

В настоящее время механизм токсичного влияния тяжелых металлов на растения и генотипической адаптации видов к их действию исследуется. Металлы способны стимулировать рост и синтез отдельных соединений (углеводов, белков, жиров и др.). К сожалению, наблюдаемый эффект объясняется, вероятнее всего, не тем, что элемент необходим растению, а стимулирующей интоксикацией организма под действием микродоз этих веществ.

У тяжелых металлов — протоплазматических ядов — очень узкий оптимальный и безвредный интервал концентрации, в чем заключается опасность. Токсичность их возрастает по мере увеличения атомной массы и может проявляться по-разному. Например, ртуть, свинец, медь, бериллий, кадмий, серебро ингибируют главным образом щелочную фосфатазу, каталазу, оксидазу, рибо-

нуклеазу. Алюминий, железо, барий образуют преципитаты и хелатированные комплексы с метаболитами, препятствуя их дальнейшему участию в обмене веществ, способствуют деградации важнейших метаболитов (АТФ). Кадмий, медь, железо могут вызывать разрыв клеточных мембран и т. д.

Цинк, кадмий, свинец на 50 % инактивируют большинство ферментов при концентрациях  $10^{-6}$  —  $10^{-9}$  М, медь — при концентрации  $10^{-6}$  —  $10^{-9}$  М за счет денатурации белков. Повреждение ферментов — главный фактор токсичного действия тяжелых металлов. Получение металлоустойчивых ферментов за счет изменения их молекулярных свойств — один из механизмов адаптации у растений устойчивой популяции. Другой механизм устойчивости растений к воздействию тяжелых металлов — ограничение поступления их из корней в надземные органы, т. е. иммобилизация их корнями.

При высокой концентрации меди в среде (300—500 мкг/л) она накапливается в тканях зародышевого корня и содержится в незначительных количествах даже в узловых корнях, что способствует вегетации однодольных растений на загрязненных тяжелыми металлами почвах.

Накопление биологически активных веществ в лекарственных растениях зависит от геохимических факторов среды. Это позволяет выбирать районы заготовок лекарственных растений с учетом их фармакологического действия. Чем больше в почве усвояемых марганца и молибдена, тем больше кардиостероидов, или «сердечных» гликозидов, накапливается в растениях рода наперстянковых.

Токсичность элемента обуславливается его химической природой, количеством и составом соединения, в котором он находится, способом потребления, а также возрастом, стадией развития, индивидуальными особенностями организма.

На некоторых территориях содержание химических элементов в почве и воде сильно отличается от нормального. В результате нарушения минерального питания растений изменяется их флористический состав, уменьшается урожайность сельскохозяйственных культур, возникают заболевания у дикорастущих растений.

Болезни животных и людей, вызванные дисбалансом микроэлементов в кормах, пищевых продуктах и воде, в большинстве случаев осложняются общим снижением активности иммунных систем.

На Земле не осталось территорий, которые в той или иной степени не подвергались бы антропогенному загрязнению различными химическими элементами. Эти вещества попадают в биосферные потоки в количествах, непропорциональных существующим в природной среде; в результате их пропорции в пищевых цепях нарушаются.

Одна из важнейших особенностей техногенеза металлов заключается в переводе их в неустойчивые геохимические формы, такие, как свободные металлы. Для природных условий существование свободных металлов нетипично. Они подвергаются окисле-

нию; их растворимость резко возрастает; растворимые соединения вовлекаются в биогеохимическую миграцию.

Следовательно, наряду с естественными, природными миграционными потоками — водной миграцией, биологическим круговоротом элементов — появился новый, антропогенный поток, превышающий природную миграцию металлов.

Перед агрохимиками стоят задачи по разработке методов комплексной почвенно-растительной диагностики содержания доступных растениям микроэлементов, установке параметров их оптимального содержания для получения планируемых урожаев, завершению сплошного детального агрохимического обследования пахотных почв и рекогносцировочного обследования сенокосов и пастбищ для установления обеспеченности подвижными формами микроэлементов.

Необходимо разработать новые формы удобрений с микроэлементами и применять их с учетом конкретных агрогеохимических условий поля. Это позволит не только получать высокие урожаи, продукцию с заданным биохимическим и микроэлементным составом, но и предотвратить нежелательное техногенное загрязнение.

В последнее время появились серьезные опасения, связанные с возможным разрушением озонового экрана стратосферы вследствие поступления в нее оксидов азота, образующихся при денитрификации азотных соединений почвы и удобрений.

Для борьбы с этим негативным явлением необходимо дальнейшее изучение теоретических основ питания растений с участием агрохимиков, физиологов, биохимиков, селекционеров, генетиков и других специалистов. Необходим глобальный мониторинг, охватывающий весь спектр природных объектов — почву, воду, растение, животного и человека. Это позволит контролировать состояние экосистемы и при необходимости оперативно принимать нужные меры.

Н. А. Черных, Н. З. Милащенко и В. Ф. Ладонина (1999) приводят данные о том, что содержание тяжелых металлов в растениях уменьшается при повышении уровня плодородия почв (табл. 165).

**165. Содержание тяжелых металлов в растениях, мг/кг сухого вещества**

| Доза Cd в почве, мг/кг                             | Ячмень (зерно) | Редис (корнеплоды) | Доза Pb в почве, мг/кг | Ячмень (зерно) | Редис (корнеплоды) | Доза Cu в почве, мг/кг | Ячмень (зерно) | Редис (корнеплоды) | Доза Zn в почве, мг/кг | Ячмень (зерно) | Редис (корнеплоды) |
|--|----------------|--------------------|------------------------|----------------|--------------------|------------------------|----------------|--------------------|------------------------|----------------|--------------------|
| <i>Дерново-подзолистая слабокультуренная почва</i> |                |                    |                        |                |                    |                        |                |                    |                        |                |                    |
| 0  | 0,05           | 0,08               | 0                      | 0,08           | 0,9                | 0                      | 4,8            | 3,2                | 0                      | 28,5           | 50,7               |
| 1  | 0,21           | 0,80               | 60                     | 0,27           | 3,5                | 60                     | —              | —                  | 125                    | 44,6           | 76,2               |
| 5  | 0,84           | 1,00               | 125                    | 0,48           | 6,8                | 125                    | —              | —                  | 250                    | —              | —                  |
| 10   | 1,70           | 1,42               | 250                    | 0,92           | 12,1               | 250                    | —              | —                  | 500                    | —              | —                  |
| 20   | —              | 2,11               | 500                    | —              | 20,0               | 500                    | —              | —                  | 1000                   | —              | —                  |

Продолжение

| Доза Cd в почве, мг/кг                                | Ячмень (зерно) | Редис (корнеплоды) | Доза Рb в почве, мг/кг | Ячмень (зерно) | Редис (корнеплоды) | Доза Си в почве, мг/кг | Ячмень (зерно) | Редис (корнеплоды) | Доза Zn в почве, мг/кг | Ячмень (зерно) | Редис (корнеплоды) |
|---|----------------|--------------------|------------------------|----------------|--------------------|------------------------|----------------|--------------------|------------------------|----------------|--------------------|
| <i>Дерново-подзолистая среднекультуренная почва</i>   |                |                    |                        |                |                    |                        |                |                    |                        |                |                    |
| 0   | 0,03           | 0,10               | 0                      | 0,10           | 2,1                | 0                      | 5,2            | 3,4                | 0                      | 30,6           | 43,7               |
| 1   | 0,20           | 0,62               | 60                     | 0,35           | 3,0                | 60                     | —              | 6,0                | 125                    | 42,0           | 80,6               |
| 5   | 0,76           | 1,00               | 125                    | 0,45           | 6,1                | 125                    | —              | —                  | 250                    | 60,0           | —                  |
| 10  | 1,50           | 1,20               | 250                    | 0,80           | 12,2               | 250                    | —              | —                  | 500                    | —              | —                  |
| 20  | 3,05           | 2,10               | 500                    | 1,39           | 17,4               | 500                    | —              | —                  | 1000                   | —              | —                  |
| <i>Дерново-подзолистая хорошо окультуренная почва</i> |                |                    |                        |                |                    |                        |                |                    |                        |                |                    |
| 0   | 0,05           | 0,12               | 0                      | 0,07           | 2,0                | 0                      | 5,5            | 3,8                | 0                      | 25,9           | 51,4               |
| 1   | 0,17           | 0,54               | 60                     | 0,25           | 2,8                | 60                     | 7,0            | 6,2                | 125                    | 40,7           | 82,9               |
| 5   | 0,44           | 0,80               | 125                    | 0,50           | 5,3                | 125                    | 12,2           | 13,1               | 250                    | 52,4           | 144,2              |
| 10  | 1,12           | 0,98               | 250                    | 0,82           | 10,0               | 250                    | 20,9           | 20,9               | 500                    | 88,0           | 213,1              |
| 20  | 2,80           | 1,40               | 500                    | 1,10           | 14,7               | 500                    | —              | 32,4               | 1000                   | 130,6          | 320,3              |
| НСР <sub>095</sub>                                    | 0,03           | 0,07               |                        | 0,02           | 0,5                |                        | 0,7            | 0,9                |                        | 3,3            | 5,2                |

Примечание. — означает гибель растений.

Н. З. Милащенко и др. (1999) приводят ПДК химических веществ в почве (табл. 166).

#### 166. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве (1991)

| Наименование вещества   | ПДК, мг/кг почвы с учетом фона (кларка) | Лимитирующий показатель |
|---|---|-------------------------|
| <i>Валовое содержание</i>   |   |                         |
| Ванадий   | 150                                     | Общесанитарный          |
| Ванадий + марганец  | 100 + 1000                              | »                       |
| Мышьяк  | 2                                       | Транслокационный        |
| Ртуть   | 2,1                                     | »                       |
| Свинец  | 32                                      | Общесанитарный          |
| Свинец + ртуть  | 20 + 1                                  | Транслокационный        |
| Сурьма  | 4,5                                     | Воздушно-миграционный   |
| <i>Подвижные формы</i>  |   |                         |
| Кобальт (извлекают ацетатно-натриевым буферным раствором с pH 3,5 и 4,7 для сероземов и ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8 для остальных почв) | 5                                       | Общесанитарный          |
| Марганец (извлекают 0,1 н. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ):  |   |                         |
| чернозем  | 700                                     |                         |
| дерново-подзолистая:  |   |                         |
| pH 4,0  | 300                                     |                         |
| pH 5,1—6,0  | 400                                     |                         |
| pH >6,0   | 500                                     |                         |

Продолжение

| Наименование вещества   | ПДК, мг/кг<br>почвы с учетом<br>фона (кларка) | Лимитирующий показатель |
|---|---|-------------------------|
| Марганец (извлекают ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8): |   | Общесанитарный          |
| чернозем  | 140   |                         |
| дерново-подзолистая:  |   |                         |
| pH 4,0  | 60  |                         |
| pH 5,1—6,0  | 80  |                         |
| pH >6,0   | 100   |                         |
| Медь*   | 3   | »                       |
| Никель*   | 4   | »                       |
| Свинец*   | 6   | »                       |
| Цинк*   | 23  | Транслокационный        |
| Фтор*   | 2,8   | »                       |
| Хром*   | 6   | Общесанитарный          |
| <i>Водорастворимые формы</i>  |   |                         |
| Фтор  | 10  | Транслокационный        |

\*Подвижные формы данных элементов извлекают из почвы ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8.

Ежегодное поступление тяжелых металлов в почву с удобрениями под зерновые культуры равно тысячным и десятитысячным долям мг/кг почвы, что составляет ничтожную часть фонового содержания хрома, меди, никеля, свинца, цинка и кадмия в почве (Овчаренко и др., 1997). Применение указанных доз минеральных удобрений даже в течение многих столетий не может существенно изменить содержание в почве валовых форм этих элементов. В. Б. Ильин разработал градацию валового содержания тяжелых металлов в незагрязненных почвах легкого и среднего гранулометрического состава, не вызывающего отрицательного влияния на урожай и накопление в нем токсичных элементов (табл. 167).

**167. Валовое содержание тяжелых металлов в незагрязненных почвах, мг/кг воздушно-сухой почвы (Ильин, 1991)**

| Элемент | Нижняя и верхняя<br>пороговые границы | Толерантное<br>количество | Наивысшее «нормальное» количество |                   |
|---------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------|
|         |                                       |                           | песчаные почвы                    | суглинистые почвы |
| Hg      | —                                     | 5                         | 0,15                              | 0,15              |
| Pb      | —                                     | —                         | 0,3                               | 0,5               |
| Ag      | —                                     | —                         | 0,5                               | 0,5               |
| Be      | —                                     | —                         | 0,5                               | 2                 |
| Cd      | —                                     | 5                         | 1                                 | 1                 |
| Sb      | —                                     | —                         | 1                                 | 1                 |
| Se      | —                                     | —                         | 1                                 | 1                 |
| Sn      | —                                     | 50                        | 5                                 | 7                 |
| Mo      | 1,5—4                                 | 5                         | 5                                 | 5                 |
| Co      | 7—30                                  | 50                        | 5                                 | 20                |
| As      | 15—60                                 | 20                        | 10                                | 20                |



Продолжение

| Элемент | Нижняя и верхняя пороговые границы | Толерантное количество | Наивысшее «нормальное» количество |                   |
|---------|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------|
|         |                                    |                        | песчаные почвы                    | суглинистые почвы |
| Ni      | —                                  | 50                     | 10                                | 40                |
| Cu      | —                                  | 100                    | 15                                | 25                |
| Pb      | —                                  | 100                    | 50                                | 50                |
| Cr      | —                                  | 100                    | 80                                | 200               |
| Sr      | 600—1000                           | —                      | 100                               | 200               |
| V       | —                                  | 50                     | 100                               | 200               |
| Zn      | 10—70                              | 300                    | 100                               | 150               |
| Mn      | 400—3000                           | —                      | 500                               | 800               |

Человек, являясь основным загрязнителем природы, изменяет естественные, давно сложившиеся круговороты химических элементов и все больше нарушает гармонию экологического равновесия в окружающей среде.

С растительной и животной пищей, воздухом, водой в организм человека поступает постоянно возрастающий поток тяжелых металлов и других химических веществ. В результате антропогенной деятельности в почве повышается содержание мышьяка, кадмия, ртути, селена, свинца, цинка, фтора — веществ, относящихся к 1-му классу опасности, бора, кобальта, никеля, молибдена, меди, сурьмы, хрома — ко 2-му классу опасности и бария, ванадия, вольфрама, марганца, стронция — к 3-му классу опасности.

В России, по данным агрохимического обследования (Овчаренко, 1997), выявлены значительные площади пахотных почв, загрязненных тяжелыми металлами и фтором (табл. 168).

**168. Площади пахотных почв Российской Федерации, загрязненных тяжелыми металлами (ТМ) и фтором (на 01.95 г.)\***

| Элементы-загрязнители | Обследованная площадь |                 | Площади с содержанием ТМ выше ПДК |                         |                        |                         |                              |                         |
|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
|                       | тыс. га               | % общей площади | всего                             |                         | по валовому содержанию |                         | по содержанию подвижных форм |                         |
|                       |                       |                 | тыс. га                           | % обследованной площади | тыс. га                | % обследованной площади | тыс. га                      | % обследованной площади |
| Pb                    | 16380,7               | 12,9            | 273,0                             | 1,7                     | 255,6                  | 1,6                     | 17,4                         | 0,1                     |
| Cd                    | 14257,7               | 11,3            | 27,7                              | 0,2                     | 11,9                   | 0,1                     | 15,8                         | 0,1                     |
| Hg                    | 7037,2                | 5,6             | —                                 | —                       | —                      | —                       | —                            | —                       |
| Ni                    | 8567,5                | 6,8             | 56,0                              | 0,7                     | 9,0                    | 0,1                     | 47,0                         | 0,6                     |
| Cr                    | 5957,5                | 4,7             | 33,3                              | 0,6                     | 32,4                   | 0,5                     | 0,9                          | —                       |
| Zn                    | 24783,5               | 19,6            | 54,0                              | 0,2                     | 39,5                   | 0,15                    | 14,57                        | 0,05                    |
| Co                    | 9256,7                | 7,3             | 94,3                              | 1,0                     | 94,3                   | 1,0                     | —                            | —                       |
| Cu                    | 22326,0               | 17,6            | 449,2                             | 2,0                     | 28,6                   | 0,1                     | 420,6                        | 1,9                     |
| As                    | 2789,0                | 2,2             | 34,2                              | 1,2                     | 34,3                   | 1,2                     | —                            | —                       |
| F                     | 3054,2                | 2,4             | 14,9                              | 0,5                     | 0,5                    | —                       | 14,4                         | 0,5                     |

\* Общая площадь пашни РФ составляет 126589,0 тыс. га.

Многочисленные прогнозы свидетельствуют о дальнейшем увеличении в ближайшее время содержания в почвах ртути, мышьяка, кадмия, свинца, молибдена, меди, ванадия, цинка. Это вызывает необходимость разработки и применения предупредительных мер.

Охрана окружающей среды носит глобальный характер и может быть решена только на международной основе. В некоторых странах уже вводят стандарты на удобрения, содержащие вредные примеси.

Перед агрохимией стоят важные природоохранные задачи. Химизация открывает большие возможности не только для развития основных отраслей сельского хозяйства — растениеводства и животноводства, но и для создания новых природных ландшафтов в местах, где в настоящее время растительности мало или она отсутствует, а также для радикального улучшения всех имеющихся естественных природных ландшафтов.

Дальнейшее развитие агрохимии позволит целенаправленно изменять химический состав и повышать плодородие почвы, что значительно улучшит биологический круговорот элементов. Для изучения закономерности минерального питания растений, баланса питательных веществ в системе почва — растение — удобрение необходим комплексный эколого-агрохимический подход в конкретных почвенно-климатических условиях с учетом объективных данных о круговороте элементов питания.

Производство минеральных удобрений в ближайшем будущем должно быть ориентировано на их предварительную очистку. Это может существенно повысить стоимость удобрений, однако снизится заболеваемость и увеличатся продолжительность жизни и трудоспособность населения. Целесообразно и ведение экологогигиенического нормирования качества минеральных удобрений.

При составлении планов применения удобрений наравне с требованиями земледелия обязательно должны учитываться вопросы охраны окружающей среды.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Каковы основные причины сложившейся в настоящее время негативной экологической ситуации в мире? 2. Перечислите наиболее опасные тяжелые металлы, загрязняющие почву и сельскохозяйственную продукцию. 3. Каковы основные способы снижения загрязнения почвы и растительной продукции тяжелыми металлами?

---

## Глава 10

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АГРОХИМИЯ

●

На вопрос, может ли в наши дни быть какая-либо другая, не экологическая агрохимия, ответ однозначный — конечно, нет. В настоящее время острота экологических проблем, начавшихся с локальных загрязнений, выросла до угрозы глобальных катастроф. Человечеству необходимо научиться вписываться в естественные циклы биосферы.

Сегодня обрабатываемые земли дают 88 % энергии, получаемой человеком с пищей, около 10 % ее люди получают от естественных лугов, пастбищ, лесов и 2 % дают ресурсы Мирового океана (Чернова и др., 1995).

Экологически грамотное ведение сельскохозяйственного производства требует от земледельца глубоких знаний взаимодействия растений с окружающей средой на каждом поле, в каждом регионе и на планете в целом. Часто разрушение людьми установившихся в природе за миллионы лет связей вызывает катастрофические последствия. Человечество, овладев огромными энергетическими и техническими возможностями, начало в XIX и особенно в XX в. побеждать природу или просто, не заботясь о последствиях и стремясь к повышению комфорта своей жизни, активно разрушать окружающую среду. Человечество вошло в экологический кризис, когда состояние окружающей среды уже угрожает дальнейшему его существованию.

Во второй половине XIX в. возникло научное направление — экология как часть биологии. Термин «экология» ввел немецкий зоолог Г. Гёккель в 1866 г. *Экология* — комплексная наука, изучающая среду обитания живых существ (включая человека) и их взаимоотношения с нею.

Среди многих экологических направлений, возникших в последние десятилетия (ландшафтное, геохимическое, градостроительное, медицинское, космическое и т. д.), для дальнейшего продолжения, сохранения и совершенствования жизни человека необходимо развитие экологической агрохимии. Данный раздел знаний относится к сельскохозяйственной экологии растений. Он тесно связан с экологией видов сообществ, агроландшафтов, с химической, молекулярной, физиологической, популяционной экологией, а также с экологией клеток, тканей и медицинской экологией.

*Экологическая агрохимия* — это наука о расширенном, постоянно увеличивающемся круговороте веществ в агроценозах, изучающая на элементарном, молекулярном, клеточном, организменном, популяционном и биосферном уровнях химические взаимодействия растений с почвой и окружающей средой в целом.

Задачи экологической агрохимии:

организовать внесение химических элементов в почву, определяемое точными расчетами, позволяющими максимально повысить их использование растениями, увеличивающими продуктивность растений, снижающими потери питательных элементов и загрязнение ими окружающей среды, а также улучшающими саму почву и повышающими ее плодородие;

выдавать рекомендации по оптимизации круговорота химических элементов в сельскохозяйственных угодьях и естественных биоценозах, способствующие постоянному улучшению окружающей среды;

осуществлять разработку методов определения параметров питания растений при добавлении в среду одних химических элементов и переводе в неусвояемые формы других с целью получения сельскохозяйственной продукции заданного элементного состава с учетом закона о генетически закрепленных коэффициентах использования поступивших в организм элементов питания;

изучать регуляторные функции микроэлементов и их роль в реализации адаптивных свойств растений, механизмов поступления элементов в растения и их влияние на проницаемость клеточных мембран как важнейшего фактора формирования качества биомассы растений;

организовать постоянный территориально развитый мониторинг содержания всех элементов в удобрениях, почве, воздухе, поливной и питьевой воде, растениях и животных. Обеспечить дальнейшее получение знаний по элементному составу диеты человека с учетом наследственности, мест проживания и возрастных особенностей людей;

постоянно проводить изучение причинно-следственных связей между изменениями внешней среды и возникающими в растениях явлениями, с тем чтобы своевременно реагировать на любые нежелательные изменения в биохимических и физиологических процессах у растений, ведущие к нарушению качества продукции. Фиксировать возникающие сдвиги в интенсивности отдельных биохимических реакций и физиологических процессов и изменение ряда процессов обмена и, как следствие, изменение количества и качества продукции, получаемой от данного вида;

осуществлять определение оптимумов элементного состава различных сельскохозяйственных, лекарственных и интрадуцируемых растений в биогеохимических провинциях, организацию территориального размещения культурных растений в соответ-

ствии с картой биогеохимического районирования и имеющимися ресурсами содержания элементов;

проводить выявление искусственных потоков элементов за счет перемещения посевного материала и пищевых продуктов по территории стран и континентов, оценку их размеров и сравнение с мощностью естественных биогеохимических миграций элементов, оценку влияния промышленности и другой хозяйственной и бытовой деятельности человека на изменение элементного состава сельскохозяйственных объектов в регионах, субрегионах и провинциях;

регулировать с использованием естественной экологической обстановки целенаправленную корректировку элементного состава сельскохозяйственной продукции до оптимальных значений.

Уровень содержания химических элементов в почвах сельскохозяйственного использования зависит от биологических, геохимических, геологических процессов, а также от антропогенной деятельности. К сфере изучения экологической агрохимии относится исследование целого комплекса процессов, определяющих поведение элементов в почве и взаимодействие их с растениями. Адаптация растительных организмов к химическим условиям среды в результате эволюции обусловила определенную специфику обменных процессов у различных растений, закрепленную генетически. Реализация тех или иных биохимических и физиологических процессов происходит не только при наличии физических условий, но и при обязательной обеспеченности на нормальном уровне необходимого набора химических элементов. Взаимодействие сельскохозяйственных культур с окружающей средой, как и всех других живых организмов на нашей планете, нельзя осмыслить, не определив конкретно роли химических и физиологических реакций и причинно-следственных связей между ними в процессе жизнедеятельности.

Обычно считают, как отмечает В. В. Ковальский, что экология охватывает следующие уровни жизни — организменный, популяционный и биоценозный или только популяционный и биоценозный.

Геохимическая экология не смогла бы выполнить свои основные задачи, если бы она рассматривала воздействие биологических реакций организмов на факторы среды, не раскрывая механизмы реакций и причинные связи между ними и факторами среды (Ковальский, 1974).

Химический состав растений (и других живых организмов) в определенной степени зависит от элементного состава почв, воды, воздуха.

Созданная В. И. Вернадским биогеохимическая концепция биосферы и учение А. П. Виноградова о биогеохимических провинциях, а также его предложение развивать химическую эко-

логию — мощная теоретическая основа развития экологической агрохимии.

При рассмотрении любых процессов, изменяющихся во времени и пространстве на больших территориях, метод районирования служит надежным инструментом. Исследователи биосферы в качестве такого инструмента успешно используют биогеохимическое районирование, основанное на единстве жизни и геохимической среды. Наиболее удачной составной частью биогеохимического районирования является агроэкологическое районирование культурных растений, над созданием которого Н. И. Вавилов работал в 30-е годы.

Агроэкологическое районирование культурных растений Н. И. Вавилов строил на основе агроэкологической их классификации. Классификация культурных растений с точки зрения экологии появилась в результате синтеза знаний, полученных при детальном изучении экологической стороны различных областей науки о растениях, и опыта, накопленного в мировом растениеводстве. Агроэкологическая классификация культурных растений является логическим продолжением исследований линнеевского вида как системы, географии сельскохозяйственных культур, их происхождения и взаимосвязи растения с окружающей средой. Все эти главные предпосылки в сочетании с глубоким знанием сортов культурных растений послужили Н. И. Вавилову основой при составлении агроэкологической классификации растений, возделываемых человеком.

На основе агроэкологической классификации культурных растений карта мира разделена на агроэкологические области в зависимости от климатических, почвенных и географических условий. Под агроэкологическими областями подразумевают крупные территории, связанные единством климатических условий и сортовых составов. Ряд областей подразделяется на агроэкологические районы — сравнительно ограниченные территории, отличающиеся конкретными климатическими и почвенными условиями и экотипами. Весь земной шар согласно этой классификации включает 95 агроэкологических областей с тщательным описанием экотипов и условий их произрастания. На территории СНГ насчитывается 22 агроэкологические области и 12 агроэкологических районов (Кавказ).

Сравнительный анализ биогеохимического и агроэкологического районирования имеет много общего. Прежде всего две эти системы объединяет экологическая основа. Базой биогеохимического районирования является геохимическая экология; основу агроэкологического районирования составляет сельскохозяйственная экология. Как биогеохимическое, так и агроэкологическое районирование строится по географическому принципу. Эволюционный подход применяют как в биогеохимии (эволюция биосферы), так и при агроэкологической классификации культурных растений.

Задачи биогеохимии не замыкаются на эмпирическом наборе данных об элементном составе окружающей среды, а распространяются на изучение роли химических элементов во всех звеньях биогеохимической цепи. Агроэкологическая классификация культурных растений также далека от простой систематики. При ее создании Н. И. Вавилов ставил задачи по выявлению экологических условий, способствующих изменению химизма растений. Это логически вытекало из задач Географической сети опытов.

При сравнении карты биогеохимического районирования СНГ (Ковальский, 1974) с описанием агроэкологических областей и районов нашей страны (Вавилов, 1957) выявляется много общего. Так, большая пестрота биогеохимических элементных аномалий на Кавказе и территориях к югу и востоку от Аральского моря (марганцевые, медные, молибденовые, свинцовые, полиэлементные и другие биогеохимические провинции) совпадает с агроэкологической пестротой расселения культурных растений.

Совпадения биогеохимического районирования прослеживаются по ряду областей, например Уровская биогеохимическая провинция совпадает с Якутской агроэкологической областью, территория, обогащенная марганцем и обедненная медью, кобальтом и йодом, — с Амурской агроэкологической областью, территории, обедненные селеном, соответствуют Приполярной агроэкологической области и т. д. Несомненно, дальнейшая исследовательская работа по уточнению как биогеохимического, так и агроэкологического районирования дополнит список совпадений этих классификаций.

Таким образом, в биогеохимическое районирование можно включить агроэкологическую классификацию культурных растений Н. И. Вавилова. Все изложенные сведения являются основой для развития экологической агрохимии и дальнейшего совершенствования полученных знаний.

На современном этапе развития биосферы предмет классической агрохимии наполняется новым содержанием. Это объясняется появлением современных, отличающихся от прежних требований к ведению сельского хозяйства, использованием нетрадиционных видов удобрений, усилением антропогенного загрязнения пахотных земель, вод и атмосферы. Круг задач агрохимии, особенно экологической, расширяется. Это относится к разработке основ правильного применения удобрений в различных регионах страны с учетом свойств почв и возделываемых растений, условий увлажнения и ассортимента удобрений, конкретной экологической и биогеохимической обстановки. Необходимы изучение взаимодействия уже не только растения, почвы и удобрения, но и геохимических свойств с естественной средой, учет возможных патогенных изменений у растительных и животных организмов, заболеваний человека.

По мере того как накапливаются факты отрицательного и по-

ложительного действия химических элементов на растения, животных и человека, все острее встает вопрос о необходимости более вдумчивого подбора элементов питания с желаемой направленностью их влияния на биологическую и пищевую ценность растительных продуктов. Поскольку растения находятся в начале биогеохимической пищевой цепи, контроль за содержанием химических элементов в растительной продукции, возможность его регулирования, изучение зависимости состояния здоровья человека, животных и растений от биогеохимических условий среды — важнейшие задачи экологической агрохимии сегодня и в перспективе.

В связи с возрастающими масштабами загрязнения почв и, как следствие, продукции растительного и животного происхождения тяжелыми металлами (кадмий, свинец, ртуть, медь, цинк и др.) актуальны исследования по изучению условий поступления их в съедобную часть растений, определение реальных размеров накопления этих элементов. Культурные растения являются источником значительного числа биофильных, а также гигиенически опасных для человека и животных элементов. В связи с этим необходимы сведения о размерах накопления химических элементов, особенно тяжелых металлов, в продукции в зависимости от условий выращивания, вида и сорта растений.

Открытие В. И. Вернадским биогеохимических функций живого вещества дало импульс к широкому исследованию минерального состава растений и животных. Была определена зависимость степени концентрирования организмом того или иного химического элемента от его содержания в окружающей среде и обнаружен ряд территорий, характеризующихся аномально высокими или низкими уровнями данного микроэлемента в природных объектах. В дальнейшем на таких территориях, названных в зависимости от их размера биогеохимическими провинциями, субрегионами и регионами, были выявлены как специфические заболевания растений, животных и человека, так и заболевания другой этиологии.

В России имеются большие площади с недостатком селена, кобальта, йода, фтора, меди, цинка, марганца. Реже и более локально наблюдается естественный избыток микроэлементов. Следует отметить, что в нашей стране редко проводили всесторонние биогеохимические обследования пахотных земель. В то же время сельскохозяйственное землепользование значительно изменяет микроэлементный состав почв, способствует обеднению их некоторыми микроэлементами или их доступными формами, нарушению соотношений микроэлементов.

Антропогенное изменение содержания и доступности растениям микроэлементов в пахотных почвах Нечерноземной зоны можно четко проследить на примере цинка. Содержание цинка в почвах зоны варьирует в пределах 0,3—10,0 мг/кг. При содержании



цинка 1 мг/кг почвы бедные. В почвах под лесом обменных форм цинка больше, чем в окультуренных. В. В. Ковальский относит почвы Нечерноземной зоны России к обеспеченным по содержанию цинка. Однако проведенное выборочное обследование пахотных земель этой зоны на содержание обменного цинка выявило значительные его колебания. Оказалось, что большие площади характеризуются дефицитом этого элемента. У растений отмечают розеточность, которая является диагностическим признаком дефицита цинка. Кроме того, из-за резкого изменения в обеспеченности полей цинком появились новые заболевания отдельных культур. Так, в Тверской области (Торжокский район) в последние годы наблюдается заболевание, называемое физиологическим утомлением льна. Исследование пахотных почв выявило значительное их зафосфачивание, вызванное, по-видимому, как применением неоправданно высоких доз фосфорных удобрений при неправильной технологии внесения, так и избыточным известкованием, приведшим к изменению доступности цинка. В таких условиях вероятно снижение содержания доступных форм кобальта и бора — микроэлементов, действующих на урожайность и качество льна. Возможно и уменьшение подвижности марганца. Наряду с этим можно предположить проявление отрицательного действия повышенного содержания в почве кадмия как элемента — антагониста цинку.

В лаборатории микроэлементов МСХА обоснована концепция агроэкологического мониторинга микроэлементов и тяжелых металлов; впервые даны некоторые агрогеохимические особенности ряда территорий Центрально-Черноземной (ЦЧЗ) и Нечерноземной зон России. Установлено, например, что компоненты агроэкосистем Белгородского района Белгородской области обогащены кобальтом и обеднены медью, что является результатом геохимического фона Курской магнитной аномалии (КМА). В Талдомском районе Московской области выявлена ограниченная территория, природные объекты которой обогащены литием. В условиях вегетационных опытов выявлены сорта льна, под которые внесение кобальтовых удобрений повышает и улучшает качество (горстевая длина, прочность волокна и т. д.) урожая.

Новые методы определения химических элементов позволяют получить важные сведения об элементном составе живых организмов, сделать широкие обобщения и сформулировать новые задачи по улучшению круговорота химических элементов на планете.

Особенно важно установить причинно-следственные взаимодействия элементного состава растений, окружающей среды и здоровья людей. Это качественно новый шаг в развитии науки.

Необдуманная деятельность человека быстро изменяет на нашей планете химизм внешней среды, к которому не успевают адаптироваться живые организмы. Происходят исчезновение ви-

дов, нетипичное течение известных болезней, омоложение ряда заболеваний и возникновение новых.

Б. А. Ягодин впервые сформулировал положение о наличии *индивидуального*, генетически предопределенного *усвоения химических элементов* всеми живыми организмами нашей планеты. Причем чем сложнее организм и чем более высокое место он занимает в эволюционном развитии, тем ярче проявляется данное положение. Так, коэффициенты усвоения получаемых с пищей химических элементов у всех людей имеют индивидуальные различия, так как формировались в зависимости от условий жизни многих поколений да и всех предшественников человека в процессе эволюции. Мозаика распространения живых организмов на поверхности планеты определяется составом химических элементов при существенном влиянии других факторов жизнеобеспечения.

Однако соотношение химических элементов и индивидуальные коэффициенты их усвоения выходят на первое место при оценке их влияния на длительность и успешность течения процессов жизнедеятельности.

Главным лозунгом экологической агрохимии должен быть «Не навреди!», так как, активно вмешиваясь в круговорот химических элементов, специалисты этого профиля вплотную соприкасаются с проблемой здоровья людей и продолжительности их жизни. Полагаем, что изменять количество отдельных элементов в пище человека лучше через коррекцию питания растений и их обогащение в случае необходимости теми или иными элементами. Применение в пищу такой продукции для улучшения питания и обеспеченности организма человека отдельными элементами не только полезно, но и значительно безопаснее, чем при медикаментозном лечении.

Продолжительность жизни любого человека в значительной степени зависит от его питания. В свою очередь, питание людей находится в прямой зависимости от правильного питания растений.

Одним из приоритетных направлений развития сельского хозяйства в текущем столетии, несомненно, станет производство продуктов питания человека и кормов животных с заданным элементным составом. Актуальность этого направления продиктована ростом неблагоприятных изменений условий жизни людей и обусловлена неумелым вмешательством человека в круговорот химических элементов в биосфере. Решение этой проблемы — главная задача экологической агрохимии.

Следует отметить, что экологическая агрохимия должна стать одной из важнейших отраслей знаний. Влияние этой науки на жизнь человеческого общества огромно. Количество людей на нашей планете быстро увеличивается, и обеспечить их питанием можно только за счет организации расширенного сельскохозяй-

ственного производства. В свою очередь, для повышения продуктивности полей необходимо применение минеральных удобрений. Если это делается безграмотно, то возникает столько бед, что даже большая армия врачей их не исправит. Если же работает агрохимик-эколог, то, поставляя населению сельскохозяйственную продукцию высокого качества, можно значительно улучшить здоровье и увеличить продолжительность жизни людей.

Противники химизации земледелия совершенно правильно отмечают, что химические загрязнения опасны, так как приводят к разрушению природы и болезням человека. Мы полностью согласны с этим положением, но мы за расширенное сельскохозяйственное производство и за применение удобрений как одного из самых действенных методов повышения урожаев. И в этом нет противоречий, так как удобрения — элементы, из которых состоит наша планета, почва и все живущее на ней. Применяя удобрения, мы обогащаем почву уже имеющимися в ней элементами, но теми, которых недостаточно для получения высоких урожаев, что не позволяет иметь качественную продукцию для питания людей. Природа требует воспроизводства; почва нуждается в возврате элементов, которые выносятся с урожаем. Без внесения дополнительных количеств удобрений другого радикального метода увеличения урожайности нет. Время беспощадной эксплуатации почв, их деградации и разрушения должно остаться позади.

Экологическая агрохимия позволяет значительно повысить урожайность возделываемых культур, освободив многие земли от сельскохозяйственного использования, и жить, пользуясь благами природы и цивилизации, не противопоставляя эти понятия.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какова роль агрохимии в экологизации земледелия? 2. Назовите задачи экологической агрохимии. 3. Перечислите экологические условия, влияющие на химический состав растений. 4. Дайте понятия биогеохимического и агроэкологического районирования. Какова их взаимосвязь? 5. Дайте понятие об индивидуальном, генетически predetermined усвоении химических элементов живыми организмами планеты. 6. Назовите мероприятия по созданию диетической и лекарственной продукции растениеводства с заданным элементным составом.

## ЛИТЕРАТУРА

- Агрохимия*/Под ред. Б. А. Ягодина. — М.: Агропромиздат, 1989. — 639 с.
- Алексеев Ю. В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. — Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. — 142 с.
- Гедройц К. К.* Учение о поглотительной способности почв/Избранные сочинения. — М.: Сельхозгиздат, 1955, т. 1, с. 241—384.
- Державин Л. М.* Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. — М.: Колос, 1992. — 272 с.
- Дерюгин И. П., Куликин А. Н.* Питание и удобрение овощных и плодовых культур. — М.: Изд-во МСХА, 1998. — 326 с.
- Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта. — М.: Агропромиздат, 1985. — 351 с.
- Ефимов В. Н., Донских И. Н., Сеницын Г. И.* Система применения удобрений. — М.: Колос, 1984. — 272 с.
- Жуков Ю. П.* Система применения удобрений в хозяйствах Нечерноземья. — М.: Московский рабочий, 1983. — 144 с.
- Жуков Ю. П.* Комплексная химизация в интенсивных технологиях возделывания культур в Нечерноземье. — М.: Изв. МСХА, 1989. — 90 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. — М.: Мир, 1989. — 439 с.
- Кирюшин В. И.* Экологические основы земледелия. — М.: Колос, 1996. — 367 с.
- Ковда В. А.* Биогеохимия почвенного покрова. — М.: Наука, 1985. — 263 с.
- Литвак Ш. И.* Системный подход к агрохимическим исследованиям. — М.: Агропромиздат, 1990. — С. 220.
- Панасин В. И.* Микроэлементы и урожай. — Калининград, 1995. — 281 с.
- Панников В. Д., Минеев В. Г.* Почва, климат, удобрение и урожай. — М.: Агропромиздат, 1987. — 511 с.
- Практикум по агрохимии*/Под ред. Б. А. Ягодина — М.: Агропромиздат, 1989. — 511 с.
- Прянишников Д. Н.* Азот в жизни растений и в земледелии СССР. Избранные сочинения. — М.: Колос, 1965, т. 3. — 448 с.
- Прянишников Д. Н.* Избранные труды. — М.: Наука, 1976. — 591 с.
- Справочник агрохимика*/Д. А. Кореньков и др. — М.: Россельхозгиздат, 1980. — 286 с.
- Тимирязев К. П.* Земледелие и физиология растений//Избранные труды. — М.: Сельхозгиз, 1948. Т. 2. — 424 с.
- Формирование урожая основных сельскохозяйственных культур*/Я. И. Бейер и др. — М.: Колос, 1984. — 367 с.
- Хлыстовский А. Д.* Плодородие почвы при длительном применении удобрений и известии. — М.: Наука, 1992. — 192 с.
- Черных Н. А., Милащенко Н. З., Ладонин В. Ф.* Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. — М.: Агроконсалт, 1999. — 176 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Агрохимическое обследование почв 150, 156  
Аденозинфосфаты 247  
Азот  
    роль в питании растений 189  
    содержание и формы в почвах 142, 145  
Азотные подкормки 426, 427  
Азотофиксация 232  
Акобальтоз 312  
Активация ферментов 287  
Аланин 192, 193  
Аминирование 192  
Аминокислоты 192, 194  
Аммиак безводный 212  
Аммиакаты 217  
Аммиачная вода 213  
Аммиачное и нитратное питание растений 195  
Аммонийная селитра 208  
Аммонификация 130, 143, 340, 341  
Аммофос 323  
Антагонизм 74, 76  
Антипорт 64  
Апатит 254, 255  
Апопласт 58  
Аспаргин 193, 194  
Аспаргиновая кислота 192, 193  
Ауксиноксидаза 296, 302  
Ауксин 299  
Ацетилкоэнзим 67  
Аэрация и питание растений 80  
  
Бактериоз 296  
Баланс  
    — гумуса 441, 445  
    — питательных элементов 434—437  
Белитовая мука 174  
Биогеохимические провинции 290  
Бобовые культуры 308, 454—458  
Бор 296  
Борсуперфосфат 298  
Буферная способность почвы 140, 141  
  
Валиномицин 60  
Ванадий 320  
Вегетационный метод 509—517  
  
Водные культуры 515—517  
Выбор участка для закладки 500  
Выключки 506  
Вынос питательных веществ  
    — биологический 385  
    — остаточный 385, 386  
    — хозяйственный 385, 386  
  
Гажа 175  
Галит 279  
Гиббереллин 51  
Гидроксиламинредуктаза 302  
Гидропоника 29, 477—480  
Гидрослюда 124  
Гипс 183  
    влияние на почву 181, 183  
    дозы, сроки и способы 179—181  
    применение в качестве удобрения 183  
Гипсование почв 178  
Глутаматдегидрогеназа 310  
Глутамин 193  
Гниль коричневая 296  
    — сердечка 297  
    — сухая 296  
Голодание растений  
    — азотное 190  
    — калийное 275  
    — фосфорное 249  
Городской мусор 370  
Грамицидин 60  
Гуминовые кислоты 126  
Гумины 126  
Гумусовые вещества 126  
    взаимодействие с минеральной  
    частью почвы 126, 127  
    способность к разложению 126, 127  
  
Дегидрогеназа 310  
Дезаминирование 194  
ДНК 189, 246  
Денитрификация 144  
Дефекат 173  
Диаммофос 324  
Диагностика питания 98, 99  
    — визуальная 100  
    — почвенная 152—154

- растительная 99
- функциональная 118
- химическая 110
- 5,6-Диметилбензимидазолкобамидный коэнзим 299
- Доза удобрений 415—425
  - — оптимальная 429—430
  - — максимальная 430
- Доломит 171, 172
- Доломитовая мука 172
- Емкость поглощения почвы 134—136
- Железопарафины 310
- Зафосфачивание 267
- Известкование 157—178
  - действие на почву 161—163
  - отзывчивость растений 157—159
  - потребность 163
  - продолжительность действия 170, 171
  - эффективность 175—177
- Известковые удобрения 171—175
  - дозы 165—167
- Известь 163—178
  - взаимодействие с почвой 161—163
  - применение в севообороте 163—165
  - способы внесения 169—171
- Известняки 172
- Иммобилизация азота в почве 145, 196
- Ингибиторы нитрификации 227
- Индолилуксусная кислота 302
- Калийная селитра 326
- Калийный потенциал 148
- Калимагнезия 280
- Кальциевая селитра 201
- Кальций 159
  - баланс в почвах 168—171
- Каолинит 124
- Карбоангидраза 310, 339
- Карбоаммофоска 328
- Карбонат и бикарбонат аммония 205
- Картофель 458, 459
- Кислотность почвы 136—138
  - актуальная 137
  - гидrolитическая 138
  - обменная 137
- Кобальт 312
- Компостирование 372
- Компосты 372—375
- Контрольные варианты 495
- Коэффициент использования питательных элементов 395, 396, 409—413
  - почвы 395, 396
  - удобрений 409
  - изотопный 409, 410
  - разностный 410—412
  - балансовый 412, 413
- Лен-долгунец 463
- Леггемоглобин 238
- Лецитин 248
- Лизиметрические воронки 518, 519
  - исследования 517—519
- Лизиметры 517—519
  - бетонные, кирпичные, металлические 517
- Люпины 377, 378
- Магнийпорфирины 310
- Мелатдегидрогеназа 332
- Марганец 301
- Марганезированный суперфосфат 304
- Мартеновский фосфатшлак 174, 262
- Массовые опыты 492
- Медный купорос 301
- Медь 298
- Мембранный потенциал 55
- Мембраны 51
- Мергель 175
- Метафосфат калия 326
- Методические требования к полевым опытам 492—494
- Микроэлементы 287
- Молибдат аммония-натрия 308
- Молибден 304
- Молибденовокислый аммоний 308
- Молибденовый токсикоз 306
- Мочевина 215
- Монтмориллонит 124, 265, 283
- Навоз 336—361
  - бесподстилочный 356
  - подстилочный 337—356
  - свежий 336, 337
- Навозная жижа 361, 362
- Натриевая селитра 201
- Необменное поглощение почвой катионов 133
- Нистатин 60
- Нитрагин, ризоторфин 381
- Нитратредуктаза 192
- Нитраты 191, 222, 227
- Нитритредуктаза 192
- Нитрифицирующие микроорганизмы 143
- Нитрификация 143, 144
- Нитроаммофос 328
- Нитрозамины 305
- Нитрогеназа 236, 237
- Нитрофоска 327
- Нуклеиновые кислоты 189, 246
- Нуклеопротеиды 247
- Нуклеотиды 246
- Обесфторенный фосфат 261
- Обменное поглощение анионов 131, 132
  - — катионов 131—133
- Овес 452, 453

- Овощные культуры 464—468  
 Опыт 490  
 — варианты 492  
 — деланка 492  
 — достоверность результатов 494  
 — кратковременный 492  
 — мелкоделаночный 492  
 — микрополевой 492  
 — полевой 490  
 — производственный 491  
 — размещение вариантов 502  
 — — рендомизированное 503  
 — — систематическое 503  
 — стационарный 491  
 — типичность и репрезентативность 493  
 — точность результатов 493  
 — факториальный 491  
 Охрана окружающей среды 529  
 Периоды поступления питательных веществ в растения 387, 388  
 Питательные вещества в почве 142—151  
 — смеси 514, 515  
 Плазмалемма 51  
 Пластоцианин 299  
 Поглотительная способность почв 128—133  
 — — — биологическая 128  
 — — — механическая 129  
 — — — физическая 129  
 — — — физико-химическая 131  
 — — — химическая 130  
 Подкормка 426, 427  
 Подсолнечник 462, 463  
 Подстилка 337—339  
 — соломенная 338, 339  
 — торфяная 338, 339  
 Полевые шпаты 124  
 Полимикродоброения (ПМУ-7) 311  
 Полифенолоксидаза 328  
 Полифосфат аммония 324  
 Полифосфаты 325  
 Поташ 281  
 Почвенный воздух 121  
 Почвенные культуры 510—513  
 — минералы 123, 124  
 — — вторичные 124  
 — — первичные 123, 124  
 Почвенный раствор 121, 122  
 Преципитат 260  
 Принцип единственного различия 492, 493  
 Пропионат 312  
 Птичий помет 362, 363  
 Пудреты 373  
 Пшеница озимая 451, 452  
 — яровая 453—454  
 Растения-индикаторы 100  
 Реакция почвы 136—139  
 Рекогносцировочные посевы 501  
 Реутилизация 272  
 Рибонуклеиновая кислота 246  
 Рис 454  
 Сапропель 369, 370  
 Сахарная свекла 459  
 Свинец 531, 538  
 Сидераты 375—381  
 Сильвинит 278, 280  
 Симпласт 59  
 Симпорт 64  
 Синергизм 76  
 Слюды 124  
 Солома на удобрение 367—369  
 Солонцы  
 — химическая мелиорация 178—184  
 Состав почвенного поглощающего комплекса 134—136  
 Сосуды для вегетационных опытов 511  
 Степень насыщенности почв основаниями 139, 140  
 Строение кристаллической решетки минералов 123, 124  
 Сукцинат 312  
 Сульфат аммония 203  
 Сульфотификация 89  
 Суперфос 260  
 Суперфосфат  
 — аммонизированный 259  
 — двойной 259  
 — молибденовый 309  
 — простой 256  
 — гранулированный 258  
 Схема полевого и вегетационного опытов 494—499, 509, 510  
 Схема полевого опыта 494—499  
 — — — восьмерная 496  
 — — — многофакторного или комплексного 491, 496—499, 502  
 Твердая фаза почвы 122  
 Теплолюбивые грунты 474—477  
 Тирозиназа 299  
 Томашлак 261  
 Торф 364—367  
 — применение в сельском хозяйстве 366, 367  
 — состав и свойства 364—366  
 — типы 364  
 Торфотуфы 175  
 Тяжелые металлы 530  
 загрязнение 530—532  
 Удобрение  
 — допосевное 425  
 — зеленое 375—381  
 — основное 425  
 — послепосевное 426—427  
 — припосевное 426

- рядковое 426
- Удобрения
  - азотные 189
  - бормагниевые 295, 298
  - жидкие азотные 212, 217, 218
  - — комплексные (ЖКУ) 332
  - локальное внесение 426, 427
  - местные 335—382
  - медленнодействующие 220
  - минеральные 185
  - мочевиноформальдегидные 220
  - органические 335—382
  - суспендированные 333
  - — определение доз 415—425
  - — рекомендуемые расчетные методы 421—425
  - — — метод элементарного баланса 423
  - — — — на планируемую прибавку урожая по показателям баланса 412—415, 424, 425
  - приемы внесения 425—427
  - система применения 427—450
  - — в севообороте 427—450
  - сегрегация 329
  - сепарация 188
  - сроки внесения 425—427
  - способы внесения 425—427
  - — заделки 425—427
  - экономическая эффективность применения 483—486
  - энергетическая эффективность применения 486—488
- Уравнительные посевы 501
- Урожай
  - уборка в опытах 506—509
  - — полевом 506, 507
  - — производственном 507, 509
  - учет в полевом опыте 506, 507
  - — по пробному снопку 506, 507
  - — сплошной 506
- Фекалии и фекальные компосты 373
- Ферридоксин 302
- Физиологическая реакция солей 87
- Фиксация азота воздуха
  - калия 147, 282
- Фитин 146
- Форма делянки 492
- Фосфоаммомагnezия 324
- Фосфогипс 183
- Фосфолипиды 52
- Фосфорилирование 248
- Фосфоритная мука 262
- Фосфориты 255, 262
- Фульвокислоты 126
- Хлорид аммония 204
  - калия 279
- Хлоркалий-электролит 281
- Хранение
  - удобрений минеральных 480—482
  - — органических 340—346, 358—360
- Цианобактерии 233
- Цинк 309
- Цитохромоксидаза 299
- Цитокинин 51
- Шлаки
  - доменный 174, 261
  - мартовский 174, 262
- Щелочная фосфатаза 310
- Электрохимический градиент 56, 57
- Ячмень 452—454



---

# ОГЛАВЛЕНИЕ

●

|  |     |
|--|-----|
| <i>Предисловие (Б. А. Ягодин)</i> .....  | 3   |
| <b>Глава 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АГРОХИМИИ И ХИМИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ (Б. А. Ягодин)</b> .....                       | 7   |
| 1.1. История развития агрохимических знаний .....  | 7   |
| 1.2. Удобрение — основной фактор повышения урожая .....  | 19  |
| 1.3. Эффективность удобрений и их производство .....   | 24  |
| 1.4. Проблемы химизации земледелия .....   | 30  |
| <b>Глава 2. Питание растений и методы его регулирования (Б. А. Ягодин)</b> .....                             | 38  |
| 2.1. Химический состав растений .....  | 38  |
| 2.2. Химические элементы, необходимые растениям .....  | 43  |
| 2.3. Соотношение элементов питания в растениях и их вынос с урожаем ..                                       | 44  |
| 2.4. Поступление элементов питания в растения .....  | 45  |
| 2.4.1. Теория поступления элементов питания .....  | 56  |
| 2.4.2. Формы соединений, в которых растения поглощают элементы питания .....                                 | 66  |
| 2.4.3. Влияние условий внешней среды на поступление питательных веществ в растения .....                     | 69  |
| 2.4.4. Физиологическая реакция солей .....   | 87  |
| 2.4.5. Влияние почвенных микроорганизмов на поглощение растениями элементов минерального питания .....       | 89  |
| 2.5. Отношение растений к условиям питания в разные периоды вегетации и периодичность питания растений ..... | 93  |
| 2.6. Методы регулирования питания растений .....   | 98  |
| <b>Глава 3. СВОЙСТВА ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ (Ю. П. Жуков)</b> .....       | 120 |
| 3.1. Состав почвы .....  | 120 |
| 3.1.1. Минеральная часть почвы .....   | 123 |
| 3.1.2. Органическая часть почвы .....  | 125 |
| 3.2. Поглощительная способность почвы .....  | 128 |
| 3.2.1. Биологическая поглощительная способность .....  | 128 |
| 3.2.2. Механическая поглощительная способность .....   | 129 |
| 3.2.3. Физическая поглощительная способность .....   | 129 |
| 3.2.4. Химическая поглощительная способность .....   | 130 |
| 3.2.5. Физико-химическая (обменная) поглощительная способность .....   | 131 |
| 3.2.6. Емкость поглощения и состав поглощенных катионов почв .....   | 134 |
| 3.3. Виды почвенной кислотности и щелочности .....   | 136 |
| 3.4. Степень насыщенности основаниями и буферность почвы .....   | 139 |
| 3.5. Содержание и формы питательных элементов в почве, их доступность растениям .....                        | 142 |
| 3.5.1. Содержание и динамика соединений азота .....  | 142 |
| 3.5.2. Содержание и динамика соединений фосфора .....  | 145 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.5.3. Содержание и динамика соединений калия .....   | 147        |
| 3.5.4. Содержание и доступность растениям микроэлементов .....  | 149        |
| 3.5.5. Классификация почв по обеспеченности питательными элементами .....   | 150        |
| 3.6. Почвенная диагностика питания растений .....   | 152        |
| 3.7. Агрохимическая характеристика основных типов почв России .....   | 154        |
| <b>Глава 4. ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ (Ю. П. Жуков) .....</b>  | <b>157</b> |
| 4.1. Отношение сельскохозяйственных растений к реакции почвы .....  | 157        |
| 4.2. Кальций и магний в питании растений и при взаимодействии с почвой .....                                      | 159        |
| 4.3. Определение нуждаемости, доз и места внесения извести в агроценозах .....                                    | 163        |
| 4.4. Баланс кальция и способы его регулирования .....   | 168        |
| 4.5. Известковые удобрения .....  | 171        |
| 4.6. Эффективность известкования почв .....   | 175        |
| 4.7. Гипсование солонцеватых и солонцовых почв .....  | 178        |
| 4.8. Нуждаемость в гипсовании, дозы, сроки и способы внесения гипса .....   | 179        |
| 4.9. Взаимодействие гипса с почвой и растениями .....   | 181        |
| 4.10. Материалы и эффективность гипсования .....  | 183        |
| <b>Глава 5. МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ И ИХ СВОЙСТВА (В. И. Кобзаренко) .....</b>                                      | <b>185</b> |
| 5.1. Азотные удобрения .....  | 189        |
| 5.1.1. Роль азота в жизни растений .....  | 189        |
| 5.1.2. Круговорот и баланс азота в земледелии .....   | 196        |
| 5.1.3. Производство и применение азотных удобрений .....  | 198        |
| 5.1.3.1. Нитратные удобрения .....  | 200        |
| 5.1.3.2. Аммонийные удобрения .....   | 203        |
| 5.1.3.3. Аммонийно-нитратные удобрения .....  | 208        |
| 5.1.3.4. Жидкие аммиачные удобрения .....   | 212        |
| 5.1.3.5. Удобрения, содержащие азот в амидной форме .....   | 215        |
| 5.1.3.6. Смешанные формы азотных удобрений .....  | 217        |
| 5.1.3.7. Медленнодействующие формы азотных удобрений .....  | 220        |
| 5.1.4. Трансформация азота удобрений в почвах и его использование растениями .....                                | 221        |
| 5.1.5. Способы снижения потерь азотных удобрений .....  | 223        |
| 5.1.6. Эффективность азотных удобрений .....  | 228        |
| 5.1.7. Биологический азот в земледелии (Б. А. Ягодин) .....   | 231        |
| 5.2. Фосфорные удобрения .....  | 245        |
| 5.2.1. Роль фосфора в жизни растений .....  | 245        |
| 5.2.2. Источники фосфора для растений .....   | 249        |
| 5.2.3. Круговорот и баланс фосфора в земледелии .....   | 252        |
| 5.2.4. Сырье для производства фосфорных удобрений .....   | 254        |
| 5.2.5. Классификация фосфорных удобрений .....  | 256        |
| 5.2.6. Удобрения, содержащие фосфор в водорастворимой форме .....   | 256        |
| 5.2.7. Удобрения, содержащие фосфор, не растворимый в воде, но растворимый в слабых кислотах .....                | 260        |
| 5.2.8. Удобрения, содержащие фосфор, плохо растворимый в слабых кислотах, но растворимый в сильных кислотах ..... | 262        |
| 5.2.9. Взаимодействие фосфорных удобрений с почвой .....  | 264        |
| 5.2.10. Способы повышения эффективности фосфорных удобрений .....   | 267        |
| 5.3. Калийные удобрения .....   | 272        |
| 5.3.1. Роль калия в жизни растений .....  | 272        |
| 5.3.2. Круговорот и баланс калия в земледелии .....   | 275        |
| 5.3.3. Сырье для производства калийных удобрений .....  | 277        |
| 5.3.4. Производство калийных удобрений, их состав и свойства .....  | 278        |
| 5.3.5. Взаимодействие калийных удобрений с почвой .....   | 281        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.3.6. Применение калийных удобрений на различных почвах .....   | 284        |
| 5.4. Микроудобрения (Б. А. Ягодин) .....   | 287        |
| 5.5. Комплексные удобрения .....   | 322        |
| 5.5.1. Сложные удобрения .....   | 323        |
| 5.5.2. Сложносмешанные удобрения .....   | 326        |
| 5.5.3. Смешанные удобрения .....   | 329        |
| 5.5.4. Жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) .....  | 332        |
| <b>Глава 6. ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ (Ю. П. Жуков) .....</b>   | <b>335</b> |
| 6.1. Навоз .....   | 336        |
| 6.1.1. Хранение (накопление) навоза .....  | 340        |
| 6.1.2. Действие навоза на почву и растения .....   | 346        |
| 6.1.3. Применение навоза .....   | 351        |
| 6.1.4. Бесподстилочный навоз .....   | 356        |
| 6.2. Навозная жижа .....   | 361        |
| 6.3. Птичий помет .....  | 362        |
| 6.4. Торф .....  | 364        |
| 6.4.1. Состав и свойства типов торфа .....   | 364        |
| 6.4.2. Использование торфа и торфяников .....  | 366        |
| 6.5. Солома как удобрение .....  | 367        |
| 6.6. Сапропель .....   | 369        |
| 6.7. Городской мусор (бытовые отходы) .....  | 370        |
| 6.8. Осадки сточных вод (ОСВ) .....  | 370        |
| 6.9. Компосты .....  | 372        |
| 6.10. Зеленые удобрения (сидераты) .....   | 375        |
| 6.11. Эффективность органических удобрений .....   | 381        |
| <b>Глава 7. СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ (Ю. П. Жуков) .....</b>  | <b>383</b> |
| 7.1. Биологические потребности культур в питательных элементах .....   | 385        |
| 7.2. Почвенно-климатические условия .....  | 391        |
| 7.3. Агротехнические условия .....   | 400        |
| 7.4. Эффективность удобрений в зависимости от их количества и качества .....   | 407        |
| 7.5. Дозы, способы и сроки внесения удобрений .....  | 415        |
| 7.5.1. Методы, основанные на обобщении данных с эмпирическими дозами удобрений .....   | 416        |
| 7.5.2. Методы, основанные на обобщении данных с использованием балансовых расчетов .....   | 421        |
| 7.5.3. Способы и сроки внесения удобрений .....  | 425        |
| 7.6. Система удобрения агроценозов .....   | 427        |
| 7.6.1. Методика определения оптимальных доз минеральных удобрений в агроценозе при ограниченных ресурсах их и для получения плановых урожаев ..... | 430        |
| 7.6.2. Баланс питательных элементов и гумуса .....   | 434        |
| 7.6.3. Методика составления годовых и календарных планов применения удобрений .....  | 445        |
| 7.6.4. Особенности удобрения отдельных культур .....   | 451        |
| 7.6.5. Особенности удобрения культур в защищенном грунте .....   | 474        |
| 7.6.6. Технологии хранения, транспортировки и внесения минеральных удобрений .....   | 480        |
| 7.6.7. Определение эффективности удобрений .....   | 483        |
| <b>Глава 8. ПОЛЕВЫЕ И ВЕГЕТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (Ю. П. Жуков) .....</b>   | <b>490</b> |
| 8.1. Полевые опыты с удобрениями .....   | 490        |
| 8.1.1. Построение (разработка) схем опытов с удобрениями .....   | 494        |
| 8.1.2. Программа, техника закладки и проведения опытов .....   | 499        |

|  |            |
|--|------------|
| 8.1.3. Производственные опыты и учет действия удобрений в хозяй- | 507        |
| ствах .....  |            |
| 8.2. Вегетационные опыты .....                                   | 509        |
| 8.2.1. Почвенные культуры .....                                  | 510        |
| 8.2.2. Песчаные культуры .....                                   | 513        |
| 8.2.3. Водные культуры .....                                     | 515        |
| 8.3. Лизиметрические исследования .....                          | 517        |
| 8.4. Статистическая обработка результатов опыта .....            | 520        |
| <b>Глава 9. ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ</b>         |            |
| <b>СРЕДЫ (Б. А. Ягодин) .....</b>                                | <b>529</b> |
| <b>Глава 10. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АГРОХИМИЯ (Б. А. Ягодин) .....</b>    | <b>566</b> |
| <b>Литература .....</b>  | <b>575</b> |
| <b>Предметный указатель .....</b>                                | <b>576</b> |

*Борис Алексеевич ЯГОДИН,  
Юрий Петрович ЖУКОВ,  
Валерий Игоревич КОБЗАРЕНКО*

## **АГРОХИМИЯ**

**Учебник**

*Издание третье, стереотипное*

Редакция естественнонаучной литературы

ЛР № 065466 от 21.10.97  
Гигиенический сертификат 78.01.10.953.П.1028  
от 14.04.2016 г., выдан ЦГСЭН в СПб

**Издательство «ЛАНЬ»**

lan@lanbook.ru; www.lanbook.com  
196105, Санкт-Петербург, пр. Ю. Гагарина, д. 1, лит. А.  
Тел./факс: (812) 336-25-09, 412-92-72.  
Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

### **ГДЕ КУПИТЬ**

#### **ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ:**

*Для того, чтобы заказать необходимые Вам книги, достаточно обратиться  
в любую из торговых компаний Издательского Дома «ЛАНЬ»:*

#### **по России и зарубежью**

«ЛАНЬ-ТРЕЙД». 196105, Санкт-Петербург, пр. Ю. Гагарина, д. 1, лит. А.  
тел.: (812) 412-85-78, 412-14-45, 412-85-82; тел./факс: (812) 412-54-93  
e-mail: trade@lanbook.ru; ICQ: 446-869-967

**www.lanbook.com**

пункт меню «Где купить»

раздел «Прайс-листы, каталоги»

#### **в Москве и в Московской области**

«ЛАНЬ-ПРЕСС». 109387, Москва, ул. Летняя, д. 6  
тел.: (499) 722-72-30, (495) 647-40-77; e-mail: lanpress@lanbook.ru

#### **в Краснодаре и в Краснодарском крае**

«ЛАНЬ-ЮГ». 350901, Краснодар, ул. Жлобы, д. 1/1  
тел.: (861) 274-10-35; e-mail: lankrd98@mail.ru

#### **ДЛЯ РОЗНИЧНЫХ ПОКУПАТЕЛЕЙ:**

*интернет-магазин*

Издательство «Лань»: <http://www.lanbook.com>

*магазин электронных книг*

Global F5: <http://globalf5.com/>

Подписано в печать 20.06.21.

Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 84×108 <sup>1</sup>/<sub>32</sub>.

Печать офсетная. Усл. п. л. 36,50. Тираж 50 экз.

Заказ № 810-21.

Отпечатано в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета  
в АО «Т8 Издательские Технологии».  
109316, г. Москва, Волгоградский пр., д. 42, к. 5.