УЧЕБНИКИ
И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ
ДЛЯ ВЫСШИХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

63.54
А-265

АГРОХИМИЯ

Под редакцией доктора биологических наук профессора Б. А. Ягодина

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебника для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям

Библ[illegible]ка
[illegible]
И.В.

МОСКВА «КОЛОС» 1982

ББК 40.4
А 26
УДК 63:54 (075.8)

Рецензенты: доктор сельскохозяйственных наук профессор *А. А. Каликинский*, доцент *А. С. Пискунов*, *Е. А. Толстоусов*.

В учебнике введение, главы I, II и VIII написаны профессором *Б. А. Ягодиным*, главы III—V — профессором *П. М. Смирновым*, главы VI, VII и IX — профессором *А. В. Петербургским*, главы X—XII — профессором *Х. К. Асаровым*, глава XIII — доцентом *В. А. Деминым*, глава XIV — профессором *Б. П. Плешковым*, глава XV — доцентом *Н. В. Решетниковой*.

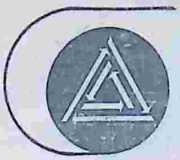
Агрохимия/Под ред. Б. А. Ягодина.—М.: Колос, 1982.—
А26 574 с., ил.— (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).

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 севооборотах. Рассмотрены методы агрохимических исследований и методика опытного дела в агрохимии.

А $\frac{3802020000\text{-}121}{035\,(01)\text{-}82}$ 202-82.

ББК 40.4
631.8

© Издательство Колос, 1982



ВВЕДЕНИЕ

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

Классик советской агрохимии академик Д. Н. Прянишников писал, что задачей агрохимии является изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех мер воздействия на химические процессы, протекающие в почве и растении, которые могут повышать урожай или изменять его состав. Главный способ вмешательства человека в этот круговорот — применение удобрений.

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 как наука развивается чрезвычайно быстрыми темпами. Это определяется запросами практики, необходимостью постоянно увеличивать продуктивность сельскохозяйственных культур на основе роста применения минеральных и органических удобрений, улучшения технологии возделывания сельскохозяйственных культур, достижений селекции и других наук.

Говоря о показателях, определяющих степень интенсификации земледелия, В. И. Ленин писал: «...Данные о расходах на удобрения и о стоимости машин служат самым точным статистическим выражением степени интенсификации земледелия»*.

Интенсификация сельскохозяйственного производства, постоянное увеличение выхода продукции с каждого гектара необходимы для обеспечения населения полноценной пищей в достаточном количестве и сырьем ряда отраслей промышленности. Возможности увеличить производство продуктов сельского хозяйства за счет увеличения площади пашни весьма ограничены. Поэтому очень важно правильно, с наибольшим эффектом использовать имеющиеся площади.

Главной задачей земледелия является эффективное использование солнечной энергии для создания органического вещества. Уникальным аппаратом для этого служит хлорофиллоносное растение.

Наземные растения ежегодно извлекают из атмосферы ориентировочно 20 млрд. т углерода в форме CO_2 (1300 кг на 1 га), а вся совокуп-

* Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 27, с. 159,,,160.

ность 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, λ 380...720 нм), составляющей 47...49% интегральной солнечной радиации, весьма низки. Обычно в посевах коэффициенты использования ФАР бывают 0,5...3%. Максимально возможным для процесса истинного фотосинтеза, идущего на солнечном свету, считается КПД ФАР 28%. Наиболее интенсивное накопление биомассы — до 700 кг 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 факторы, необходимые для жизнедеятельности растений. Применение удобрений — решающее средство повышения урожайности растений и улучшения круговорота веществ в земледелии.

Использование минеральных и органических удобрений составляет основу химизации земледелия. Эффективность минеральных и органических удобрений во многом зависит от внедрения индустриальной технологии возделывания сельскохозяйственных культур, комплексной механизации, мелиорации земель, использования достижений науки, осуществления межхозяйственной кооперации и агропромышленной интеграции.

Основные объекты агрохимии. Внесение удобрений увеличивает содержание в почве доступных растениям элементов минерального питания. Тем самым изменяются химический состав почвы, ее физические и другие свойства. Улучшение минерального питания оказывает благоприятное воздействие на фотосинтез, улучшается рост растений.

Д. Н. Прянишников отмечал, что рациональное применение удобрений возможно только при очень глубокой увязке с химией почвы и физиологией растений. Он графически изобразил взаимосвязь трех основных объектов агрохимии: растения, почвы и удобрения. Это изображение получило в агрохимической литературе название треугольника Прянишникова (рис. 1). Он также подчеркивал, что при изучении взаимодействия между растениями, почвой и удобрением необходимо учитывать климатические и все остальные условия.

Рис. 1. Треугольник Прянишникова.

На все происходящие на нашей планете процессы значительное воздействие оказывают зеленые растения. Они, осуществляя автотрофное питание, превращают с помощью энергии солнечного света углекислый газ, воду и минеральные соли в сложнейшие органические соединения.

Питание животных, большинства микроорганизмов обеспечивается органической массой, создан-

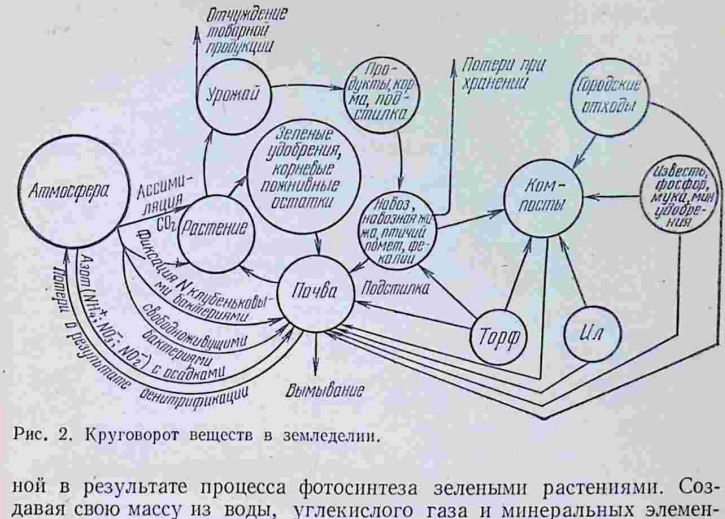


Рис. 2. Круговорот веществ в земледелии.

ной в результате процесса фотосинтеза зелеными растениями. Создавая свою массу из воды, углекислого газа и минеральных элементов почвы, растения влияют на почву. Своими корневыми выделениями растения могут переводить некоторые соединения из недоступной в доступную форму. В зависимости от биологических особенностей каждое растение для наилучшего обеспечения всех процессов жизнедеятельности нуждается в определенном количестве влаги, в оптимальных температурах, в различном соотношении питательных веществ в почве и других условиях.

Следует отметить воздействие растений на физические свойства почвы путем изменения ее пористости, на улучшение структуры почвы, на изменение ее химического состава вследствие биологической миграции в верхний слой почвы ряда элементов в результате жизнедеятельности растений.

Значительное влияние на все свойства почвы оказывает органическое вещество, образующееся вследствие отмирания корневой системы и перегнивания растительных остатков, оставшихся после уборки урожая. При внесении в почву удобрений изменяются соотношение и количество в ней отдельных элементов минерального питания, реакция почвенного раствора (pH), состав почвенного поглощающего комплекса, усиливаются многие микробиологические процессы (рис. 2).

Методы агрохимических исследований. При изучении теоретических и практических вопросов в агрохимии применяются разнообразные методы исследования, главные из них следующие.

1. Биологические методы, которые включают полевые, вегетационные опыты и лизиметрические исследования.

Биологические методы позволяют решать вопросы о роли отдельных элементов в питании, их оптимального соотношения и количества

для тех или иных культур, изучать механизм поступления питательных веществ в растения. В полевых условиях проводятся опыты для определения действия удобрений на урожай сельскохозяйственных культур, его качество, а также на плодородие почвы.

2. Лабораторные методы качественного и количественного анализа почв, растений и удобрений.

3. Математические методы: статистическая обработка результатов опыта, математическое моделирование процессов.

4. Биофизические и микробиологические методы.

Связь агрохимии с другими науками. Основы агрохимии включают теорию питания растений; учение о важнейших агрохимических свойствах почвы в связи с питанием растений и взаимодействием с удобрениями; учение о свойствах удобрений.

Агрохимия тесно связана с физиологией растений, изучающей функции зеленого растения, закономерности жизнедеятельности растительных организмов.

Знание свойств растительного организма лежит в основе агрономии. При возделывании растений и стремлении получить при этом наибольший эффект необходимо четкое согласование требований растительного организма с условиями его выращивания. Свойства окружающей среды изучаются почвоведением, метеорологией, агрофизикой, с которыми тесно связана агрохимия.

В агрохимии используются данные, накопленные такими науками, как генетика и селекция сельскохозяйственных растений, земледелие и растениеводство, сельскохозяйственная микробиология, биохимия. Сейчас трудно сказать, где кончается агрохимия и начинается физиология растений или где граница между агрохимией, физиологией и биохимией растений.

Взаимосвязь различных научных дисциплин можно проиллюстрировать схемой Д. Н. Прянишникова, предложенной им еще в 1906 г.

Связь агрохимии с другими науками

Деление по объектам или задачам исследования	Деление по методам		
	Агрохимия	Агрофизика	Агроботаника
Растение	Физиология растений	Химия растений (обмен веществ)	Физические процессы в растении	Физиология размножения и генезис форм
Окружающая среда	Почвоведение Метеорология	Химия почвы и атмосферы	Физика почвы. Физические явления	
Приемы культуры	Земледелие	Воздействие на химизм почвы (учение об удобрении)	Воздействие на физические свойства почвы (учение об обработке)	Воздействие на растение (приемы ухода и селекции)

Используя биологические, химические, биохимические, физические методы, законы возникновения форм, агрохимик должен учитывать потребность растения, свойства среды, способы согласования и изменения тех и других.

Обработка почвы, уход за растениями, обеспеченность влагой, CO_2 (в теплицах), применение ретардантов и стимуляторов роста должны строго согласовываться с количеством, ассортиментом и способами внесения применяемых удобрений.

Если это согласование нарушить, то эффективность всех перечисленных приемов может оказаться очень низкой.

В свое время факт быстрого поднятия урожаев под влиянием минеральных удобрений дал повод К. А. Тимирязеву сказать, что современное земледелие стало тем, что оно есть, только благодаря агрономической химии и физиологии растений.

Агрохимия является химической и биологической наукой. Агрохимик, внося удобрения, одновременно осуществляет синтез всех воздействий, применяемых в земледелии, с целью получения максимальной продукции. Однако при этом всегда следует учитывать последствия воздействий. Например, неправильное применение азотных удобрений может привести к загрязнению нитратами грунтовых вод. При избыточном содержании нитратов в питьевой воде и в таких растениях, как листовые овощи, зеленные, картофель, где они легче всего накапливаются, может быть нанесен вред животному организму.

Широко известно положительное влияние на растения микроэлементов, в частности марганца. Но при высоком содержании в почве подвижных форм марганца часто наблюдается полная гибель урожая. Неблагоприятное повышение содержания в почве подвижного марганца может наступить, если в неизвесткованные кислые почвы с высоким содержанием марганца внести значительное количество органических удобрений.

Глава I

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АГРОХИМИИ. ХИМИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В СССР

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

Знания о повышении плодородия почв с помощью разнообразных удобрительных материалов 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 применялось 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 — углекислоты, 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 свое развитие в гумусовой теории питания растений.

Весьма определенные воззрения на роль минеральных веществ и значение удобрений были высказаны еще в 1563 г. французским естествоиспытателем 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 соли, которая остается от разложения сена и соломы.

Почти через 100 лет опытами английского химика Глаубера (1656) было показано, что прибавление 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 была выявлена значительно позже.

Оригинальные мысли о воздушном питании растений были высказаны М. В. Ломоносовым в 1753 г.: «Превозбильное ращение тучных

дерев, которые на бесплодном песку корень свой утвердили, ясно изъявляет, что жирными листами жирный тук из воздуха впитывают».

Связь воздушного и корневого питания растений была отмечена 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 ученый профессор И. И. 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 улучшении сохранения влаги в почве, в улучшении структуры почвы. И. И. Комов отмечал также важную роль извести для повышения урожаев сельскохозяйственных культур.

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

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 (1794—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 удается 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 зольных 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 Буссенго было положено начало изучению круговорота питательных веществ в земледелии и установлен факт накопления азота в почве бобовыми культурами. Вместо гумусовой теории Буссенго развил 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 углекислота воздуха.

Коренной поворот во взглядах на питание растений вызвало появление в 1840 г. книги немецкого ученого Либиха «Химия в приложении к земледелию и физиологии», в которой давалась уничтожающая критика гумусовой теории и была сформулирована теория минерального питания растений. 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, 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 вносилось фосфора, калия и других элементов, они не могут поднять урожая.

К. Маркс писал: «Выяснение отрицательной стороны современного земледелия, с точки зрения естествознания, представляет собой одну из бессмертных заслуг Либиха»*.

Либих привлек внимание к изучению вопросов круговорота веществ и баланса элементов минерального питания.

В наши дни эти вопросы являются основными и с агрохимической точки зрения, и с точки зрения охраны окружающей среды.

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

Мнение Либиха о том, что зольные вещества важны, а об азоте можно не беспокоиться, опровергалось 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.

---

* Маркс К. Капитал, т. I, 1963, с. 515.

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, показана 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. Энгельгардтом были выполнены работы по применению фосфоритной муки в качестве фосфорных удобрений в Смоленской губернии. Важное значение Энгельгардт придавал зеленому удобрению. Он отмечал, что фосфоритная мука и сидерация — средства для приведения в культурное состояние громадных масс северных земель. 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 удобрении, что, хорошо удабривая, можно и кое-как пахать».

Д. И. Менделеевым были проведены первые полевые опыты по улучшению эффективности удобрений в различных районах страны, т. е. положены 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 им критиковалась «теория полного возврата», выдвинутая Либихом. 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 связывает с накоплением перегноя. Им выполнены работы по характеристике фосфатного режима почв.

Профессор Г. Г. Густавсон (1842—1901) 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. им был построен первый в России вегетационный домик.

Задачи, сформулированные К. А. Тимирязевым применительно к земледелию, в полной мере относятся и к современной агрохимии. Коренной научной задачей земледелия он считал изучение особенностей выращивания сельскохозяйственных растений, тщательный учет требований культурных растений к условиям внешней среды. К. А. Тимирязев обладал замечательной способностью просто рассказывать о самых сложных научных явлениях. Углубляясь в теоретические вопросы физиологии растений и ведя работы по ассимиляции в области, граничащей с физикой, одновременно К. А. Тимирязев был проникнут интересами земледелия и всегда подчеркивал принципиальную близость агрономической химии к физиологии растений.

К. А. Тимирязев всегда боролся с узким практицизмом, мешающим глубине научного исследования.

Развитие агрохимии в нашей стране неразрывно связано с научной деятельностью Д. Н. Прянишникова (1865—1948).

Научные интересы Д. Н. Прянишникова отличались широтой охватываемых вопросов. Под его руководством изучались вопросы фосфорного питания растений, в частности, усвоения растениями фосфора из фосфоритов и применения фосфоритной муки в качестве удобрения.

В связи с разработкой Соликамских калийных залежей Д. Н. Прянишниковым и его учениками был выполнен 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. Прянишниковым были организованы работы по изучению действия микроэлементов на растения.

Д. Н. Прянишниковым было доказано, 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 ими было подготовлено решение вопроса о применении аммонийных солей в качестве азотных удобрений.

Превращение 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 биосин-

теза. 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 ее «удобрением будущего».

Огромное значение для решения практических вопросов применения удобрений, а затем и развития азотнотуковой промышленности в нашей стране имели классические исследования Д. Н. Прянишникова по азотному обмену и питанию растений.

Под редакцией Д. Н. Прянишникова вышло в свет 17 томов сборников «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 используются для подготовки специалистов как в нашей стране, так и за рубежом.

Благодаря плодотворной научной деятельности Д. Н. Прянишникова и созданной им советской школы агрохимиков развитие агрохимии в СССР осуществляется на широкой физиологической и биохимической основе, в тесной связи с практическими задачами химизации земледелия. Трудами Д. Н. Прянишникова, его соратников и учеников утвержден приоритет отечественной науки в решении многих проблем агрохимии.

В развитие отечественной агрохимии большой вклад внесли многие наши 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. Коссович изучил активную роль корневых выделений в переводе в раствор P_2O_5 фосфорита.

К. К. Гедройц (1872—1932) установил виды поглотительной способности почвы, выяснил, что в явлениях обмена, происходящих в почве, участвуют гумус, органические остатки почвы, минеральная часть почвы и микроорганизмы. Трудами К. К. Гедройца установлена потенциальная кислотность почвы, подведена 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. Лебедянцев (1878—1941) впервые установил возможность эффективного применения фосфоритной муки в северной части Черноземной зоны. Им проведены исследования по сравнительной эффек-

тивности минеральных удобрений в разных районах нашей страны.

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

П. Г. Найдин (1893—1969) — инициатор создания и руководитель Всесоюзной географической сети опытов с удобрениями ВИУА. П. Г. Найдин — 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, изучался 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. Каталымов (1907—1969) проводил исследования по теории и и практике применения микроэлементов в сельском хозяйстве.

Ф. В. Турчин (1902—1965) проводил исследования по агрохимической оценке различных форм простых и сложных минеральных удобрений. Будучи инициатором применения соединений, меченных стабильным изотопом азота ^{15}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 исследовал также процессы биологической фиксации азота.

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

Я. В. Пейве (1906—1976) разработал теорию дифференцированного применения микроудобрений в растениеводстве СССР с учетом содержания усвояемых форм микроэлементов в почвах и физиологических особенностей растений. Я. В. Пейве внес ценный вклад в разработку теории действия металлов-микроэлементов на ферменты и ферментные системы. Им выполнены исследования по агрохимии калия, алюминия, кальция и фосфора; разработаны новые методы определения подвижных форм микроэлементов в почвах и выполнены работы по изучению со-

держания 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. Н. С. Авдонин 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 СССР и потребности их в удобрениях.

Им разработаны метод определения обменной кислотности почв, методика 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. А. В. Соколов уделял много внимания 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. Вольфкович (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. Вольфкович совместно с Д. Н. Прянишниковым внес большой вклад в разработку и осуществление планов химизации сельскохозяйственного производства в нашей стране.

УДОБРЕНИЯ — ОСНОВНОЙ ФАКТОР ПОДЪЕМА УРОЖАЕВ

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

Вынос элементов питания из почвы определяется 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, почвенно-корневыми остатками, процесса фиксации молекулярного азота атмосферы и других возможных источников.

Сельскохозяйственные культуры характеризуются различной потребностью в элементах питания, разным выносом питательных веществ

из почвы с урожаем. Для получения урожая зерна пшеницы примерно в 30 ц с 1 га необходимо 110 кг N, 40 кг P_2O_5, 70 кг K_2O. С урожаем картофеля в 300 ц выносится с 1 га 150 кг N, 60 кг P_2O_5, 270 кг K_2O. При выращивании без применения удобрений растения истощают почву и урожай в этом случае сокращается из года в год. В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» указывается, что основной задачей агропромышленного комплекса является надежное обеспечение страны продовольствием и сельскохозяйственным сырьем. Решение этой задачи возможно лишь на основе дальнейшего роста урожайности, повышения продуктивности каждого гектара земли.

Урожай растений, их рост и развитие определяются совокупным действием четырех основных факторов роста — это свет, тепло, влага и пища.

Однако в производственных условиях возможность регулирования факторов для улучшения роста растений и повышения урожаев далеко не одинакова. Удобрениям, широкой химизации земледелия в настоящее время принадлежит решающая роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур. Весь опыт мирового земледелия убедительно показывает, что уровень урожайности находится в жесткой связи с количеством применяемых удобрений (рис. 3). Зависимость урожайности от обеспеченности удобрениями можно видеть на примере различных стран (табл. 1).

1. Применение минеральных удобрений и урожай пшеницы и картофеля в разных странах (1977)

Страны	N P K (в кг на 1 га)	Урожай (в ц с 1 га)	
		пшеницы	картофеля
Нидерланды	758	52	338
Япония	430	62	190
ФРГ	423	45	284
ГДР	353	43	275
Великобритания	274	49	284
Чехословакия	320	43	161
Франция	269	42	275
Италия	105	23	185
США	106	21	292
Испания	82	15	147
СССР	73	15	118
Индия	20	14	115

В настоящее время каждый четвертый житель планеты потребляет продукты питания, полученные за счет прироста урожая от минеральных удобрений. ФАО (продовольственная комиссия ООН) подсчитано, что если к 2000 г. население нашей планеты составит около 6 млрд. человек, то для обеспечения населения соответствующим продовольствием прирост продукции хлебных злаков должен возрасти на 100%, а продуктов животного происхождения — на 200%.

Мировая потребность в минеральных удобрениях, по прогнозу ФАО, к 2000 г. составит 307,2 млн. т питательных веществ, из них 170 млн. т N, 70 млн. т P_2O_5 и 60 млн. т K_2O. Применение удобрений в расчете на одного человека возрастет с 55 до 145 кг питательных веществ в промышленно развитых странах и с 7 до 23 кг в развивающихся странах. Таким образом, в ближайшие 20 лет мировое производство минеральных удобрений должно увеличиться примерно в три раза.

По подсчетам специалистов, рост урожайности на 50% определяется применением удобрений и около 50% прироста приходится на другие приемы: агротехнику, сорта, мелиорацию и т. п. По данным научно-исследовательских учреждений США, рост урожайности в этой стране в послевоенные годы был на 41% обязан минеральным удобрениям, на 15. . .20% — гербицидам и другим химическим средствам 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 норм удобрений лишь до определенного уровня, при котором достигается наибольшая оплата единицы удобрения, получаемой сельскохозяйственной продукцией.

Производство минеральных удобрений требует значительных затрат энергии. Так, например, в настоящее время на земном шаре работает около 600 установок, синтезирующих NH_3. Этими установками каждые сутки расходуется энергия, равная в эквивалентном количестве 125 млн. л нефти. Поэтому увеличение норм удобрений экономически оправданно, пока издержки, связанные с применением дополнительного количества

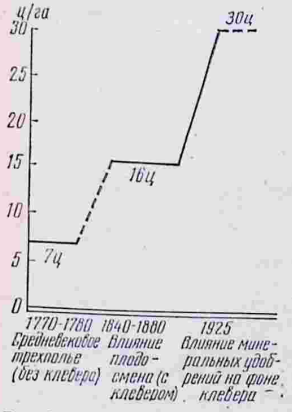


Рис. 3. Изменение уровня урожаев пшеницы в Западной Европе за 150 лет.

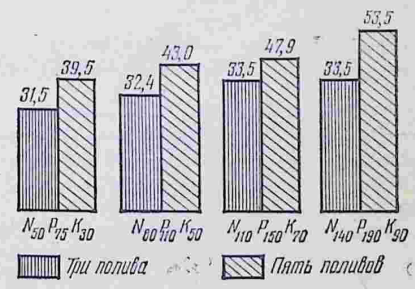


Рис. 4. Влияние норм удобрений на урожай яровой пшеницы в зависимости от числа поливов.

Библиотека Сам СХИ ИНВ.

удобрений, полностью окупаются стоимостью прибавки урожая (рис. 5).

Основной задачей химизации земледелия в нашей стране является обеспечение максимальной отдачи от имеющихся ресурсов удобрений.

Применение удобрений должно сочетаться с высокой агротехникой (табл. 2).

2. Действие комплекса агроприемов на урожай картофеля (песчаные почвы)

Вариант опыта	Урожай (в ц с 1 га)	Прибавка (в ц на 1 га)
Без удобрений, поздняя посадка, мелкие клубни, недостаточный уход	91	—
Удобрение	160	69
Повышенная агротехника, без удобрений	154	63
Повышенная агротехника, с удобрениями	274	183

Важное значение в рациональном использовании удобрений имеют время внесения их и способы заделки (табл. 3).

3. Прибавка урожая сахарной свеклы (в ц на 1 га) **в зависимости от времени внесения и способов заделки удобрений**

Опытная станция	При внесении N P K	
	весной под культиватор	осенью под плуг
Харьковская	27	65
Мироновская	26	50
Курская	37	60

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 норм 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 повышает урожаи, что, в свою очередь, позволяет увеличивать поголовье скота и в связи с этим увеличивается и количество навоза.

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

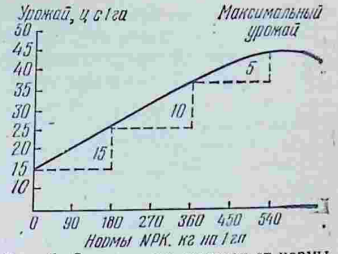


Рис. 5. Зависимость урожая от нормы удобрений.

По данным научно-исследовательских учреждений, в Нечерноземной зоне 20. . .30 т навоза, внесенного на 1 га, дают прибавку урожая зерновых 6. . .7 ц, картофеля 60. . .70 ц, корнеплодов до 150 ц, силосных культур — 150. . .200 ц на 1 га. Последействие навоза продолжается в течение 4. . .5 лет. За это время каждая тонна его дает прибавку продукции, равную (в пересчете на зерно) 1 ц.

Так, в опытах Долгопрудной станции 36 т навоза на четырех культурах севооборота дали в пересчете на зерно 34 ц дополнительной продукции (табл. 4).

4. Прибавки урожая в севообороте от внесения 36 т навоза (среднее за 15 лет)

Культуры	Прибавки (в ц на 1 га)	В пересчете на зерно (в ц)
Рожь (зерно)	10,7	10,7
Овес (зерно)	5,3	5,3
Клевер (сено)	6,5	2,6
Кормовая свекла (корни)	155,6	15,5
Всего		34,1

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ И ТЕМПЫ ИХ ПРОИЗВОДСТВА В СССР

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

Внесение удобрений выгодно с экономической точки зрения. В качестве примера можно привести данные по экономической эффективности минеральных удобрений при внесении под зерновые культуры (табл. 5).

Расчеты показывают, что один рубль, затраченный на минеральные удобрения, обеспечивает получение продукции растениеводства на 2,3 руб., 1 кг действующего вещества удобрений дает 5. . .10 кг

5. **Экономическая эффективность минеральных удобрений при внесении под зерновые культуры в среднем по СССР** (средние данные за 1969...1977 гг.)

Культура	Число опытов	Внесено на 1 га (в кг)			Урожай с удобренной площади (в ц с 1 га)	Прибавка урожая от удобрений (в ц с 1 га)	Оплата 1 кг д. в. удобрений урожаем (в кг)	Чистый доход (в руб.)	
		N	P_2O_5	K_2O				на 1 га посева	на 1 руб. затрат
Озимая рожь	82	60	60	50	19,0	5,7	3,4	35,09	1,00
Озимая пшеница	383	55	55	45	32,4	7,0	4,5	31,02	0,96
Яровая пшеница	323	45	50	40	22,0	5,1	3,8	26,69	1,15
Овес	84	45	40	50	21,0	3,0	4,4	33,61	1,28
Ячмень	346	55	50	50	25,2	6,1	3,9	27,13	0,85

зерна или эквивалентное количество другой продукции. Условно-чистый доход от применения удобрений в среднем за год составляет 3,4 млрд. руб. Удельный вес затрат на приобретение и внесение минеральных удобрений в целом по стране составляет около 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 урожае в 30 ц и выше за счет удобрений получается 70. . .80% прироста урожая. В сухой степи на долю удобрений приходится лишь половина прироста урожая. Там важную роль играют система обработки почвы и накопление влаги, засухоустойчивость сорта и другие показатели.

Производство и применение минеральных удобрений в СССР развиваются в соответствии с возрастающим промышленным потенциалом и по темпам значительно опережают мировой уровень (табл. 6...7).

6. **Рост производства минеральных удобрений в СССР** (в тыс. т питательных веществ)

Год	Всего питательных веществ	В том числе			Соотношение
		N	P_2O_5	K_2O	$N:P_2O_5:K_2O$
1928	25,6	2,3	23,3	—	1:10:0
1935	50,5	76,4	311,6	121,6	1:4:1,6
1940	746,0	199,0	326,0	221,0	1:1,6:1,1
1945	253,0	152,6	46,0	54,6	1:0,3:0,4
1950	1 235,7	392,2	531,0	312,0	1:1,4:0,8
1955	2 299,4	613,0	895,0	791,0	1:1,5:1,3
1960	3 280,5	1003,0	1191,7	1084,0	1:1,2:1,1
1965	7 389,0	2722,0	2300,0	2368,0	1:0,8:0,9
1970	13 080,0	5422,0	3566,0	4092,0	1:0,7:0,8
1975	22 122,0	8036,0	5703,0	8383,0	1:0,7:1,0
1980	24 800,0				

В 1973 г. наша страна вышла на первое место в мире по производству минеральных удобрений. В 1975 г. производство минеральных удобрений составило 90,2 млн. т. В 1980 г. произведено 104 млн. т минеральных удобрений в условных единицах, или 24,8 млн. т в пересчете на 100% питательных веществ.

В 1980 г. сельскому хозяйству поставлено 18,8 млн. т минеральных удобрений, из них 8,3 млн. т N, 4,6 млн. т P_2O_5 и 4,9 млн. т K_2O.

В 1985 г. планируется произвести 150. . .155 млн. т минеральных удобрений в условных единицах, или 36. . .37 млн. т в пересчете но 100% питательных веществ. Сельскому хозяйству будет поставлена в 1985 г. 115 млн. т условных туков (26,7 млн. т в пересчете на 100% питательных веществ).

7. Рост применения минеральных удобрений в СССР

Культуры	Годы	Внесено на 1 га посева (в кг питательных веществ)	Культуры	Годы	Внесено на 1 га посева (в кг питательных веществ)
Зерновые	1966...1970	22	Сахарная свекла	1966...1970	230
	1971...1975	38		1971...1975	306
	1976...1980	51		1976...1980	460
Хлопчатник	1966...1970	325	Картофель	1966...1970	142
	1971...1975	364		1971...1975	221
	1976...1980	409		1976...1980	272
Лен-долгунец	1966...1970	138	Овощи и бахчевые	1966...1970	113
	1971...1975	172		1971...1975	189
	1976...1980	201		1976...1980	269

ХИМИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ — РЕШАЮЩИЙ ФАКТОР ПОДЪЕМА УРОВНЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время в нашей стране осуществляется интенсификация сельскохозяйственного производства на базе широкого использования химизации, механизации, мелиорации, специализации и концентрации производства. Осуществляется межхозяйственная кооперация сельскохозяйственных предприятий и агропромышленная интеграция.

Коммунистической партией разработана комплексная программа развития сельского хозяйства, осуществление которой позволит значительно увеличить количество сельскохозяйственной продукции.

План всестороннего развития сельскохозяйственного производства, его интенсификации был намечен мартовским (1965 г.) Пленумом ЦК КПСС.

Решениями XXIV, XXV и XXVI съездов КПСС и ряда Пленумов разработана широкая программа химизации сельского хозяйства.

Особое внимание обращено на дальнейшее развитие сельского хозяйства Нечерноземной зоны РСФСР. В апреле 1974 г. ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли постановление «О мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства Нечерноземной зоны РСФСР». Почвы зоны характеризуются низким естественным плодородием. Это с особой остротой ставит перед агрохимической наукой и агрохимической службой вопрос о наиболее эффективных приемах применения средств химизации, особенно удобрений, и известкования кислых почв. В настоящее время в Нечерноземье осуществляется большая программа мелиоративных мероприятий. Особое внимание уделяется известкованию кислых почв. Быстрыми темпами возрастает применение средств химизации. За десятую пятилетку хозяйства зоны получили около 120 млн. т минеральных удобрений.

В 1976 г. ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли постановление «О дальнейшем развитии специализации и концентрации сельскохозяйственного производства на базе межхозяйственной кооперации и агропромышленной интеграции».

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» предусматривается продолжение курса на всемерную интенсификацию сельскохозяйственного производства.

Специализация и концентрация сельскохозяйственного производства, означая дальнейшую его интенсификацию в целях значительного роста продуктивности земледелия и животноводства, ставят новые задачи в области применения удобрений.

Важным условием успешного осуществления планов по специализации и концентрации производства является индустриальная технология выращивания сельскохозяйственных культур.

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

В практику сельскохозяйственного производства внедряются прогрессивные способы применения удобрений — локальное внесение минеральных удобрений (допосевное, припосевное, корневая подкормка), обеспечивающее более высокую окупаемость туков, особенно в районах Поволжья, Сибири и Северного Казахстана. Первоочередным мероприятием после химизации и мелиорации становится задача улучшения физических свойств почвы, во многом определяемых качеством и количеством гумуса. Нерегулируемость водно-физических свойств почвы лимитирует рост урожайности.

В настоящее время тщательно исследованы вопросы трансформации азота почвы, действия азота удобрений на использование азота почвы, сложные процессы мобилизации и иммобилизации азота из различных форм удобрений в почве, коэффициент использования азота удобрений и почвы.

На многих почвах получение высоких и качественно полноценных урожаев может быть лимитировано недостатком микроэлементов, поэтому возникает необходимость внесения не только макроудобре-

ний, но и микроудобрений. Необходимость применения микроудобрений может быть обусловлена и такими факторами, как получение более высоких урожаев при внесении повышенных норм удобрений при выращивании высокопродуктивных сортов, а также известкование кислых, осушение торфяно-болотных почв и орошение почв засушливых районов.

При реализации планов по интенсивной химизации одной из основных агрохимических проблем становится сбалансированность питания растений всеми необходимыми элементами, в том числе и микроэлементами.

Применение сбалансированного питания растений на основе постоянно совершенствующихся рекомендаций научных учреждений позволит значительно повысить коэффициенты использования минеральных удобрений.

В ряде случаев избыточное или несбалансированное по разным элементам питания применение удобрений приводит к получению недоброкачественной продукции растениеводства, к загрязнению окружающей среды (почвы, воды, воздуха). Неразумное применение удобрений может нанести большой вред, и учеными ведутся активные поиски по повышению эффективности и коэффициента использования удобрений, уменьшению их потерь.

Отдачу от применения удобрений можно значительно повысить и путем создания новых форм удобрений, разработки более совершенных способов их применения в комплексе с химическими мелиорантами и средствами защиты растений.

Важное значение имеет программирование урожая, которое позволяет свести воедино почву, сорт, удобрения, биоклиматический потенциал, материализует содержание той или иной системы земледелия и повышает производительность труда в результате широкого внедрения индустриальной технологии выращивания сельскохозяйственных культур.

В 1980 г. с использованием приемов индустриальной технологии кукуруза на зерно возделывалась на площади 1,2 млн. га, подсолнечник — на 0,6 млн. га, соя — на 0,2 млн. га. В дальнейшем намечается значительное расширение площадей возделываемых по индустриальной технологии сельскохозяйственных культур, с тем чтобы обеспечить возделывание по индустриальной технологии кукурузы на зерно, подсолнечника, сои, риса и сахарной свеклы на всей площади их посева, а картофеля, томатов, лука, хлопчатника, льнадолгунца — не менее чем на 30. . .40% посевной площади этих культур.

Следует, однако, заметить, что если агротехнические факторы программирования урожая в значительной степени поддаются влиянию человека, то такие факторы, как вода и особенно свет и тепло, в полевых условиях или практически не регулируются, или регулируются на небольшой площади. Поэтому о получении программируемых урожаев, особенно повышенных и высоких, можно говорить только при положительных метеорологических условиях, а также с большей гарантией при наличии орошения и в закрытом грунте.

Определение норм удобрений под сельскохозяйственные культуры при программировании урожаев проводится расчетными методами или на основании результатов полевых опытов, а также комплексного их использования. Из расчетных методов чаще всего применяют метод элементарного баланса, расчет на прибавку урожая и метод нормативного баланса.

В методе элементарного баланса используются вынос питательных веществ на 10 ц основной продукции с учетом побочной, коэффициенты использования питательных веществ из почвы, удобрений и азота из пожнивно-корневых остатков бобовых культур.

В методе на планируемую прибавку урожая вынос питательных веществ рассчитывается на прибавку урожая. Урожай без удобрений берется по данным полевых опытов или определяется расчетным способом по содержанию подвижного фосфора в почве, который, как правило, является во втором или в первом минимуме среди других элементов питания. Полученная в результате расчета норма корректируется в зависимости от содержания питательных веществ в почве.

В методе нормативного баланса при расчетах принимаются вынос питательных веществ на 10 ц основной продукции, нормативы баланса питательных веществ за ротацию севооборота, коэффициенты распределения питательных веществ удобрений, азота пожнивно-корневых остатков бобовых культур.

Каждый из рассмотренных методов позволяет рассчитать нормы удобрений, обеспечивающие получение планируемых урожаев.

Составление системы удобрения в севообороте на ротацию (или ряд лет) является наиболее высокой стадией научного обоснования применения удобрений по сравнению с разрозненным ежегодным определением их норм под отдельные культуры. Система применения удобрений позволяет на основании планируемого баланса питательных веществ в почве получать программированный урожай и одновременно сохранять и повышать плодородие почвы, выравнивать плодородие полей, эффективнее использовать удобрения и снизить возможность загрязнения окружающей среды. Необходимо подчеркнуть, что при любом методе определения нормы удобрений под культуры в севообороте правильность составленной системы применения удобрений всегда следует контролировать балансом питательных веществ за ротацию.

Разработка наиболее эффективного использования удобрений в сельскохозяйственном производстве является главной задачей агрохимической науки.

АГРОХИМИЧЕСКАЯ СЛУЖБА В СССР

Рациональное использование минеральных и органических удобрений, а также химических мелиорантов (извести и гипса) и средств защиты растений в большей степени зависит от организации агрохимического обслуживания сельскохозяйственного производства. С этой целью в нашей стране создана единая агрохимическая служба.

Решением июльского (1978 г.) Пленума ЦК КПСС признано целесообразным сосредоточить агрохимическую службу в системе сельскохозяйственных органов с передачей им предназначенной для этого производственной базы. Во исполнение этого решения и учитывая опыт агрохимического обслуживания сельскохозяйственного производства в предыдущие годы, постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР (газ. «Правда» от 30 августа 1979 г.) «О создании единой специализированной агрохимической службы в стране» было создано производственно-научное объединение «Союзсельхозхимия».

Административное руководство агрохимической службой страны осуществляет Министерство сельского хозяйства СССР через Всесоюзное производственно-научное объединение «Союзсельхозхимия», а научно-методическое руководство — Центральный институт агрохимического обслуживания (ЦИНАО) и его филиалы, расположенные в основных природно-климатических зонах страны.

В союзных республиках административное руководство агрохимической службой осуществляется Министерством сельского хозяйства республики через производственно-научные объединения «Сельхозхимия» союзных республик. В АССР, краях, областях и районах созданы соответствующие производственные объединения «Сельхозхимия», в состав которых входят республиканские (АССР), краевые, областные, зональные, районные агрохимлаборатории и проектно-изыскательские станции химизации и станции защиты растений. Непосредственно в колхозах и совхозах имеются хозяйственные (межхозяйственные) пункты химизации с агрохимическими лабораториями.

ЦИНАО с сетью филиалов и с Центральной экспериментально-исследовательской, конструкторско-технологической лабораторией химизации сельского хозяйства (ЦЭЛХИМ) разрабатывает рекомендации по рациональному распределению фондов минеральных удобрений в стране, рациональному использованию удобрений и кормов в хозяйствах, вопросы рационального внесения удобрений.

На объединение «Союзсельхозхимия» возлагается ответственность за научно обоснованное использование минеральных и органических удобрений, химических и биологических средств защиты растений, мелиорантов почвы, кормовых добавок, ростовых веществ и других химических средств.

Объединение составляет прогнозы потребности сельскохозяйственного производства во всех средствах химизации и оформляет составление сводных заявок, обеспечивающих снабжение сельскохозяйственных предприятий всеми средствами химизации. На объединение возложена организация добычи торфа, местных известковых и гипссодержащих материалов, выполнения в хозяйствах всех работ по химизации, включая документации по эффективному использованию средств химизации. Объединение обязано заниматься организацией своевременного проведения мероприятий по борьбе с вредителями, болезнями и сорняками сельскохозяйственных культур и осуществлять контроль за соблюдением установленных регламентов по применению пестицидов и других средств химизации.

Республиканские, краевые, областные и зональные агрохимиче-

ские лаборатории или проектно-изыскательские станции химизации состоят из отделов: оперативного, аналитического, химизации животноводства, анализа кормов и растений, охраны окружающей среды, административно-хозяйственного.

Оперативный отдел включает группы агрохимического обследования почв, разработки рекомендаций и проектно-сметной документации на удобрения, картографическую.

Аналитический отдел имеет группы анализа почв и анализа удобрений.

Отдел химизации животноводства имеет группы отбора образцов и разработки рекомендаций; анализа кормов и растений.

Отдел охраны окружающей среды включает группы химической токсикологии и радиологии.

Агрохимические областные и зональные лаборатории в настоящее время преобразуются в проектно-изыскательские станции химизации сельского хозяйства и подчиняются республиканской агрохимической лаборатории, основные задачи которой заключаются в следующем: контроль за качеством агрохимического обследования почв и обобщение данных; контроль за проведением полевых опытов и обобщение их результатов; обобщение результатов по качеству кормов, местных удобрений и разработка предложений; содействие техническому оснащению агрохимических лабораторий и контроль за использованием оборудования; внедрение новейшей технологии массовых анализов; изучение баланса питательных веществ на разных почвах республики; внедрение передового опыта и пропаганда агрохимических знаний; контроль за деятельностью агрохимлабораторий; научно-методическое руководство агрохимлабораториями.

Основными задачами областных и зональных агрохимических лабораторий являются: агрохимическое обследование почв; массовые анализы почв, растений и удобрений; проведение полевых опытов с удобрениями; определение качества кормов и местных удобрений; контроль за качеством поставляемых хозяйствам удобрений, за их хранением и использованием; составление проектно-сметной документации и рекомендаций по химизации; составление агрохимических картограмм для хозяйств; определение потребности хозяйств в удобрениях; изучение баланса питательных веществ на различных почвах; контроль за загрязнением окружающей среды; повышение квалификации специалистов хозяйств и пропаганда передового опыта.

Одна проектно-изыскательская станция химизации обслуживает в среднем 2,7 млн. га сельскохозяйственных угодий (в том числе 1,1 млн. га пашни), или примерно 250 хозяйств. Периодичность агрохимического обследования почв колхозов и совхозов — один раз в 4. . .5 лет. По результатам анализов составляются: картограмма кислотности почв, содержания подвижного фосфора и содержания подвижного калия. К картограммам составляется отчет с данными анализов и рекомендациями по рациональному использованию удобрений.

В растительном материале определяются азот, фосфор, калий, кальций, натрий, белок, сырая клейковина, крахмал, сахар, аскор-

биновая кислота, жиры и ряд специфических веществ для некоторых культур (чай, табак, масличные). В кормах анализируют, кроме этого, содержание клетчатки, каротина, органических кислот, микроэлементов, и на основании полученных данных устанавливается класс кормов.

Результаты полевых опытов с удобрениями в виде отчетных карточек проектно-изыскательские станции химизации передают для обобщения в вычислительный центр ЦИНАО. Для проведения поточной технологии анализов почв и растений лаборатории оснащены высокопроизводительным современным оборудованием. В настоящее время в производство внедряется разработанная ЦИНАО автоматизированная система управления химизацией сельского хозяйства (АСУ-агрохим). Разработаны программные комплексы по оптимальному распределению фондов минеральных удобрений по зонам страны (ФОНУД), по определению рациональных доз удобрений (Радоз), по проектно-сметной документации на известкование («Искра»), по оптимизации рационов кормления скота и птицы («Тропа») и прочие.

Производственно-агрохимическое обслуживание хозяйств по внесению удобрений и применению химических средств защиты растений осуществляется в основном через районные (межрайонные) производственные объединения «Сельхозхимия», межхозяйственные пункты химизации и внутрихозяйственные пункты химизации, организованные непосредственно в колхозах и совхозах. Мощная и высокопроизводительная техника передана районным ПО «Сельхозхимия»: транспортные средства для доставки удобрений с прирельсовых складов в глубинные и хозяйственные склады; машины для внесения извести, органических удобрений, минеральных удобрений; опрыскиватели, опыливатели и т. д.

Межхозяйственные и внутрихозяйственные пункты химизации имеют всю необходимую технику для своевременного выполнения работ с удобрениями и химическими средствами защиты растений. В пункте химизации должны быть склад для хранения минеральных удобрений, тукосмесительные установки, склад для пестицидов и других средств химизации, помещения для хранения техники, взлетно-посадочные полосы для сельскохозяйственной авиации. При пункте имеются механизированные отряды с несколькими звеньями (автотранспортное, по применению органических удобрений, по применению минеральных удобрений, по защите растений, по химической мелиорации и др.).

Пунктами химизации осуществляется постоянный контроль качества работ и соблюдения рекомендаций по научно обоснованному рациональному применению всех средств химизации.

Имеется немало примеров высокой эффективности пунктов химизации. Так, по данным агрохимслужбы (Л. М. Державин, 1980), благодаря специализации и концентрации работ по химизации, организации пунктов химизации многие хозяйства получают высокие урожаи. Высокие урожаи получает госплемзавод «Заря коммунизма» Домодедовского района Московской области, где в среднем по хозяйству ежегодно вносят на 1 га более 400 кг питательных веществ

минеральных удобрений, около 20 т органических, 5 т извести. В хозяйстве создано специализированное подразделение по химизации. В среднем за 1975. . .1978 гг. урожайность озимой пшеницы составила 50,6 ц с 1 га, яровых зерновых — 49,9, картофеля — 255,7, кормовой свеклы — 645,1 и многолетних трав (сено) — 82,1 ц с 1 га. В среднем за 1966. . .1970 гг., до организации внутрихозяйственного специализированного подразделения по химизации, урожайность зерновых культур составила 34 ц с 1 га, картофеля — 154, кормовых корнеплодов — 371, кукурузы на силос — 239 и сена многолетних трав — 37 ц с 1 га.

В колхозе имени 50-летия Октября Мархаматского района Андижанской области Узбекской ССР в результате улучшения культуры земледелия при организации пункта химизации урожайность хлопчатника повысилась с 29,3 до 33,4 ц 1 га, а в колхозе имени Калинина Тельманского района Ташаузской области Туркменской ССР — с 30,9 до 35,9 ц с 1 га.

В Государственном бюджете СССР на 1982 г. намечено увеличить товарооборот организаций Госкомсельхозтехники СССР и объединения «Союзсельхозхимия» Министерства сельского хозяйства СССР до 24,4 млрд. рублей, или на 4,3 процента, что в свою очередь значительно расширит поставки сельскому хозяйству мощной современной техники, минеральных удобрений и других материально-технических средств.

ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

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 углекислотой, осуществляемое листьями в результате воздушного питания, происходит, как правило, более равномерно, чем корневое питание. Для осуществления 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.

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).

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

8. **Средний химический состав зерна злаковых и бобовых культур** (в % от сухой массы)

Культура	Белки	Крахмал	Жиры	Клетчатка	Сахара	Зола
Пшеница	15	60	1,9	2,8	4,3	2,2
Рожь	12	65	1,7	2,2	5,0	2,0
Овес	11	45	5,5	14,0	2,0	3,8
Ячмень	9	55	2,0	6,0	4,0	3,5
Кукуруза	9	70	4,6	2,1	3,0	1,3
Рис	7	63	2,3	12,0	3,6	6,0
Просо	12	58	4,6	11,0	3,8	4,0
Горох	25	43	1,2	6,0	8,0	3,3
Бобы	25	42	1,3	6,0	6,0	3,4
Соя	35	3	20,0	5,0	10,0	5,8
Вика	25	43	2,3	6,0	4,8	3,2
Фасоль	20	55	1,8	3,8	5,2	3,3
Чечевица	30	47	1,0	3,6	3,5	3,3
Люпин	32	3	5,0	16,0	2,0	3,8

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

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

Растения и сухая растительная масса значительно различаются по элементному составу.

Основную часть массы живых растений составляет кислород (табл. 11).

Из углекислоты, поглощаемой 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 и азот. На долю углерода, кислорода, водорода и азота приходится 95% сухой массы

9. **Средний химический состав семян масличных культур** (в % от сухой массы)

Химический состав	Подсолнечник		Лен	Конопля
	целые семена	ядра		
Жиры	34	56	37	34
Белки	16	26	26	22
Клетчатка	25	6	8	19
Другие углеводы	20	6	22	20
Зола	3,8	3,8	4,0	4,0

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

Культуры	Сахара	Органические кислоты	Азотистые вещества	Клетчатка	Зола	Аскорбиновая кислота (в мг на 100 г)
Капуста белокочанная	4,0	0,3	1,3	0,8	0,7	30
Цветная капуста	3,0	0,1	2,5	1,2	0,8	100
Помидоры	3,0	0,5	0,6	0,2	0,5	30
Перец сладкий	4,0	0,2	1,5	1,0	0,7	200
Баклажаны	3,0	0,2	0,9	1,0	0,5	5
Огурцы	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
Яблоки	9,0	0,7	0,4	1,0	0,4	25
Груши	10,0	0,2	0,4	0,8	0,4	15
Виноград	18	0,7	0,7	0,2	0,6	6
Земляника	18	1,4	1,4	1,2	0,5	50
Крыжовник	7	2,0	0,8	2,3	0,5	35
Смородина	8	2,5	1,4	2,0	0,5	200
Вишни	9	1,8	0,9	0,2	0,5	17
Апельсины	7	1,4	0,9	2,5	0,7	65
Лимоны	2,5	5,8	0,9	2,5	0,6	55

растений (углерод — 45%, кислород — 42%, водород — 6,5%, азот — 1,5%). Эти четыре элемента названы органогенными.

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

11. Среднее содержание химических элементов в растениях (в весовых процентах) (по А. П. Виноградову)

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

12. Содержание основных элементов питания в различных сельскохозяйственных растениях [в % на воздушно-сухое вещество; для корнеплодов, овощных культур и зеленой массы — на сырое вещество (по М. П. Петухову и др.)]

Культура	N	Зольные элементы				Всего золы
		P_2O_5	K_2O	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	1,5
Ячмень яровой:						
зерно	2,10	0,85	0,55	0,16	0,10	3,0
солома	0,50	0,20	1,00	0,09	0,33	4,5
Овес:						
зерно	2,10	0,85	0,50	0,17	0,16	2,9
солома	0,65	0,35	1,60	0,12	0,38	6,4
Рис (зерно)	1,20	0,81	0,31	0,18	0,07	5,2
Горох:						
зерно	4,50	1,00	1,25	0,13	0,09	2,6
зеленая масса	0,65	1,15	—	0,14	0,35	1,4
Фасоль (зерно)	3,68	1,38	1,72	0,29	0,24	3,9
Люпин:						
зерно	4,80	1,42	1,14	0,45	0,28	3,7
зеленая масса	0,55	0,11	0,30	0,06	0,16	0,9
Соя (зерно)	5,80	1,04	1,26	0,25	0,17	2,8
Лен:						
семена	4,00	1,35	1,00	0,47	0,27	3,3
солома	0,62	0,42	0,97	0,20	0,69	3,0
Подсолнечник:						
семена	2,61	1,39	0,96	0,51	0,20	3,3
целое растение	1,56	0,76	5,25	0,68	1,53	10,0
Хлопчатник:						
семена	3,00	1,10	1,25	—	—	—
волокно-сырец	0,34	0,06	0,91	—	—	—
Свекла сахарная (корни)	0,24	0,08	0,25	0,05	0,06	0,6
Свекла кормовая (корни)	0,19	0,07	0,42	0,04	0,04	0,8
Картофель (клубни)	0,32	0,14	0,60	0,06	0,03	1,0
Брюква (корни)	0,21	0,11	0,35	0,03	0,04	0,7
Морковь кормовая (корни)	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
Томаты (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 красный 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

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. 12).

Состав золы различных растений различен и отражает неодинаковую потребность растений в элементах минерального питания. Так, в золе семян злаков содержание фосфора (P_2O_5) * достигает 30. . . 50%, в золе зерна риса — около 16%, а в золе соломы фосфора в 3. . .5 раз меньше. Зола соломы и семян бобовых растений богата серой, а зола клубней картофеля и корнеплодов — калием (40. . 60% K_2O).

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% и до 50. . . 60% от массы золы.

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

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, НЕОБХОДИМЫЕ РАСТЕНИЯМ

(В скобках приводятся условно необходимые элементы)

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, J, Mn, (F)
VIII. Fe, Co (Ni)

На данном этапе развития научных знаний 20 элементов относят к необходимым элементам питания и 12 элементов считают условно необходимыми. К необходимым относятся элементы, без которых растения не могут полностью закончить цикл развития и которые не могут быть заменены 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 — стотысячными долями процентов, относят к микроэле-

* Содержание фосфора и калия в золе растений принято выражать в форме соответствующих оксидов.

ментам, а элементы, находящиеся в еще меньших количествах, относят 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. Так, 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.

Различные 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.

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

РАСТЕНИЯ — КОНЦЕНТРАТОРЫ ОТДЕЛЬНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Многие растения обладают способностью концентрировать определенные элементы минерального питания. Это свойство следует учитывать при выращивании различных сельскохозяйственных культур, так как оно во многом определяет их питательную ценность. Можно полагать, что элементы, концентрируемые в растениях, принимают участие в ряде физиологических и биохимических процессов.

Так, например, молибден концентрируют бобовые растения, и мы знаем о важной роли этого элемента в процессе симбиотической фиксации азота атмосферы. Бор концентрируется в свекле, где он необходим для предупреждения такого заболевания свеклы, как гниль сердечка. Положительное действие натрия на урожай свеклы совпадает с тем, что этот элемент концентрируют растения свеклы. Серу концентрируют бобовые, и имеются многочисленные данные об участии ее в белковом обмене. Таким образом, наблюдается взаимосвязь между метаболизмом растений-накопителей и их способностью концентрировать минеральные элементы.

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.

13. Биологический вынос азота, фосфора и калия у различных культур (в кг на 1 т основной продукции)

Культура	N	P_2O_5	K_2O
Рожь	40	15	44
Озимая пшеница	47	15	41
Яровая пшеница	51	15	39
Ячмень	36	14	38
Многолетние травы (клевер с тимофеевкой)	29	13	38
Картофель поздний	8	3	11
Горох	6	2	8
Капуста белокочанная	6	3	12
Огурцы	5	2	8
Томаты	5	2	5

Различают биологический и хозяйственный вынос элементов питания. Под хозяйственным подразумевают вынос питательных веществ с урожаем убираемой с поля основной и побочной продукции (например, зерно и солома). 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) (табл. 13).

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. Для картофеля, подсолнечника, капусты, сахарной свеклы характерно гораздо большее потребление калия по сравнению с зерновыми культурами. Клеверу и конопле присуще высокое потребление кальция (табл. 14).

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 100 ц корней и соответствующего

14. Среднее соотношение питательных веществ в урожае различных культур

Культура	N	P_2O_5	K_2O	CaO
Зерновые	2,5...3	1	1,5...2,2	0,5
Лен	2,0	1	1,5	1,0
Конопля	2,0	1	1,3	3...3,5
Клевер	3,5	1	3,0	4,0
Картофель	2,5...3,5	1	4...4,5	—
Сахарная свекла	2,5...3,5	1	3,5...5,0	—
Кормовая свекла	3,5...4,5	1	4,5...6,0	—

ментам, а элементы, находящиеся в еще меньших количествах, относят 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. Так, 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.

Различные 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.

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

РАСТЕНИЯ — КОНЦЕНТРАТОРЫ ОТДЕЛЬНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Многие растения обладают способностью концентрировать определенные элементы минерального питания. Это свойство следует учитывать при выращивании различных сельскохозяйственных культур, так как оно во многом определяет их питательную ценность. Можно полагать, что элементы, концентрируемые в растениях, принимают участие в ряде физиологических и биохимических процессов.

Так, например, молибден концентрируют бобовые растения, и мы знаем о важной роли этого элемента в процессе симбиотической фиксации азота атмосферы. Бор концентрируется в свекле, где он необходим для предупреждения такого заболевания свеклы, как гниль сердечка. Положительное действие натрия на урожай свеклы совпадает с тем, что этот элемент концентрируют растения свеклы. Серу концентрируют бобовые, и имеются многочисленные данные об участии ее в белковом обмене. Таким образом, наблюдается взаимосвязь между метаболизмом растений-накопителей и их способностью концентрировать минеральные элементы.

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.

13. Биологический вынос азота, фосфора и калия у различных культур (в кг на 1 т основной продукции)

Культура	N	P_2O_5	K_2O
Рожь	40	15	44
Озимая пшеница	47	15	41
Яровая пшеница	51	15	39
Ячмень	36	14	38
Многолетние травы (клевер с тимофеевкой)	29	13	38
Картофель поздний	8	3	11
Горох	6	2	8
Капуста белокочанная	6	3	12
Огурцы	5	2	8
Томаты	5	2	5

Различают биологический и хозяйственный вынос элементов питания. Под хозяйственным подразумевают вынос питательных веществ с урожаем убираемой с поля основной и побочной продукции (например, зерно и солома). 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) (табл. 13).

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. Для картофеля, подсолнечника, капусты, сахарной свеклы характерно гораздо большее потребление калия по сравнению с зерновыми культурами. Клеверу и конопле присуще высокое потребление кальция (табл. 14).

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 100 ц корней и соответствующего

14. Среднее соотношение питательных веществ в урожае различных культур

Культура	N	P_2O_5	K_2O	CaO
Зерновые	2,5...3	1	1,5...2,2	0,5
Лен	2,0	1	1,5	1,0
Конопля	2,0	1	1,3	3...3,5
Клевер	3,5	1	3,0	4,0
Картофель	2,5...3,5	1	4...4,5	—
Сахарная свекла	2,5...3,5	1	3,5...5,0	—
Кормовая свекла	3,5...4,5	1	4,5...6,0	—

количества ботвы в лесостепных районах сахарная свекла потребляет 50 кг азота, 15 кг P_2O_5 и 60 кг K_2O. При выращивании в Нечерноземной зоне у сахарной свеклы сильнее развиваются листья и на каждые 100 ц корней потребляется 80...100 кг азота, 35 кг P_2O_5 и 145 кг K_2O.

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

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 углекислоты и синтез из них органического вещества — и гетеротрофный — использование организмами готовых органических веществ. Животные 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 углекислоту 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 усваивает 95% и более углекислоты 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 растения в поисках пищи и воды создают относительно большую массу корней.

Применение удобрений, как правило, несколько уменьшает соотношение массы корней и надземной массы растения, но увеличивает абсолютную величину этого показателя и глубину распространения корневой системы. Таким образом, удобрение сельскохозяйственных культур не только увеличивает надземную массу, но и оказывает значительное положительное действие 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 имеют место еще у Дютроше (1837), который считал, что проникновение в клетку воды и растворенных в ней веществ происходит 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 целей питания растения не нуждаются в тех громадных количествах воды, которые они испаряют. То же положение было развито в работах Д. А. Сабинина. Им было показано, что при небольших концентрациях 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 цитоплазменных мембран. Им наблюдалась корреляция между скоростью проникновения основных анилиновых красок в клетки растения с их растворимостью в липидах.

Траубе и Руланд, авторы так называемой ультрафильтрационной теории, считали, что проникновение питательных веществ через цитоплазменную оболочку зависит от величины ее пор и размера молекул. Драверт 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 была установлена 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 быть вытеснены обратно из тканей другими катионами. Таким образом, поглощение одних ионов сопровождается вытеснением других ионов, причем процесс зависит от концентрации и времени.

Во многих исследованиях Д. А. Сабинина и других ученых прослеживается связь поглощения веществ с уровнем жизнедеятельности клеток, показана активная роль корневой системы в процессе поглощения веществ. Содержание веществ в пасоке растений зависит от обеспеченности растений элементами питания, а также от видовых особенностей и возраста растений. Различная физиологическая активность клеток и тканей определяет их различный химический состав, разные 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 было показано, что увеличение поглощения веществ клетками и тканями растений наблюдается при лучшей аэрации питательного раствора, внесении глюкозы, повышении температуры и других условий, вызывающих активацию процесса дыхания.

Д. А. Сабининым было доказано положение о связи питания растений с образованием и развитием отдельных органов.

В приведенном кратком изложении исследований по минеральному питанию растений отграничиваются 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.

ФОРМЫ СОЕДИНЕНИЙ, В КОТОРЫХ РАСТЕНИЯ ПОГЛОЩАЮТ ЭЛЕМЕНТЫ ПИТАНИЯ

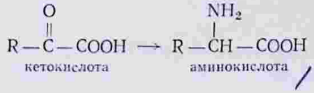
В результате непрерывных биологических, физических, химических и физико-химических процессов в почве сложные минеральные или органические вещества распадаются на простые. Образующиеся продукты распада постоянно используются для питания растений, хотя некоторая часть их может теряться в газообразной форме 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 NO_3^- и катиона аммония 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.

Для восстановления нитратов до нитритов необходимо два протона и два электрона. После присоединения электронов нитраты переходят в нитриты. Далее образуются гипонитрит, гидроксиламин и аммиак. Всего для восстановления нитратов до аммиака необходимо 8 протонов и 8 электронов (рис. 6).

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 процесс фиксации молекулярного азота.

Связывание молекулярного азота атмосферы осуществляется рядом почвенных микроорганизмов и многими растениями в симбиозе с микроорганизмами (рис. 7).

Процесс связывания азота носит многоступенчатый характер. Важные функции в осуществлении отдельных звеньев процесса выполняют фермент нитрогеназа, леггемоглобин, соединения группы витамина B_{12}, 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_4^{2-}. В растениях сульфат последовательно восстанавливается до сульфита (SO_3^{2-}) и сульфида (S^{2-}), 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: ($H_2PO_4^-$), (HPO_4^{2-}) или (PO_4^{3-}). В растениях фосфор является составной частью нуклеиновых кислот, из которых состоит генетический аппарат ядра, входит в состав фосфолипидов — соединений, определяющих свойства клеточных мембран, входит в состав ряда коферментов, в том числе пиридиннуклеотидов и нуклеозидфосфатов. Фосфор в жи-

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 быть вытеснены обратно из тканей другими катионами. Таким образом, поглощение одних ионов сопровождается вытеснением других ионов, причем процесс зависит от концентрации и времени.

Во многих исследованиях Д. А. Сабинина и других ученых прослеживается связь поглощения веществ с уровнем жизнедеятельности клеток, показана активная роль корневой системы в процессе поглощения веществ. Содержание веществ в пасоке растений зависит от обеспеченности растений элементами питания, а также от видовых особенностей и возраста растений. Различная физиологическая активность клеток и тканей определяет их различный химический состав, разные электрические свойства.

Уровень метаболизма тканей определяет и [illegible] ...чения веществ. Стюардом, Лундегордом, Бюрстремом [illegible] ...ными была установлена тесная связь дыхания ткане[illegible] ...ощения ионов [illegible] ...ых солей. В работах Х [illegible] ...было показано [illegible] ...не поглощения [illegible] ...нями растений [illegible] ...лучше[illegible] ...твора, внесени[illegible] ...и, вызывающих

Д. А. [illegible] ...ния растений с обр[illegible]

В приве[illegible] ...ральному питанию расте[illegible] ...фузионно-осмотическая; ли[illegible] ...онная.

Перечисленные [illegible] ...развитии взглядов на проце[illegible] ...по существу правильно, хотя[illegible] ...роны поступления элементов [illegible]

В последние деся[illegible] ...тов минерального питания расте[illegible] ...но и в современном виде включае[illegible] ...ее выдвинутых теорий.

ФОРМЫ С[illegible] В КОТОРЫХ РАСТЕНИЯ ПОГЛОЩАЮ[illegible]НТЫ ПИТАНИЯ

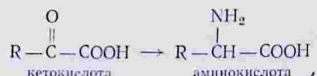
В результате непрерывных биологических, физических, химических и физико-химических процессов в почве сложные минеральные или органические вещества распадаются на простые. Образующиеся продукты распада постоянно используются для питания растений, хотя некоторая часть их может теряться в газообразной форме 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 NO_3^- и катиона аммония 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.

Для восстановления нитратов до нитритов необходимо два протона и два электрона. После присоединения электронов нитраты переходят в нитриты. Далее образуются гипонитрит, гидроксиламин и аммиак. Всего для восстановления нитратов до аммиака необходимо 8 протонов и 8 электронов (рис. 6).

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 процесс фиксации молекулярного азота.

Связывание молекулярного азота атмосферы осуществляется рядом почвенных микроорганизмов и многими растениями в симбиозе с микроорганизмами (рис. 7).

Процесс связывания азота носит многоступенчатый характер. Важные функции в осуществлении отдельных звеньев процесса выполняют фермент нитрогеназа, леггемоглобин, соединения группы витамина B_{12}, 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_4^{2-}. В растениях сульфат последовательно восстанавливается до сульфита (SO_3^{2-}) и сульфида (S^{2-}), 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: ($H_2PO_4^-$), (HPO_4^{2-}) или (PO_4^{3-}). В растениях фосфор является составной частью нуклеиновых кислот, из которых состоит генетический аппарат ядра, входит в состав фосфолипидов — соединений, определяющих свойства клеточных мембран, входит в состав ряда коферментов, в том числе пиридиннуклеотидов и нуклеозидфосфатов. Фосфор в жи-

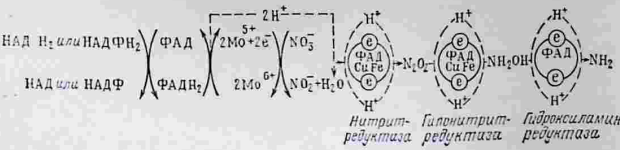


Рис. 6. Схема восстановления нитратов.

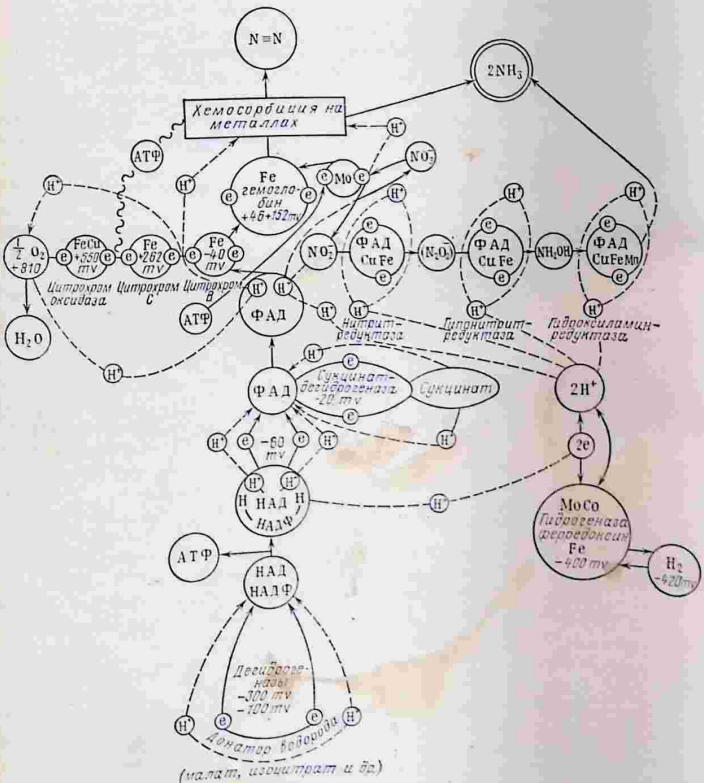


Рис. 7. Схема фиксации молекулярного азота в клубеньках бобовых культур (Я. В. Пейве, Б. А. Ягодин, Г. Я. Жизневская).

вых 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 (перефосфорилирование). 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 несколько бо́льших 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 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 манганатов.

Во многих процессах жизнедеятельности большую роль играют переходы цитоплазмы из состояния геля в состояние золя. Ионы щелочных металлов (K^+, Na^+) повышают, а ионы щелочноземельных (Ca^{2+}, 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 нейтрализуют их. При этом теряется водная оболочка 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 бывает лучше оводнена при большем содержании ионов калия.

Высокая концентрация ионов калия (50...100 мМ) является характерной особенностью всех растительных и животных клеток. Только при наличии определенного уровня содержания ионов калия в клетке могут нормально осуществляться такие процессы, как 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 целям «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 изменяется распределение электрических зарядов в клетке, изменяется электрический и концентрационный градиент. Все эти изменения оказывают определяющее влияние на процессы, происходящие в клетке.

КОРЕНЬ И ЕГО СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ КАК ОРГАНА ПОГЛОЩЕНИЯ

Корень — специализированная часть растения, закрепляющая его в почве и выполняющая функции поглощения, первичного усвоения, включения в метаболизм, распределения и транспорта воды и минеральных веществ. Корень 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 поглощение основной массы питательных веществ осуществляется молодыми, растущими участками 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. 8).

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. Наиболее интенсивным поглощением элементов минерального питания по сравнению с зоной деления и зоной растяжения обладают клетки зоны корневых волосков.

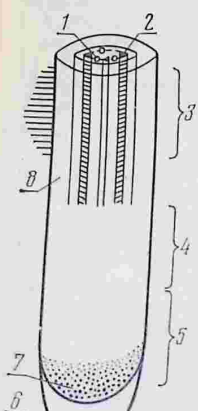


Рис. 8. Строение корня:
1 — флоэма; *2* — ксилема; *3* — зона корневых волосков; *4* — зона растяжения; *5* — зона деления; *6* — корневой чехлик; *7* — апикальная меристема; *8* — первичная кора; *9* — эпиблема с корневыми волосками.

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

Поглощающую поверхность корня очень сильно увеличивает наличие корневых волосков. Считается, что зона корневых волосков и является зоной поглощения. Однако в опытах было показано, что поглощение элементов питания может происходить вдоль корня на 0,5 и

15. Изменение площади поверхности корней яровой пшеницы

Фаза развития	Поверхность корней (в м²) одного растения		Отношение деятельной поверхности к недеятельной
	общая	деятельная	
Кущение	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

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 одинаковым с таковым в зоне корневых волосков.

Корневые волоски не обладают специальными поглотительными свойствами. Об этом говорит опыт, проведенный Кларксоном. Если вырастить ячмень в водной культуре с сильной аэрацией раствора (при постоянном его перемешивании), то на корнях корневых волосков не образуется, а поглощение ионов тем не менее осуществляется 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 большая. За короткий срок корни поглощают весь окружающий их фосфор и увеличивают свою поверхность для поглощения следующих количеств фосфора. Другие ионы имеют бо́льшую 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 поглощения корнями воды постоянно происходит движение почвенного раствора в направлении корней растений.

В случае, 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. (Нами лишь для удобства изучения отдельно рассматриваются вопросы корневого и отдельно воздушного питания растений.)

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: 1) на метаболизм самого корня, на рост корня и поддержание зрелых, функционирующих клеток в физиологически активном состоянии; 2) на построение веществ, выделяемых корнем в наружную среду; 3) на построение веществ, поступающих с пасокой 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 углекислого газа. В составе корневых выделений обнаружены сахара, 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 перерабатывать их полностью или частично 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 рассматриваются как фактор, способствующий интенсивному метаболизму листьев и задерживающий их старение. Вырабатываются цитокинины главным образом в корне и частично в листьях.

Гиббереллины являются необходимым фактором 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 ство-

лах 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. Представляется важным факт, что обработка растений ростовым веществом кинетином 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.

ТЕОРИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ 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 концентраций 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 (рис. 9).

Поступление веществ против градиента концентрации требует затраты энергии.

Как отмечено выше, существует ряд теорий поступления элементов в

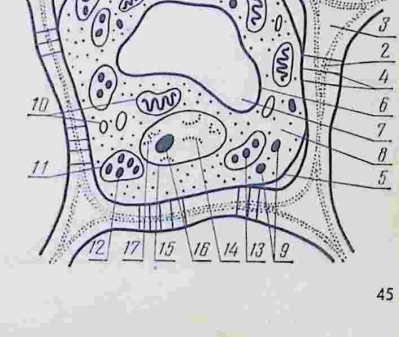


Рис. 9. Строение растительной клетки:
1 — стенка клетки; *2* — срединная пластинка; *3* — межклетник; *4* — плазмодесмы; *5* — плазмалемма; *6* — тонопласт; *7* — вакуоль; *8* — цитоплазма; *9* — липиды; *10* — митохондрии; *11* — хлоропласт; *12* — граны в хлоропласте; *13* — крахмальное зерно в хлоропласте; *14* — ядро; *15* — ядерная оболочка; *16* — ядрышко; *17* — хроматиновая сеть в ядре; *18* — аппарат Гольджи (диктиосомы); *19* — рибосомы.

клетку. Однако 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 обусловливает течение всего процесса, причем один механизм дополняет другой.

К настоящему времени утвердилось представление, что 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 эл[illegible]й заряд, то их распределение между клеткой и средой о[illegible]ак разностью электрических потенциалов, так и разно[illegible]ний. Суммарно эти две величины принято обозначать [illegible]ческий градиент.

Соотношение разл[illegible]в транспорта элементов питания может изменятьс[illegible]стений и зависит от многих условий. Так, напр[illegible]оступления ионов увеличивается при по[illegible]ии солей (что возможно в условиях зас[illegible]есении удобрений).

Следует отмети[illegible]ым транспортом» ионов понимали процесс передвижения катионов и анионов, связанный с метаболизмом. Поэтому 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 вследствие 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 вследствие диффузии 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 «донановское 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 отри-

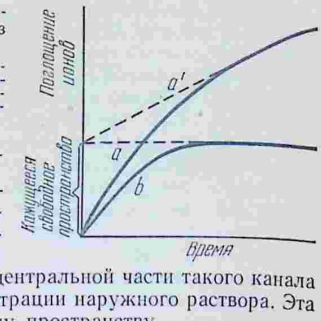


Рис. 10. Ход поглощения иона (с радиоактивной меткой) после переноса корней из чистой воды в раствор соли:

а — нормальный ход (неметаболическое + метаболическое поглощение); *в* — при 0°С или в присутствии ингибиторов дыхания (только неметаболическое поглощение); *а'* — метаболическое поглощение.

цательный 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. 10). Оно слабо избирательно и при действии ингибиторов и снижении температуры его конечная величина остается постоянной. Это обратимый процесс, в котором не участвуют диффузионные барьеры. Отрицательно заряженной мембраной могут быть клеточная стенка с карбоксильными анионами протопектина и плазмалемма, возможно, 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 Ca^{2+}, и перенесенный в раствор, содержащий 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. Далее 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 надземные 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 жиднедеятельности, 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 в час.

Цитоплазматическая мембрана (плазмалемма). 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. 11). Фосфолипиды, являющиеся основным компонентом мембраны, могут образовывать несколько типов жидкокристаллических структур (рис. 12).

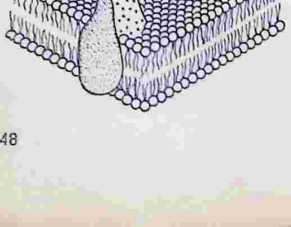


Рис. 11. Мозаичная модель клеточной мембраны: *а* — липиды; *б* — белки. Благодаря мозаичной структуре отдельные участки цитоплазматической мембраны имеют положительные и отрицательные заряды, за счет которых может происходить адсорбция катионов и анионов из наружной среды (Бергельсон, 1975).

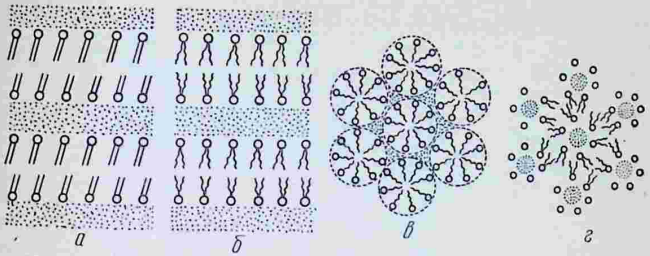
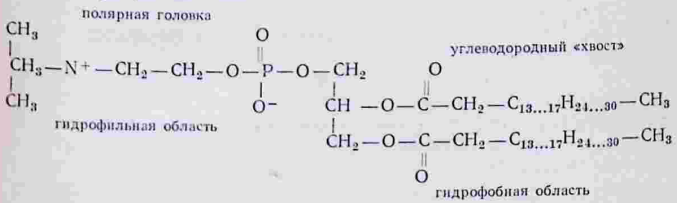


Рис. 12. Структура липидных агрегатов:
а — гелеобразная; *б* — ламеллярная (слоистая); *в* — цилиндры липидов в воде; *г* — цилиндры воды в липидной фазе. Основным компонентом мембраны являются фосфолипиды, которые могут образовывать несколько типов жидкокристаллических структур (Бергельсон, 1975).

Фосфолипидные молекулы имеют полярные «головки» — гидрофильные группы, и неполярные «хвосты» — длинные углеводородные гидрофобные остатки. Фосфолипиды плохо растворяются как в полярном растворителе — воде (мешают неполярные «хвосты»), так и в неполярной среде — масле (мешают полярные «головки»). Мономолекулярный слой на границе раздела ограничивает проницаемость веществ (рис. 13).

Примером структуры фосфолипидов может служить химическое строение фосфатидилхолина:



Толщина бислойной мембраны 10...12 нм. Наличие в липидной мицелле мембраны некоторого количества отрицательно заряженных головок создает разность потенциалов на границе раздела между липидом и водой. Поэтому положительные ионы связываются поверхностью мембраны, а отрицательные — отталкиваются.

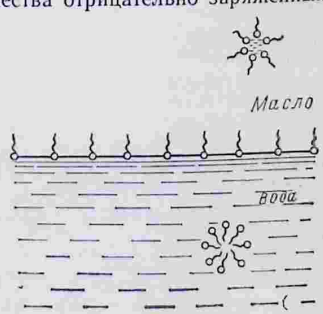


Рис. 13. Мономолекулярный слой липидов на поверхности раздела вода-масло и мицеллы липидов в масле и воде. Образование мономолекулярного слоя на границе раздела создает ограничение проницаемости веществ (Бергельсон, 1975).

О.М

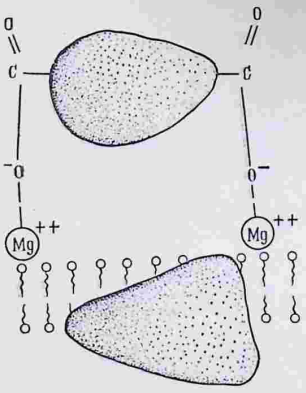


Рис. 14. Способ крепления отрицательно заряженных белков и полярных головок мембранных липидов через мостики, образуемые ионами двухвалентных металлов. Белки могут быть связаны с полярными головками мембранных липидов не непосредственно, а через мостики, образуемые катионами двухвалентных металлов (Бергельсон, 1975).

В настоящее время большинство исследователей рассматривает мембрану как структуру из фосфолипидов, пронизанную белками. Она представляет собой либо простую пленку, либо шаровидные мицеллы.

Белки являются важнейшим компонентом мембран. Из них построены и поры, выстилающие стенки канала в мембране. Цитоплазматическая мембрана является не только барьером, в ней происходит вовлечение поглощенных ионов в различные реакции обмена 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. 14).

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

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

Если мембрана разделяет два раствора различной концентрации, то в зависимости от ее проницаемости через нее будут проходить или растворитель, или растворенное вещество, и в результате процесса диффузии произойдет выравнивание концентрации (рис. 15...16).

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

Прохождение этих веществ по механизму пассивного транспорта может осуществляться, если в мембранах предположить 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.

В случае частиц, несущих электрические заряды, процесс прохож-

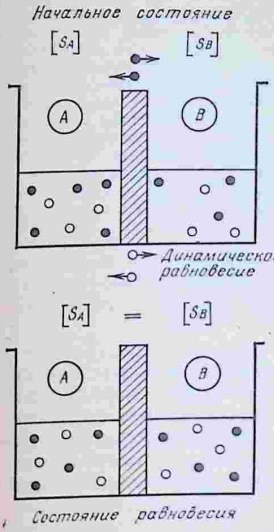


Рис. 15. Распределение молекул растворенного вещества в результате диффузии через проницаемую мембрану. $[S_A]$ и $[S_B]$ — концентрации растворенного вещества в камерах A и B. Черные кружки — молекулы растворенного вещества, светлые кружки — молекулы воды. Вначале наблюдается чистое перемещение вещества через мембрану (верхний рисунок), затем устанавливается динамическое равновесие и чистый поток отсутствует (нижний рисунок) (Кларксон, 1978).

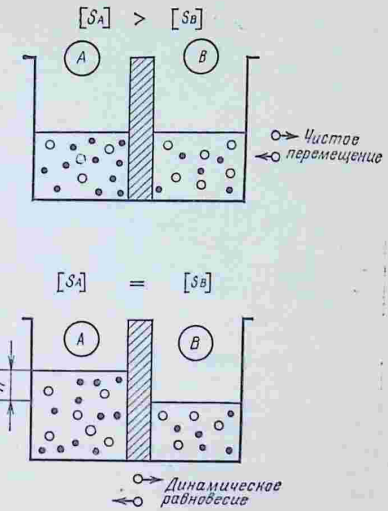


Рис. 16. Движение молекул воды через полупроницаемую мембрану, разделяющую две камеры, первоначально заполненные растворенным веществом (черные кружки) в разной концентрации. Вначале (верхний рисунок) наблюдается чистое перемещение молекул воды (светлые кружки) в камеру A, поскольку мембрана непроницаема для растворенного вещества. После достижения стационарного состояния (нижний рисунок) устанавливается разность уровней раствора между камерами A и B, величина которой пропорциональна начальной разности концентрации растворенного вещества (осмотическому потенциалу) (Кларксон, 1978).

дения зависит от разности концентрации и разности электрического потенциала.

Например, при наличии растворов поваренной соли разной концентрации ионы Cl^- и Na^+ устремятся из концентрированного раствора в более слабый. Но ионы Cl^- в водной среде более подвижны, и поэтому более слабый раствор быстро станет 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 возникает мембранный потенциал (рис. 17).

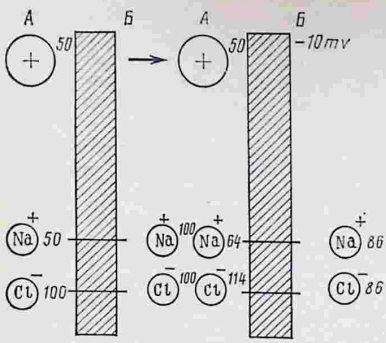


Рис. 17. Схема прохождения ионов через полупроницаемые мембраны. Когда в одном из растворов (*А*) некоторые катионы настолько велики, что не могут проходить через мембрану, то из второго раствора (*Б*) вслед за ионами натрия в первый раствор начнут поступать ионы хлора, несмотря на то, что их движение 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.

Знание направления градиента электрохимических потенциалов необходимо для выяснения механизма передвижения ионов. Для катионов градиент электрохимических потенциалов направлен внутрь клетки или корня, а для анионов — наружу. При определениях внутриклеточной концентрации катионов, как правило, обнаруживается бо́льшая 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.

Гипотеза 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 представляет 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, как и в случае пассивного переноса, либо химический градиент вещества, либо электрохимический потенциал. В этом случае движение веществ происходит «под гору» и процесс называется облегченной диффузией. Функционирование системы с облегченной диффузией должно в итоге привести к выравниванию градиентов и к установлению равновесия в системе. Отсутствие в биологических мембранах систем облегченной диффузии для промежуточных продуктов метаболических про-

цессов 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 является сильно гидрофобным, так как наружу направлены углеводородные остатки, и легкорастворимым 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, вырабатываемых 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 падает.

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 ммоля). 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. 18).

Предполагается, что первая система локализована в плазмалемме. По поводу второй, менее селективной, системы считается, что она локализована, возможно, в плазмалемме, но более вероятно, что 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 на внутреннюю. Примером такого переноса ионов может служить ионный насос, представленный транспортной АТФ-азой. Свое название АТФ-азы получили в связи с присущей им способностью расщеплять АТФ. Освобождаемая энергия используется

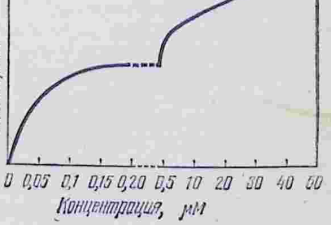


Рис. 18. Зависимость поглощения K^+ корнями ячменя от концентрации раствора. Ход кривой указывает на два различных механизма переноса (по Эпштейну).

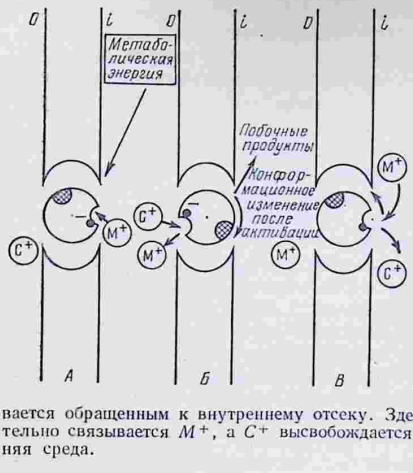


Рис. 19. Гипотетический механизм электронейтрального ионообменного насоса, позволяющий осуществить перенос ионов против электрохимического градиента. *А* — активация. Активный участок потребляет метаболическую энергию, и к обменному участку присоединяется катион M^+. *Б* — переориентация. В активированном насосе обменный участок изменяет свою ориентацию и оказывается обращенным к внешней среде. В этих новых условиях изменяется сила его электрического поля, так что теперь с ним предпочтительно связывается катион C^+. *В* — релаксация — переход 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. *о* — наружная среда; *i* — внутренняя среда.

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 (рис. 19).

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

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

Таким образом, активный транспорт ионов в клетки осуществляется за счет специальных ферментов АТФ-аз по механизму, называемому ионным насосом.

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

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

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

Транспорт веществ против электрохимического градиента требует 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 процессов рядом антибиотиков. Следует отметить, что, 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 м.-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 имеющиеся в плазмалемме поры. 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 K^+ 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 являются ответственными за субстратную специфичность транспорта.

В настоящее время 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 передаются 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 градиент.

При этом среда клетки 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 противоположное 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 осуществляется 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 $NH_4^+ \rightleftarrows^{H^+}_{NH_3} NH_3$ и дает аммиак и водород. Молекула NH_3 проникает в клетку в тысячу раз быстрее любых других электронейтральных молекул, кроме воды. При проходе через мембрану аммиак берет от воды протон, образуя аммоний NH_4^+ и гидроксил OH^-:

$$NH_4^+ \rightleftarrows^{NH_3}_{H^+} \longrightarrow NH_3 + H-OH = NH_4^+ + OH^-$$

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 водородных связей мембраны и называются хаотропными.

Доказательством хорошего прохождения нитрата через мембрану может служить следующий опыт. Если в среду, где помещена липосома (крошечный шарик, ограниченный бислойной искусственной мембраной) внести KNO_3 и валиномицин, то последний образует калиевую «дырку», и внутрь липосомы начинают поступать ионы K^+ и анионы NO_3^-, она быстро разбухает. Если же KNO_3 заменить на KCl, то для Cl^- мембрана окажется непроницаемой. Внутрь 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.

Рис. 20. 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 макромолекулы (*В*), впячивается внутрь (*Г*). В месте впячивания края мембраны смыкаются (*Д*) и образовавшийся пиноцитарный пузырек отрывается от клеточной мембраны (*Е*). В глубине клетки мембраны пузырька разрушаются ферментами (*Ж*).

Пиноцитоз. И. И. Мечников обнаружил способность лейкоцитов «заглатывать» бактерии. Позднее оказалось, что многие клетки могут поглощать твердые частицы и капли, плавающие в окружающей среде. Это явление было названо фагоцитозом в случае «заглатывания» клетками твердых частиц и пиноцитозом — при «заглатывании» капель жидкостей. 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 (рис. 20). В клетке мембранная оболочка пузырька разрушается ферментом, и захваченные частицы попадают в цитоплазму. Процесс образования пузырька и отрыв его от наружной мембраны требуют затраты энергии, которая подается в виде АТФ.

Разрушение пиноцитарного пузырька происходит 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. Имеются 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 элемен-

тов 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.

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, а и всего растения в целом. Неотъемлемой частью метаболизма клеток корня, в том числе и растущих клеток, 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 находиться 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 обменнопоглощенные 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 других процессов). Следует отметить, что под влиянием изменения 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 обусловливает 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 растения, свойств почвы, в том числе от уровня потенциального плодородия, прежде всего связанного с содержанием органического вещества и минералогическим составом, от ее механического 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. Естественно, что 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.

16. Максимально возможные урожаи (в ц с 1 га) сельскохозяйственных культур в зависимости от механического состава почвы *

Сельскохозяйственные культуры	Суглинистая	Супесчаная и песчаная, подстилаемые мореной	Супесчаная, подстилаемая песками	Песчаная
Озимая рожь	50...55	45...50	40...45	30...35
Озимая пшеница	55...60	50...55	45...50	35...40
Ячмень	60...75	55...65	50...60	40...50
Овес	50...60	45...55	40...45	30...40
Картофель	400...500	350...450	300...400	250...300
Сахарная свекла	500...600	450...500	400...450	300...350
Лен (волокно)	18...22	17...19	—	—

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

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

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 питательных веществ и других вопросов, относящихся к физиологии, биохимии растений, почвоведению и т. д.

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

Оптимальная концентрация питательного раствора, т. е. та, при которой обеспечивается в данных условиях наибольшая продуктивность растений, сильно варьирует и постоянно изменяется в различные периоды онтогенеза для одного 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 в интервале 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 положение следует учитывать при оценке локального или очагового внесения удобрений.

17. Влияние концентрации питательного раствора на рост и урожай огурца (З. И. Журбицкий, 1963)

Концентрация питательного раствора		Масса 10 растений в возрасте 26 дней		Зеленая масса при уборке		Урожай плодов		На 100 частей зеленой массы имеется плодов в урожае
в г/л	в ммоль/л	в г	в %	в г	в %	в г	в %	
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

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

Особенно чувствительны растения к избыточному повышению концентрации питательного раствора в молодом возрасте. Отдельные сельскохозяйственные культуры не переносят увеличения концентрации питательных веществ выше определенного предела (находятся внутри интервала оптимальных концентраций для роста и развития других культур) (табл. 17).

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

Более высокие концентрации питательного раствора — 36,2... 46,5 ммоль/л — вызвали резко отрицательное действие. В этих вариантах у растений в месячном возрасте в период цветения наблюдалось подсыхание краев у средних и нижних листьев, подсыхание и побурение между жилками листа.

Неодинаковая чувствительность к концентрациям питательных веществ у отдельных растений, их отношение к уровню минерального питания на различных этапах онтогенеза должны обязательно учитываться при разработке системы удобрения сельскохозяйственных культур.

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

Исследованиями показано, что в усвоении элементов минерального питания растениями большую роль играет соотношение ионов в среде. Каждому виду растений необходимо определенное соотношение пита-

тельных 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, чем калия. 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.

Далеко не решенным является вопрос: как зависит поступление питательных веществ от их концентрации во внешнем растворе? В наших опытах была продемонстрирована тесная зависимость между поступлением кобальта в растения и его концентрацией в растворе. Установлено, что 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, в случае резкого избытка любого необходимого элемента минерального питания защитная реакция растений может проявиться в увеличении поглощения других элементов. Небольшой избыток одного из макроэлементов, когда растению еще не грозит гибель, также вызывает обычно резкое снижение поступления других минеральных элементов. Избыток элементов питания может частично устраняться внесением других 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.

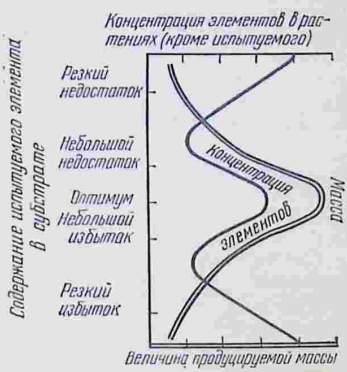


Рис. 21. Зависимость между продуцируемой массой и концентрацией элементов в растениях при разных уровнях содержания испытуемого элемента в субстрате.

Концентрация элементов питания в растениях имеет три максимума — при оптимальной дозе, резком недостатке и резком избытке испытуемого элемента в субстрате (рис. 21).

Нормальное функционирование растительного организма осуществляется при строго опре-

деленном соотношении катионов и анионов во внешней среде. Это положение служит теоретической основой для разработки и обоснования питательных смесей. Наряду с этим сформулировано представление об антагонизме ионов при их поглощении — физико-химический антагонизм ионов. Из него следует, что одноименно заряженные ионы мешают друг другу при их поступлении в живую клетку.

Обменная адсорбция, как первый этап поступления элементов, к наружной стороне мембраны (плазмалеммы) корня растения, объясняет это явление как конкуренцию 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 в случае наличия 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, что, в свою очередь, приводит к увеличению потребности в других элементах питания. По-видимому, один из механизмов часто наблюдаемого так называемого 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 называется 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 концентрации и соотношении.

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

18. Рост корней пшеницы в зависимости от состава питательного раствора

Соль	Прирост корешков в длину за 40 дней (в мм)
$NaCl$	59
KCl	68
$MgCl_2$	7
$CaCl_2$	70
Трехсолевой раствор $NaCl \cdot KCl \cdot CaCl_2$	324

Следует отметить, что и различные соли в форме односолевого раствора оказывают неодинаковое действие на растения (табл. 18).

Большое значение в 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 растения и поглощение ими других элементов минерального питания. Повышение уровня азотного питания растений увеличивает поступление в растения P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn и Zn. Влияние азота на поступление в растения указанных элементов изменяется на противоположное при избыточной его дозе и зависит от его формы.

Избыточные дозы фосфора снижают поступление в растения меди, железа, марганца. В присутствии фосфатов снижается поглощение растениями цинка.

Относительно влияния 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 большую 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 увеличивалось при внесении меди и бора. Имеются данные, что молибден значительно улучшает использование азота удобрений и почвы. По нашим наблюдениям, использование азота улучшало применение не только молибдена, но и кобальта. В литературе имеются 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.

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 положительно или отрицательно действовать на поглощение других. При этом направленность действия может изменяться в зависимости от условий. 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 соотношения, видом растений, температурой внешней среды и другими факторами.

В зависимости от перечисленных условий явления антагонизма и синергизма могут переходить одно в другое.

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 резких отклонениях (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 по взаимодействию при поглощении анионов значительно меньше, чем в отношении катионов. Как и для катионов, показано наличие антагонизма и синергизма при взаимодействии отдельных анионов. По данным Потапова, при взаимодействии анионов NO_3^-, PO_4^{3-}, 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 анионов SO_4^{2-} и SeO_4^{2-}) они могут конкурировать один с другим. Между анионами NO_3^-, PO_4^{3-} и SO_4^{2-} и галогенами конкуренция отсутствует при поступлении их в живую клетку благодаря различию в химических свойствах. Между галогенами при их поглощении корневой системой обнаружен выраженный антагонизм.

Валовое содержание элементов в почвах весьма различно. Так, по данным Г. Я. Ринькиса, содержание кальция в почвах колеблется в 1310 раз, содержание 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).

Корневая система растений дифференцированно 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 орга-

ны. Однако такие элементы, как кальций, железо, марганец, бор, медь и цинк, не реутилизируются; сера частично используется в составе органических соединений. Азот, фосфор, калий, магний могут использоваться 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 по поглощению 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 оказывает влияние на содержание других элементов.

При различных уровнях обеспеченности элементами минерального питания взаимодействие между ними протекает неодинаково и можно наблюдать 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 отметить повышение содержания нитратов в овощах при выращивании их в теплицах зимой в условиях недостаточного освещения.

Повышение содержания нитратов может быть вызвано многими причинами, в частности повышением норм 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. 19).

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 (табл. 20).

Влажность почвы. Содержание достаточного количества влаги в почве является необходимым условием для нормального развития растений и оказывает большое влияние на поступление в них элементов питания.

19. Влияние норм азотных удобрений на массу кочанного салата и содержание в нем нитратов

Норма азота (в кг на 1 га)	Масса кочана (в г)	Содержание $N-NO_3$	
		мг/кочан	мг/кг
0	79	45	569
50	93	63	677
100	149	129	866
200	160	200	1250
400	169	211	1248

20. Качество волокна хлопчатника в многолетнем опыте с калийными удобрениями

Норма $N:P_2O_5:K_2O$ (в кг на 1 га)	Симподиальные ветви	Метрический номер	Коэффициент зрелости	Крепость (в г)	Разрывная длина (в км)	Промышленный сорт волокна
150:100:0	4...6	5420	2,07	4,7	25,6	1
	7...9	5570	2,01	4,5	25,0	1
	10...12	5870	1,95	4,3	25,0	2
150:100:100	4...6	5310	2,11	4,9	25,9	0
	7...9	5480	2,05	4,6	25,2	1
	10...12	5580	2,00	4,5	25,2	1
150:100:150	4...6	5220	2,16	5,0	26,0	0
	7...9	5250	2,14	5,0	26,2	0
	10...12	5300	2,12	4,9	26,1	0

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 общей поглотительной способности их.

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.

В исследованиях констатировано 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, закисных солей 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

21. Потребление воды на создание единицы сухого вещества

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

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 устьице. Но через устьице поступает и CO_2, необходимый для процесса 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 (CO_2).

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. 21).

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. 22).

Следует отметить, что 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 четыре раза по сравнению с запасом воды при механической обработке почвы парующего поля.

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

Относительная влажность воздуха	Испарение воды растением (в л)	Урожай сухого вещества (в г)	Поглощено (в 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

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

При высоких нормах применения удобрений необходимо обязательно учитывать обеспеченность посевов достаточным количеством влаги, а в засушливых условиях — обращать внимание на нормы 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 повышает 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. Это впервые было показано Хогландом. Его наблюдения по аэрации питательных сред дали новые представления о физиологии минерального питания растений.

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

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

Как для корней целых растений, так и для выращивания культуры изолированных корней отмечено максимальное поглощение элементов минерального питания при содержании кислорода 2...3%. Причем дальнейшее увеличение концентрации кислорода до 100% не увеличивает скорость поглощения солей. 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. 23).

Процесс поглотительной деятельности корней у большинства сельскохозяйственных культур может осуществляться только в условиях достаточной аэрации. Указанная выше оптимальная концентрация кислорода около 3% не является одинаковой для всех растений. Из-

23. Влияние температуры и аэрации на урожай томатов и их питание

Температура раствора (в °С)	Аэрация раствора	Урожай плодов (в кг)	Усвоено (в м.-экв. на одно растение)				
			NO_3^-	$H_2PO_4^-$	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
14...20	Обычная	7	776	115	506	329	141
20...23	Обычная	8	854	143	600	393	143
14...20	Усиленная	10	1074	160	738	445	197

вестна широкая амплитуда колебаний газового состава внешней среды, в которой растения развиваются нормально (районы промышленных центров, высокогорные районы, различные условия аэрации различных почв и т. д.). Однако следует иметь в виду, что недостаток аэрации корневой системы резко нарушает нормальный процесс поглотительной деятельности корней.

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

Имеются данные о депрессивном действии углекислоты на поглощение корневой системой растений нитратов, фосфатов и иона аммония. Отмечено депрессирующее действие продувания питательного раствора двуокисью 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; для овса, пшеницы, ржи 25 °С; для табака 28 °С; для кукурузы и сорго 32...35° С; для огурцов и тыквы 33...35 °С. Для большинства растений при достаточном освещении и удовлетворительном обеспечении водой благоприятна температура воздуха в интервале 15...30 °С. В большинстве случаев оптимальной температурой для поступления азота и фосфора в зерновые хлеба является 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% полной влагоемкости) повышение температуры почвы усиливает мобилизацию азота, что отражается на его потреблении растениями и содержании белковых веществ.

Уже давно отмечается более высокое содержание белка в пшенице на юго-востоке нашей страны в сравнении с северо-западом. Это коррелирует с засушливым климатом и повышенными температурами

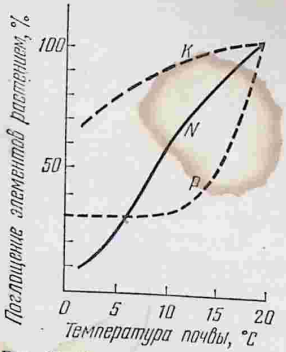


Рис. 22. Схема влияния температуры среды на поступление в растения питательных элементов (в % от поглощения при 20°С).

во время вегетации растений в юго-восточных районах. Клещевина, соя, фасоль, хлопчатник 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 равна 2...3 °С, для яровых зерновых и гороха 4...5 °С. Для формирования вегетативных органов достаточны такие же минимальные температуры.

Формирование репродуктивных органов идет 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.

Условия температуры оказывают существенное влияние 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. 22).

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

Таким образом, в условиях оптимального минерального питания температура около 5...6 °С является критической для поступления основных элементов минерального питания в растения.

Низкие температуры тормозят включение минеральных соединений азота в синтетические процессы. Считают, 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, инактивацией 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 находятся, как и другие факторы жизни, в непосредственной связи. Растение обитает в двух средах — почве 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 постоянно реагировать на изменяющиеся условия внешней среды и как следствие нормально расти и развиваться. В процессе фотосинтеза растения усваивают энергию света, и таким образом начинается цикл энергетического обмена между растениями и внешней средой.

Растения начинают усиленно поглощать элементы минерального питания при первых же лучах солнца. В случае затенения снижается не только интенсивность фотосинтеза, но и поглощение питательных веществ 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, служащие материалом, используемым в процессе дыхания.

При затенении растений процесс дыхания 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.

Влияние реакции почвенной среды на растения. Реакция почвенной 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 почвенной 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, изменяет возможности 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. 24).

Реакция почвенной среды оказывает косвенное и прямое действие на растительный организм. При косвенном воздействии реакция сре-

* Подробно о значении pH среды см. с. 120.

24. Влияние хлористого кальция на рост корней пшеницы при различной кислотности раствора

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

ды оказывает влияние не на само растение, а на условия, от которых зависит его нормальное состояние. Среди этих условий в первую очередь следует отметить влияние pH на доступность растениям элементов минерального питания, проявление токсических 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. 25).

Как известно, в кислом растворе преобладают ионы H^+, и увеличение кислотности раствора улучшает поступление анионов. Поглощение катионов усиливается, как правило, при подщелачивании раствора, когда в нем преобладают ионы OH^-. Так, ион NH_4^+ поступает лучше в растение при нейтральных значениях pH, а ион NO_3^- — при сдвиге pH в сторону подкисления. В почвенных культурах эта закономерность проявляется не всегда, так как почва является весьма 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, так как при постепенном подщелачивании среды происходит видоизменение преобладающей в почве формы фосфатов от одновалентной ($H_2PO_4^-$) к двухвалентной (HPO_4^{2-}) и, наконец, к трехвалентной (PO_4^{3-}). Замедление роста ряда растений при щелочных значе-

25. Влияние pH раствора на поступление ионов в растения

Растения	pH раствора	Поглощено (в мг за 1 ч) из $(NH_4)_2HPO_4$	
		NH_4^+	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

ниях pH может быть вызвано снижением доступности в этих условиях необходимого количества соединений фосфора.

В опытах Д.Н. Прянишникова было отмечено, что при аммонийном питании для сахарной свеклы оптимальным было pH 7,0, а при нитратном — pH 5,5. При анализе растений было отмечено пониженное содержание кальция в листьях растений, развивающихся при кислой реакции и аммонийном питании (так как избыток ионов H^+ и NH_4^+ в растворе затруднял поступление кальция в растения). Отрицательное действие ионов водорода резче проявляется при малом количестве других катионов, и особенно кальция. Исходя из данного положения, Д.Н. Прянишникову удалось значительно усилить развитие растений свеклы при pH 5,5 на аммонийном источнике питания введением 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 в зависимости 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 оказывает заметного влияния на урожай ячменя, но сдвиг реакции в кислую сторону в первые 20 дней, а также в течение всей вегетации резко снижает урожай (табл. 26).

Высокая кислотность оказывает отрицательное влияние на растения не только при низком содержании в почвенной среде кальция и ряда других ионов, но и при недостаточной освещенности в связи с ослаблением процесса фотосинтеза и недостатком ассимилятов для ряда метаболических процессов, в том числе и для обеспечения процесса 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 значительно усиливала отрицательное действие высокой кислотности почвы на растения.

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

26. Реакция раствора и урожай ячменя (в 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, а 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

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 токсических концентрациях, что отрицательно сказывается на развитии растений и, следовательно, на поглощении ими других элементов питания.

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

Буферность почвы, т. е. ее способность противостоять изменению реакции среды, а также наличие кальция смягчают отрицательное воздействие на растения повышенной почвенной кислотности.

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 — pH $\approx$6,5.

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

В исследованиях 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 среды в следующий ряд:

Mn, Co, Zn, Cu, P, Fe, B, Mg, K, N, Mo.

В практике недостаток Mn и Zn чаще всего обнаруживается в карбонатных почвах.

Величина pH почвенного раствора оказывает определенное действие на жизнедеятельность почвенных микроорганизмов.

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

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ СОЛЕЙ

Наряду с другими условиями поступление питательных веществ из минеральных удобрений в растения зависит и от физиологической реакции солей.

Все соли, применяемые в качестве удобрения для растений, по химическим свойствам могут быть гидролитически кислыми, гидролитически 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 определяют его подкисление или подщелачивание.

Физиологическая кислотность удобрения — свойство его 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.

Хотя физиологическая реакция солей сильнее проявляется в водных и песчаных культурах, т. е. в безбуферных средах, при высоких уровнях применения удобрений следует учитывать ее и в практике при применении удобрений на полях, особенно на малобуферных почвах песчаного механического состава с невысоким содержанием гумуса. В случае применения 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 Na^+ и NO_3^-, причем анион NO_3^- потребляется растениями в бо́льших количествах, чем катион Na^+; в растворе, кроме $NaNO_3$, появляется гидролитически щелочная соль $NaHCO_3$. Соли KNO_3, $Mg(NO_3)_2$ и $Ca(NO_3)_2$ ведут себя аналогично.

Интенсивное подкисление питательного раствора происходит вследствие более быстрого поступления в растения аммония, который образуется при диссоциации NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$. Применение данных солей требует обязательной нейтрализации образующихся кислот опережающим известкованием.

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, таких, как овес и 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 двууглекислого кальция $Ca(HCO_3)_2$, который получается при растворении $CaCO_3$ в воде, содержащей углекислоту, то избыточная кислота будет реагировать с бикарбонатом кальция с образованием кальциевой соли кислоты и выделением воды и оксида углерода:

$$Ca(HCO_3)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2H_2O + 2CO_2$$

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.

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ПОГЛОЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

В пахотном горизонте почвы содержится от 3 до 8 т бактерий на 1 га.

Автотрофные бактерии используют для связывания углерода CO_2 фотосинтез или химическую энергию окисления некоторых минеральных веществ — хемосинтез. Способностью к фотосинтезу обладают зеленые и пурпурные серобактерии. Нитрифицирующие бактерии, железобактерии, бесцветные бактерии относятся к хемосинтезирующим.

Гетеротрофные бактерии усваивают углерод готовых органических соединений.

Жизнедеятельность почвенных микроорганизмов оказывает сильное воздействие на превращения питательных веществ в почве и доступность их растениям. Гетеротрофные бактерии в аэробных и анаэробных условиях осуществляют процесс аммонификации — разложения азотистых органических соединений до аммиака. Нитрификаторы окисляют аммоний до нитратов. Процесс хорошо идет при благоприятном водном режиме в хорошо аэрируемых почвах. При активной нитрификации на 1 га за вегетационный период может накопиться до 200 кг нитратов.

В условиях плохой аэрации почвы активно протекает процесс денитрификации — восстановления нитратов до молекулярного азота или промежуточных его соединений, в почвах с плохой аэрацией денитрификация может привести к значительным потерям азота.

Окисление сероводорода, элементной серы и S-соединений до H_2SO_4 называют сульфофикацией; процесс осуществляется серобактериями и тионовыми бактериями. Серная кислота способствует переводу труднорастворимых минеральных солей, особенно фосфатов, в растворимые, а соединяясь с основаниями, дает сульфаты, которые используют растения.

На количество и видовой состав бактерий сильное влияние оказывает применение удобрений.

Так, в опыте общая численность бактерий к концу лета составляла (в млн. на 1 г почвы): без удобрений 350, с применением навоза 610,

с применением навоза и извести — 530 и с применением навоза + РК—540. Численность микроорганизмов зависит от типа почвы, содержания в ней органического вещества и степени окультуренности. В 1 г дерново-подзолистой почвы содержится 600. . .1000 млн., в окультуренной дерново-подзолистой почве 1000. . .2000, в черноземной почве — 2000. . .2500 и в черноземной окультуренной почве 2500. . .3000 млн. микроорганизмов.

При участии громадного количества микроорганизмов в почве постоянно осуществляются в условиях хорошей аэрации процессы аммонификации и нитрификации. В результате увеличивается количество азота, который может быть использован растениями, возрастает его подвижность и доступность, а также и возможность вымывания из верхних слоев почвы. В условиях плохой аэрации преобладает процесс денитрификации, в результате которого азот теряется в газообразной форме.

Для снижения потерь азота из удобрений ведутся поиски новых форм азотных удобрений. Сроки внесения удобрений по возможности приближаются ко времени интенсивного потребления питательных элементов растениями, расширяется применение консервантов удобрений, таких, как ингибиторы нитрификации, и т. д.

Интенсивность и направленность микробиологических процессов в почве оказывают огромное влияние на поглощение растениями элементов питания. Благодаря жизнедеятельности микроорганизмов почвы происходит мобилизация веществ, находящихся в почве в недоступной для растений форме. Как правило, наиболее интенсивно микробиологические процессы происходят в ризосфере корневой системы растений. Благодаря этому в ризосфере накапливаются значительно бо́льшие количества доступных растениям элементов минерального питания, несмотря на усиленное потребление их корневой системой растений (табл. 27).

Особенно хорошо процесс мобилизации под действием микроорганизмов изучен в отношении азота. Подавляющая часть запасов этого элемента содержится в почве в составе органических соединений гумусовой природы и может усваиваться растениями только после их предварительного разрушения почвенными микроорганизмами.

Большое положительное действие почвенной микрофлоры проявляется благодаря способности некоторых микроорганизмов развиваться в симбиозе с высшими растениями. Следует отметить такую

27. Содержание доступных растениям минеральных соединений фосфора и калия в зоне корня и в почве (в 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

способность у бобовых растений, которые благодаря симбиозу с Rhizobium могут усваивать азот атмосферы и обогащать им почву.

Значительная роль в азотном балансе почв, особенно в условиях влажного климата и на почвах, богатых органическим веществом, принадлежит свободноживущим азотфиксирующим микроорганизмам.

При определенных условиях прикорневая микрофлора почвы может выполнять не только положительную, но и отрицательную роль, так как микроорганизмы используют для питания некоторое количество минеральных соединений, поэтому резерв веществ, необходимых для высшего растения, несколько уменьшается. Размер подобного «биологического закрепления» обычно незначителен и не причиняет заметного ущерба растению. Однако в случае внесения в почву веществ с широким отношением C : N, например соломистого навоза, соломы и т. д., микроорганизмы быстро размножаются и потребляют значительные количества азота, фосфора и других макро- и микроэлементов. В результате может возникнуть некоторый дефицит необходимых для растений элементов питания. Именно этим объясняется наблюдающееся в ряде случаев снижение урожая культур в первый год после внесения соломы.

Биологическое закрепление элементов питания микроорганизмами, как правило, бывает непродолжительно. После отмирания клетки микроорганизмов минерализуются с освобождением питательных веществ. Обычно это отмечается на следующий год после внесения в почву веществ, богатых углеродом.

Повышение уровня химизации оказывает существенное влияние на процессы жизнедеятельности почвенных микроорганизмов. Как правило, внесение повышенных норм азотных удобрений вызывает усиление мобилизации микроорганизмами азота почвы и увеличение его поступления в растения. В частности, внесение удобрений, как минеральных, так и навоза особенно, активизирует размножение нитрификаторов и процесс нитрификации.

Препараты гуминовых кислот намного быстрее разлагаются микрофлорой почвы при добавлении к ним азота и органических удобрений. Это объясняется тем, что в более богатой питательной среде количество микроорганизмов, активно атакующих перегнойные соединения, быстро увеличивается. Положительная деятельность микроорганизмов проявляется и в том, что отдельные микробные метаболиты в почве стимулируют энергию прорастания семян и многие процессы жизнедеятельности растений.

Безводный аммиак, внесенный в почву в небольших дозах (30. . . 90 кг на 1 га), оказывает стимулирующее действие на нитрификацию, которая протекает наиболее интенсивно в слабощелочной среде. Более высокие дозы аммиачного азота и создаваемая при этом более высокая щелочность почвенного раствора (pH 9,5. . .10) подавляли деятельность бактерий-нитрификаторов.

Аммиак оказывает токсическое действие также и на другие микроорганизмы почвы. При внесении аммиака в дозе более 120 кг/га временно снижается численность грибов, бактерий и актиномицетов. Токсическое действие аммиака чаще всего ограничивается зоной

6. . .8 см от места внесения и сроком 5. . .10 дней для бактерий и 10. . .20 дней для грибов и актиномицетов, после чего наблюдается значительное усиление (вспышка) их микробиологической деятельности.

По мере нитрификации аммиака pH постепенно снижается (особенно на легких почвах) до уровня, ниже первоначального. Поэтому повышение кислотности почвы в результате применения аммиачных удобрений необходимо периодически корректировать известкованием, чтобы сохранить pH почвы на уровне, наиболее благоприятном для возделывания основных сельскохозяйственных культур.

Интенсификация земледелия требует увеличения применения химических средств борьбы с сорными растениями, болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур. Изменяются способы обработки почвы: в ряде районов поля обычного пара заменяются «химическим паром», т. е. многократным применением гербицидов. Уничтожение сорняков способствует повышению запасов почвенной влаги. Но не следует забывать, что ядохимикаты могут оказать отрицательное действие на почвенную микрофлору. Поэтому применение пестицидов должно быть строго регламентировано.

ОТНОШЕНИЕ РАСТЕНИЙ К УСЛОВИЯМ ПИТАНИЯ В РАЗНЫЕ ПЕРИОДЫ ВЕГЕТАЦИИ, ПЕРИОДИЧНОСТЬ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Различные периоды жизни растений различаются по направленности и интенсивности биохимических процессов. Поглощение элементов питания в течение вегетации осуществляется неравномерно. Рациональная система удобрения должна на основе глубокого знания изменяющихся в течение жизненного цикла потребностей растений в элементах питания 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 достаточным количеством питательных веществ в так называемый 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. 28).

Большая требовательность молодых растений к условиям минерального питания объясняется высокой напряженностью синтетических процессов, происходящих в это время в растительном организме, и одновременно слаборазвитой корневой системой. Например, у зерновых злаков закладка и дифференциация репродуктивных орга-

28. Влияние периодического питания растений фосфором на урожайность ячменя

Условия питания	Урожайность (в %)	
	общая	зерно
Нормальное питание фосфором все время	100	100
Растения не получали фосфора первые 15 дней	17,4	0
Растения без фосфора в возрасте от 45 до 60 дней	102	104

нов начинается уже в период развертывания первых трех-четырех листочков. Недостаток азота в этот период приводит к уменьшению формирования числа колосков и снижению урожая. Последующее достаточное питание азотом не может исправить ущерба, нанесенного растению в этот период (табл. 29).

29. Питание азотом и урожай ячменя (в г на сосуд)

Условия питания	Солома	Зерно
Азот все время	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 поглощения питательных веществ в разные периоды развития у различных растений весьма различается. Так, в одном из опытов растения сахарной свеклы усвоили в первый месяц азота, фосфора и калия по 2 кг, а во второй — N 96 кг, P_2O_5 34 кг и K_2O 133 кг с 1 га.

Травы, сахарная свекла отличаются длительным периодом поглощения питательных веществ. Конопля, наоборот, отличается коротким периодом интенсивного поглощения питательных веществ и 75% всего количества питательных веществ потребляет от фазы бутонизации до фазы цветения.

30. Поглощение питательных веществ яровыми зерновыми культурами (в % от максимального)

Фаза роста	Пшеница			Ячмень			Овес		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Колошение	71	68	88	71	56	73	51	36	54
Цветение	97	100	100	96	74	100	82	71	100
Полная спелость	90	93	67	100	100	64	100	100	83

31. Динамика поступления питательных элементов в растения капусты
(в % от максимального)

Фаза роста	От начала вегетации		
	N	P_2O_5	K_2O
Рассада (10.VI)	0,17	0,14	0,12
Формирование кочана (27.VII)	30,50	21,80	24,20
Рыхлый кочан (7.IX)	96,40	100,00	96,60
Хозяйственная спелость	100,00	90,50	100,00

Наибольшее количество элементов минерального питания яровые зерновые усваивают в период от выхода в трубку до колошения. Так, в период колошения пшеницей было усвоено азота, фосфора и калия около 76% от максимального, ячменем — около 67% и овсом 47% (табл. 30).

Капуста усваивает наибольшее количество питательных веществ во время формирования кочана (табл. 31).

Поглощение элементов питания растениями характеризуется различной интенсивностью. Так, например, хлопчатник в начале роста сильнее поглощает азот, а в фазу цветения — массового созревания — фосфор и калий (табл. 32).

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 в период сахаронакопления.

Лен наиболее чувствителен к уровню азотного питания в период от «елочки» до бутонизации (табл. 33), а к уровню калийного питания — в период от бутонизации до цветения (табл. 34).

Огурцы требовательны к питанию азотом в период формирования ассимиляционного аппарата, а к питанию фосфором — перед цветением. В период плодоношения огурцы нуждаются в усиленном обеспечении азотом и калием.

Таким образом, в начальный период роста растения, как правило, нуждаются в бо́льших количествах фосфора по сравнению с азотом и калием. Усиление азотного и отчасти фосфорного питания в период бутонизации и цветения способствует увеличению урожая зерновых.

32. Поступление питательных веществ в растения хлопчатника
(в % от суммарного потребления за вегетационный период)

Период вегетации	N	P_2O_5	K_2O
От начала роста до бутонизации	3...5	3...5	2...3
От начала бутонизации до массового цветения	25...30	15...20	15...20
Цветение — массовое созревание	65...70	75...80	75...80

33. Действие недостатка азота на урожай льна в разные фазы развития

Условия питания	Масса растений (в %)
Полное питание весь период	100,0
Без азота от „елочки" до бутонизации	38,3
Без азота от бутонизации до уборки	99,0

34. Действие недостатка калия на урожай льна в разные фазы развития

Условия питания	Число коробочек
Полное питание весь период	42
Без калия первые 22 дня	43
Без калия от бутонизации до уборки	9

Повышенное азотное питание в период образования листовой массы и усиление фосфорно-калийного питания в дальнейшем позволяют получать хорошие урожаи корнеклубнеплодов.

Потребность большинства растений в азоте уменьшается к началу плодообразования и при этом возрастает роль фосфора и калия в питании растений. Однако в целом в период плодообразования размеры потребления питательных веществ снижаются, 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, и поэтому до посева, как правило, применяют все подлежащие внесению органические удобрения и почти все количество минеральных удобрений.

Для обеспечения растений питательными веществами, особенно фосфором, в начальный период 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. Применением подкормок можно обеспечивать улучшение питания 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. Практически суточная периодичность отмечена для всех процессов жизнедеятельности.

Создать условия, наиболее полно соответствующие потребностям растений в элементах питания, легче всего при выращивании их на искусственных питательных средах. Выращивание растений в управляемых условиях при беспочвенной культуре приобретает все большее значение.

Большие заслуги в разработке теоретических основ питания растений и выращивании их в искусственных условиях принадлежат Д. Н. Прянишникову и его школе.

Большое значение при выращивании растений в искусственных условиях имеют 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 томатов и получить таким образом «эффект скороспелости».

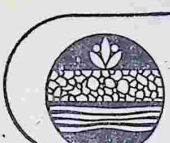
Весьма интересно явление суточной периодичности в поглощении питательных веществ растениями. Она проявляется как при переменных, так и при постоянных условиях среды и носит характер внутреннего эндогенного ритма. Регулируемая биологическими особенностями растений суточная периодичность процессов позволяет 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.

Имеются годовые, сезонные и суточные ритмы; кроме того, у растений 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 закрытого 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.



Глава III

СВОЙСТВА ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ

Общий запас питательных веществ в почве и содержание их в доступных для растений формах, интенсивность процессов перехода питательных веществ из неусвояемого состояния в усвояемое и обратно в значительной степени определяют условия питания растений и потребность их в удобрении.

При высоком содержании усвояемых питательных веществ в почве потребность в удобрениях снижается, а при низком — возрастает. В зависимости от состава и свойств почвы общий запас и количество усвояемых питательных веществ в разных почвах неодинаковы, поэтому отзывчивость на удобрения и эффективность их на разных почвах также различны.

Внесенные в почву удобрения подвергаются разнообразным превращениям, в результате чего изменяются растворимость содержащихся в удобрениях питательных веществ, способность их к передвижению в почве и доступность для растений. Характер и интенсивность процессов превращения удобрений в почве зависят от ее свойств. В разных почвах эти процессы проходят неодинаково. Вместе с тем удобрения сами оказывают сильное действие на почву: обогащают ее питательными веществами, изменяют реакцию почвенного раствора, интенсивность и характер микробиологических процессов и другие свойства, определяющие плодородие почвы. Поэтому знание состава почвы, ее свойств и происходящих в ней физико-химических, химических и биологических процессов очень важно для понимания характера превращений в ней удобрений, особенностей действия их на разных почвах, а следовательно, для наиболее эффективного применения удобрений в соответствии с требованиями возделываемых растений и почвенно-климатическими условиями.

СОСТАВ ПОЧВЫ

Почва состоит из твердой фазы, жидкой фазы, или почвенного раствора, и газовой фазы, или почвенного воздуха, которые находятся между собой в тесном взаимодействии.

Почвенный воздух отличается от атмосферного повышенным содержанием углекислого газа и несколько меньшим — кислорода. В почве постоянно происходит потребление кислорода и выделение CO_2 при разложении органического вещества микроорганизмами, ды-

хании корней растений и в результате некоторых химических реакций. В атмосферном воздухе содержится 0,03% CO_2, а в почвенном воздухе — до 0,3. . .1% (иногда 2. . .3% и более).

Содержание CO_2 в почвенном воздухе зависит от интенсивности газообмена между почвой и атмосферой. Образующаяся в почве углекислота частично выделяется в атмосферу, а частично растворяется в почвенной влаге. В результате диффузии углекислого газа из почвы происходит обогащение им надпочвенного воздуха, непосредственно омывающего листья растений. При нормальной аэрации 1 м³ почвы под растениями выделяет в летний период от 2 до 10 л CO_2 в сутки и потребляет такое же количество O_2. Повышенное содержание CO_2 в приземном слое воздуха создает лучшие условия для ассимиляции углекислоты растениями и способствует повышению урожаев. При растворении диоксида углерода (углекислого газа) в почвенной влаге образуется угольная кислота, которая диссоциирует на ионы H^+ и HCO_3^- и подкисляет почвенный раствор:

$$CO_2 + H_2O = H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

Обогащение углекислотой почвенного раствора усиливает растворяющее действие его на минеральные соединения почвы (фосфаты и карбонаты кальция и др.), способствует переводу их в усвояемые для растений формы. В то же время очень высокое содержание углекислоты и недостаток кислорода в почвенном воздухе (например, при избыточной влажности и плохой аэрации почвы) отрицательно влияют на развитие растений и микроорганизмов. При недостатке кислорода ухудшаются дыхание и рост корней, уменьшается усвоение растениями питательных веществ. В условиях плохой аэрации, при снижении концентрации кислорода в почвенном воздухе в почве начинают преобладать анаэробные восстановительные процессы. Хорошая аэрация создает в почве более благоприятные условия для развития почвенных микроорганизмов, питания и роста растений.

Почвенный раствор — наиболее подвижная и активная часть почвы, в которой совершаются разнообразные химические процессы и из которой растения непосредственно усваивают питательные вещества (соли). В зависимости от типа почвы и других условий в почвенном растворе содержатся анионы (HCO_3^-, OH^-, Cl^-, NO_3^-, $H_2PO_4^-$ и др.), катионы (H^+, Na^+, K^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} и др.), а также водорастворимые органические вещества и растворенные газы (кислород, углекислый газ, аммиак и др.). Поступление солей в него происходит в результате выветривания и разрушения минералов, разложения органических веществ в почве микроорганизмами, внесения органических и минеральных удобрений. Для питания растений особенно важны наличие в почвенном растворе ионов K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+, NO_3^-, SO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$ и постоянное их пополнение.

Общее количество солей в почвенном растворе колеблется от сотых долей процента (в дерново-подзолистых почвах) до нескольких процентов (в засоленных почвах). Обычно содержание водорастворимых солей в почвах составляет около 0,05%. Избыток их в почве (более 0,2%) оказывает вредное действие на растения.

Состав и концентрация почвенного раствора могут заметно изменяться под влиянием ряда факторов. Содержание солей в нем повышается при внесении удобрений, снижении влажности почвы, усилении минерализации органического вещества. Усвоение питательных веществ растениями, вымывание растворимых соединений в нижележащие горизонты или переход их в нерастворимые формы приводят к уменьшению концентрации почвенного раствора. Состав и концентрация солей в растворе зависят также от взаимодействия его с твердой фазой почвы, от обменных реакций между раствором и почвенными коллоидами.

Твердая фаза почвы * содержит основной запас питательных веществ для растений. Она состоит из минеральной части, на которую в большинстве почв приходится 90. . .99% массы твердой фазы, и органической части, которая играет очень важную роль в ее плодородии. Средний химический (элементный) состав твердой фазы почвы (в %) характеризуется следующими данными (по А. П. Виноградову).

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	Иод	$5 \cdot 10^{-4}$
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	(0,50)	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	$1 \cdot 10^{-5}$
Сера	0,08	Бор	$1 \cdot 10^{-3}$	Ртуть	(10^{-6})
Марганец	0,08	Свинец	$1 \cdot 10^{-3}$	Радий	$8 \cdot 10^{-11}$

Почти половина твердой фазы почвы приходится на кислород, одна треть — на кремний, более 10% — на алюминий и железо и только 7% — на остальные элементы.

Все перечисленные элементы содержатся в минеральной части почвы, входят в состав различных минеральных соединений. Углерод, водород, кислород, фосфор и сера находятся и в минеральной, и в органической части почвы. Азот почти целиком содержится в органической части почвы.

МИНЕРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПОЧВЫ

Минеральная часть почвы состоит преимущественно из частиц различных минералов размеров от миллионных долей миллиметра до 1 мм и более. Почвенные минералы подразделяют по происхождению на первичные и вторичные. Первичные минералы — кварц, полевые шпаты, слюды, роговые обманки и пирок-

* Правильнее было бы говорить о «совокупности твердых фаз» почвы ввиду ее гетерогенности. Однако для простоты мы говорим о твердой фазе, подразумевая всю эту совокупность.

сены. Содержатся в почвах главным образом в виде частиц песка (от 0,05 до 1 мм) и пыли (от 0,001 до 0,05 мм) и в незначительном количестве в виде илистых (меньше 0,001 мм) и коллоидных (меньше 0,25 мкм) частиц. Из первичных минералов при их разрушении под влиянием химических процессов (гидратация, гидролиз, окисление) и жизнедеятельности различных организмов в почве образуются гидраты полуторных окислов, гидраты кремнезема, различные соли, а также вторичные минералы, так называемые минералы глин — каолинит, монтмориллонит, гидрослюды и др. Они находятся в почве преимущественно в виде илистых и коллоидных частиц и редко в виде пылеватых частиц.

По химическому составу минералы подразделяют на кремнекислородные соединения, или силикаты, и алюмокремнекислородные соединения, или алюмосиликаты.

Из кремнекислородных соединений наиболее распространен в почве кварц SiO_2, он содержится преимущественно в виде частиц песка и пыли. Почти во всех почвах содержание кварца превышает 60%, а в песчаных достигает 90% и более. Кварц очень стойкий и прочный минерал, химически весьма инертен и в обычных условиях не принимает участия в химических реакциях в почве.

Алюмокремнекислородные соединения (алюмосиликаты) представлены в почве различными первичными и вторичными минералами. Из первичных алюмосиликатных минералов наиболее распространены полевые шпаты, которые подразделяют на калиевые (ортоклазы $KAlSi_3O_8$) и натриево-кальциевые (плагиоклазы), состоящие из изоморфных смесей анортита $CaAl_2Si_2O_8$ и альбита $NaAlSi_3O_8$ в различных соотношениях. Меньше, чем полевые шпаты, распространены в почвах слюды, из них более часто встречаются калийная слюда — мусковит $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$, железисто-магнезиальная слюда — биотит $K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})_2(OH, F)_2$ и магнезиальная слюда — флогопит $KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$. Роговых обманок и пироксенов в почвах мало. Полевые шпаты и слюда, постепенно разрушаясь, служат источником калия, кальция, магния, железа и других элементов пищи для растений.

Вторичные алюмосиликатные минералы состоят главным образом из кремния, алюминия, кислорода и водорода, в небольшом количестве в них содержатся также кальций, магний, калий, железо.

Вторичные минералы по некоторым свойствам (строению кристаллической решетки, степени дисперсности и др.) объединяют в следующие группы: монтмориллонитовая, каолинитовая и гидрослюдистая.

К монтмориллонитовой группе относят монтмориллонит $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$, бейделлит $Al_3Si_3O_9(OH)_3 \cdot nH_2O$ и некоторые другие минералы. Монтмориллонитовые глины характеризуются высокой дисперсностью, обладают высокой набухаемостью, липкостью и вязкостью.

К каолинитовой группе минералов относят каолинит $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ и галлуазит $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$. Каолинитовые глины менее дисперсны, чем монтмориллонитовые, имеют небольшую набухаемость и липкость. Исследования Н. И. Горбунова показали, что в дерново-

подзолистых почвах и в черноземах, сформированных на покровных суглинках, в составе высокодисперсных минералов преобладают слюды и монтмориллонит, а каолинит встречается в виде небольшой примеси или вовсе отсутствует. В значительных количествах каолинит содержится лишь в красноземах и желтоземах, а также в дерново-подзолистых почвах, образовавшихся на граните.

Гидрослюды образуются из полевых шпатов и слюд. Наиболее распространены среди них: гидромусковит (иллит) $KAl_2[(SiAl)_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$, гидробиотит $K(MgFe)_3[(AlSi)_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ и вермикулит $(MgFe^{2+}, Fe^{3+})_2[(Al,Si)_4O_{10}](OH)_2 \cdot 4H_2O$.

Вторичные алюмосиликатные минералы различаются по строению кристаллической решетки, степени дисперсности и другим признакам, но в то же время им присущи и некоторые общие свойства. В почвах они находятся в виде кристаллов, величина которых колеблется от нескольких микрометров до десятых и сотых долей микрометра. Благодаря высокой дисперсности эти минералы обладают большой поверхностью и высокой поглотительной способностью.

Наряду с кристаллическими силикатными и алюмосиликатными минералами в состав минеральной части почвы входят и аморфные вещества. Из них главное место занимают гидроксиды алюминия $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ и железа $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ и гидроксид кремнезема $SiO_2 \cdot nH_2O$, которые выпадают в почве в виде аморфных коллоидных осадков (гелей). Постепенно теряя воду, они могут кристаллизоваться, гидроксид кремнезема переходит во вторичный кварц, а из гидроксидов алюминия и железа образуются гиббсит $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$, бемит $Al_2O_3 \cdot H_2O$, гетит $Fe_2O_3 \cdot H_2O$, лимонит $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ и др. Эти минералы в значительных количествах содержатся в красноземах, желтоземах и в некоторых дерново-подзолистых почвах.

В почве содержатся также различные соли: карбонаты, сульфаты, нитраты, хлориды, фосфаты кальция, магния, калия и натрия. Большинство этих солей (например, нитраты, хлориды, а также углекислые соли и фосфаты калия и натрия) хорошо растворяются в воде, их в почвах немного. Менее растворимые соли — карбонаты кальция, магния и сульфат кальция — в некоторых почвах находятся в значительных количествах в составе твердой фазы. Во всех почвах всегда содержатся малорастворимые соли фосфорной кислоты (фосфаты кальция, магния, железа и алюминия).

Разные механические фракции минеральной части почвы различаются между собой по размеру частиц, а также по минералогическому и химическому составу.

В песке и крупной пыли преобладают кварц и полевые шпаты. В более мелких фракциях (средней и мелкой пыли) количество этих минералов уменьшается, а содержание слюд и роговых обманок увеличивается. Мелкодисперсная (<0,001 мм) илистая и коллоидная фракции состоят главным образом из вторичных алюмосиликатных минералов. В связи с различным минералогическим составом отдельные механические фракции различаются и по химическому составу, и по содержанию наиболее распространенных в почвах элементов (табл. 35).

35. Примерный химический состав разных механических фракций почвы

Фракции, в мм	Содержание (в весовых процентах)						
	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

Более крупные механические частицы почвы (песчаные и пылеватые) содержат больше кремния и меньше алюминия и железа. С уменьшением размера частиц снижается количество кремния и увеличивается содержание алюминия и железа, а также калия, кальция, магния и фосфора.

Почвенный гумус (и входящий в его состав азот) также сосредоточен в наиболее высокодисперсной части почвы. Следовательно, илистая и коллоидная фракции имеют наибольшее значение как источник питательных веществ для растений. Кроме того, эти фракции наиболее активны, обусловливают адсорбционные процессы в почве, ее поглотительную способность.

В связи с тем что отдельные механические фракции почвы различаются по составу минералов, минералогический и химический состав разных по механическому составу почв неодинаков. Песчаные и супесчаные почвы состоят из кварца и полевых шпатов, суглинистые — из смеси первичных и вторичных минералов, а глинистые — преимущественно из вторичных глинистых минералов с примесью кварца.

От механического состава почвы зависят многие физические, физико-химические и химические ее свойства. Содержание в почвах железа, кальция, магния, калия и других элементов питания, которые входят только в минеральную часть почвы, а в некоторой степени также фосфора, находящегося и в минеральной, и в органической части почвы, определяется главным образом их механическим составом. Более тяжелые глинистые и суглинистые почвы богаче этими элементами питания, чем песчаные и супесчаные.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВЫ

Важнейшей частью почвы является органическое вещество. Содержание органического вещества, и в том числе гумуса, в пахотном слое разных почв сильно колеблется (табл. 36).

Органическая часть почвы представляет собой сложный комплекс разнообразных органических веществ, которые подразделяются на две группы:

1) негумифицированные органические вещества растительного или животного происхождения;

2) органические вещества специфической природы — гумусовые, или перегнойные.

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

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

В группу негумифицированных органических веществ входят преимущественно отмершие, но еще не разложившиеся или полуразложившиеся растительные остатки (растительный опад, корни), а также остатки животных, обитающих в почве (червей, насекомых и др.), тел микроорганизмов.

По данным И. В. Тюрина, в культурные почвы ежегодно поступает на 1 га 5...8 т растительных остатков, на их долю в дерново-подзолистых почвах приходится 7...8%, а в черноземах — 1...2% всего количества органического вещества пахотного слоя. Масса бактерий (в слое почвы 0...20 см) колеблется от 0,7 до 2,7 т (по некоторым данным, достигает 5...8 т) на 1 га, что составляет максимум 1...2% запаса органического вещества. В почве находятся также в очень небольших количествах разнообразные, химически индивидуальные органические соединения, являющиеся промежуточными продуктами разложения растительных остатков, тел микроорганизмов и почвенных животных — углеводы (клетчатка, гемицеллюлоза, крахмал и др.), органические кислоты, белковые и другие азотсодержащие органические вещества (аминокислоты, амиды и др.), жиры, смолы, альдегиды, полиуроновые кислоты и их производные, полифенолы, дубильные вещества, лигнин и др. В сумме на негумифицированную часть приходится около 10...15% общего запаса органического вещества почвы. Однако негумифицированные органические вещества играют важную роль в жизни почвы и ее плодородии. Некоторые из них, например органические кислоты, участвуют в разложении почвенных минералов, другие оказывают стимулирующее или угнетающее действие на рост и развитие растений.

Негумифицированные органические вещества являются важным источником питательных веществ для растений, они сравнительно легко разлагаются в почве. Содержащиеся в них элементы питания — азот, фосфор, сера и другие — переходят в доступную для растений минеральную форму. Однако не вся масса органических соединений, вхо-

дящих в состав растительных и животных остатков, полностью минерализуется. Часть их, разлагаясь в почве, превращается в сложные органические соединения специфической природы и служит источником для образования гумусовых веществ — высокомолекулярных азотсодержащих соединений. На их долю приходится 85...90% общего количества содержащегося в почвах органического вещества.

Гумусовые вещества подразделяют на следующие группы, различающиеся по составу и свойствам: гуминовые кислоты, фульвокислоты (креновые и апокреновые кислоты — по прежней терминологии) и гумины.

В настоящее время наиболее изучена группа гуминовых кислот, в которую объединяют вещества, сходные по составу и свойствам, но не вполне идентичные. Элементный состав гуминовых кислот из различных почв следующий: углерод 52...62%, кислород 31...39, водород 2,8...6,6, азот 3,3...5,1%.

Строение молекул гуминовых кислот вполне точно еще не выяснено. По современным представлениям, гуминовые кислоты — это сложные высокомолекулярные соединения, имеющие ароматическую природу.

В состав молекулы гуминовых кислот входят ароматические, безазотистые и азотсодержащие гетероциклические шести- и пятичленные кольца, соединенные между собой мостиками: —N—, —NH—, —CH_2— и др.

В гуминовой кислоте содержатся также углеводные остатки (гексозы, пентозы и др.) и органические азотистые соединения (пептиды, аминокислоты и др.), которые, по-видимому, связаны с ее ароматическим ядром в форме боковых периферических цепей. В составе молекулы гуминовой кислоты имеются функциональные группы: 3...6 фенольных гидроксилов (—OH), 3...4 карбоксильных (—COOH), а также метоксильные (—O—CH_3) и карбонильные (=C=O) группы, которые определяют свойства гуминовых кислот и характер взаимодействия их с почвой. Карбоксильные группы в гуминовой кислоте определяют ее кислотные свойства и обусловливают участие в процессах обменного поглощения катионов.

Водород карбоксильных групп способен замещаться различными катионами с образованием солей, получивших название гуматов, например:

$$RCOOH + NaHCO_3 \longrightarrow RCOO\,Na + H_2O + CO_2$$
$$2RCOOH + CaCO_3 \longrightarrow (RCOO)_2Ca + H_2O + CO_2$$

Гуматы одновалентных катионов (Na^+, K^+, NH_4^+) — растворимые в воде соединения. В большинстве почв из катионов преобладает кальций, и поэтому в основном образуются гуматы кальция, которые нерастворимы в воде и выпадают в почве в виде коллоидного осадка. Гуматы магния и трехвалентных катионов (Fe^{3+} и Al^{3+}) также нерастворимы в воде.

Постоянным компонентом гуминовой кислоты является азот, содержание которого колеблется от 3,5 до 5%. При кислотном гидролизе (6 н. HCl) гуминовой кислоты около половины азота переходит в раст-

37. Фракции соединений азота в гуминовой кислоте (в %) (по А. А. Шмуку)

Фракции	К гуминовой кислоте	Ко всему азоту гуминовой кислоты	К растворимому азоту гуминовой кислоты
Общее содержание азота	3,20	—	—
Перешло азота в раствор при гидролизе	1,42	44,4	—
В том числе:			
N амидов	0,36	11,2	25,4
N моноаминокислот	0,92	28,8	64,8
N диаминокислот	0,14	4,4	9,8
Азот негидролизуемого остатка	1,78	55,6	—

вор, причем в гидролизате обнаруживаются амиды, моно- и диаминокислоты в соотношениях, характерных для белков растительного и животного происхождения (табл. 37). Однако гидролизуемая часть азота гуминовой кислоты представлена не белками, а продуктами их распада — пептидами и аминокислотами, находящимися в форме непрочной связи с ее ароматическим ядром.

Следовательно, в молекуле гуминовой кислоты азот связан в виде периферических цепочек и в гетероциклической форме. Негидролизуемый азот в гуминовой кислоте (на который приходится 40...50% всего его количества) и представлен, по-видимому, азотом, связанным в ядре ее молекулы в гетероциклической форме. Эта часть азота наиболее устойчива к микробиологическому разложению. На долю азота гуминовых кислот приходится в различных почвах от 15 до 30% общего азота.

Следующая группа гумусовых веществ — фульвокислоты — представляет собой высокомолекулярные оксикарбоновые кислоты, содержащие азот. От гуминовых кислот отличаются светлой окраской, растворимостью в воде и минеральных кислотах и более значительной способностью к кислотному гидролизу.

Элементный состав фульвокислот (по В. В. Пономаревой) следующий: углерод 45...48%, водород 5...6%, кислород 43...48,5% и азот 1,5...3%. По сравнению с гуминовыми кислотами фульвокислоты характеризуются преобладанием в их структуре боковых цепей линейно полимеризованного углерода и меньшим участием сеток ароматического углерода. Как и гуминовые кислоты, они содержат фенольные гидроксилы, метоксильные и карбоксильные группы и способны к обменному поглощению катионов. Кальциевые и магниевые соли фульвокислот (фульваты) растворимы в воде, комплексные соединения их с алюминием и железом также характеризуются высокой подвижностью и выпадают в осадок только в узком интервале pH. Фульвокислоты более подвижны, азотистые соединения в их молекуле связаны менее прочно и значительно легче подвергаются кислотному гидролизу, чем азотистые соединения гуминовых кислот. На долю азота фульвокислот приходится от 20 до 40% общего азота почвы.

Гумины почвенного гумуса (нерастворимые в щелочи гумусовые вещества) близки по природе к гуминовым кислотам, но более прочно

связаны с минеральной частью почвы. Этим объясняют более высокую устойчивость гуминов к действию кислот и щелочей. Азот этой фракции гумуса составляет 20...30% общего азота почвы, более прочно связан и более устойчив к разложению микроорганизмами.

Различные типы почв различаются не только по общему содержанию гумуса, но и по его составу, т. е. по соотношению гуминовых кислот и фульвокислот, а также по их свойствам. В гумусе дерново-подзолистых почв по сравнению с гумусом черноземов больше фульвокислот и меньше гуминовых кислот. Отношение последних к фульвокислотам в дерново-подзолистых почвах 0,4...0,6, а в черноземах 1...1,5 и выше. В структуре частиц гуминовых кислот дерново-подзолистых почв в отличие от гуминовых кислот черноземов преобладают боковые цепочки и значительно меньше циклически полимеризованного углерода. Поэтому они характеризуются более высокой дисперсностью и меньшей конденсированностью частиц, приближаясь по этим признакам к фульвокислотам. Эти различия в значительной степени обусловливают более высокую подвижность органического вещества, а следовательно, и азота в дерново-подзолистых почвах по сравнению с черноземами.

В почвах лишь незначительная часть гумусовых веществ находится в свободном состоянии. Гуминовые кислоты и фульвокислоты вступают в химическое и коллоидно-химическое взаимодействие с минеральной частью почвы, образуя различные органо-минеральные соединения (гуматы Ca, Mg, Na, гуматы и смешанные гели с гидроокисью алюминия и железа или комплексные органо-минеральные соединения с алюминием, железом, фосфором, кремнием). Кроме того, они способны прочно поглощаться глинистыми минералами и в этом состоянии становятся менее доступными для микроорганизмов. Взаимодействие гумусовых веществ с минеральной частью почвы и образование различных форм органо-минеральных соединений играют важную роль в закреплении гумуса в почве.

Гумусовые вещества обладают сравнительно высокой (хотя и неодинаковой в разных почвах) устойчивостью к микробиологическому разложению, они значительно труднее подвергаются минерализации, чем органические соединения, входящие в состав поступающих в почву растительных остатков. Однако разложение гумуса в почве хотя и медленно, но постоянно происходит. Многолетние опыты показывают, что длительная культура сельскохозяйственных растений без внесения удобрений сопровождается значительным уменьшением общего запаса гумуса и азота в почве. В бедных гумусом и азотом почвах содержание их за 30...50 лет снижается иногда на 25 и даже на 50% от исходного уровня.

По данным многолетних опытов, в пахотном слое дерново-подзолистых почв ежегодно минерализуется в среднем 6...7 ц, а в черноземных почвах — около 10 ц органического вещества на 1 га, что составляет соответственно около 1% и 0,4...0,5%. При этом образуется соответствующее количество (30... 35 и 50 кг на 1 га) минеральных соединений азота, доступных для растений. Поскольку азота в гумусе содержится около 5%, то на каждую часть этого элемента, взятую растениями из

почвы, необходима минерализация двадцатикратного количества гумуса.

Особенно интенсивно гумус разлагается в чистых парах, где может накапливаться 60...120 кг нитратного азота на 1 га. Для получения такого количества азота должно минерализоваться 1...2 т органического вещества. В почве непрерывно идут процессы новообразования гумуса за счет поступающих в нее растительных остатков и его разрушения и минерализации. В зависимости от того, какой из этих процессов преобладает, и будет уменьшаться или увеличиваться общее количество гумуса в почве. Систематическое применение органических и минеральных удобрений способствует не только повышению урожая сельскохозяйственных культур, но и сохранению и накоплению запасов гумуса и азота в почве. Повышение урожаев под влиянием удобрений сопровождается увеличением поступления в почву пожнивных остатков, что приводит к увеличению количества вновь образованных гумусовых веществ.

Несмотря на сравнительно небольшое содержание органического вещества в почве, оно играет важную роль в создании почвенного плодородия и в питании растений.

Под действием гуминовых кислот, фульвокислот и других органических кислот, а также углекислоты, образующейся при разложении органических веществ, происходят постепенное разрушение силикатных и алюмосиликатных минералов, растворение карбонатов кальция и магния, фосфатов и других слаборастворимых солей. В результате содержащиеся в них элементы питания — кальций, магний, калий, фосфор — переходят в доступную для растений форму.

Органическое вещество — важный источник элементов питания для растений. В нем содержатся почти весь запас азота, значительная часть фосфора и серы, а также небольшое количество калия, кальция, магния и других питательных веществ.

Основная масса азота в почве (до 90%) находится в различных гумусовых веществах и небольшая часть его — в негумифицированных органических соединениях (протеины, аминокислоты и др.), входящих в состав растительных и животных остатков и тел микроорганизмов. На долю органических соединений фосфора приходится 30...40% и более, а на долю органических соединений серы — до 90% общего содержания этих элементов в почве. В результате разложения микроорганизмами органического вещества азот, фосфор, сера и другие элементы питания, содержащиеся в нем, переходят в легкоусвояемые минеральные соединения.

Органические вещества оказывают непосредственное воздействие на растения. Некоторые из них, например бензойная кислота и ванилин, даже в ничтожных концентрациях токсичны для растений. В то же время многие органические вещества — гуминовые кислоты в высокодисперсном состоянии, отдельные соединения ароматического ряда, органические кислоты (уксусная, пропионовая, янтарная и др.), а также находящиеся в почве ферменты, антибиотики, ростовые вещества и витамины, поступая в микроколичествах в растения, стимулируют иногда их рост в условиях водной и песчаной культур.

Органические вещества служат основным источником пищи и энергетическим материалом для большинства почвенных микроорганизмов. На жизнедеятельность последних сильное влияние оказывает содержание в почве органических веществ.

Органические вещества участвуют в адсорбционных процессах (чем больше их в почве, тем выше ее поглотительная способность и буферность), оказывают положительное влияние на структуру почвы, ее влагоемкость, водо- и воздухопроницаемость, тепловой режим.

СОДЕРЖАНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ ДОСТУПНОСТЬ РАСТЕНИЯМ В РАЗНЫХ ПОЧВАХ

Разные типы почв отличаются по составу минеральной части, по количеству и составу органического вещества. В связи с этим содержание основных элементов питания растений в различных почвах также неодинаково. Валовой запас азота, фосфора и калия в пахотном слое разных почв характеризуется следующими примерными данными (табл. 38).

Общее содержание азота в почвах находится в прямой зависимости от количества гумуса; фосфора в почвах также бывает больше, если они богаты органическим веществом, тогда как содержание калия определяется в основном механическим составом минеральной части почвы.

В большинстве почв общий запас азота, фосфора и калия составляет значительные величины, в десятки и сотни раз превышающие вынос этих элементов урожаем одной культуры. Однако основная масса питательных веществ находится в почве в виде соединений, недоступных или малодоступных для питания растений. Азот содержится главным образом в форме сложных органических веществ (гумусовых веществ, белков и др.), бо́льшая часть фосфора входит в труднорастворимые минеральные соединения и органические вещества, а основная часть калия — в нерастворимые алюмосиликатные минералы.

Общий запас питательных веществ в почве характеризует лишь ее потенциальное плодородие. Для оценки эффективного плодородия, действительной способности почвы обеспечивать высокие урожаи сель-

38. Валовой запас питательных веществ в различных почвах

Почва	N		P_2O_5		K_2O	
	в %	в т на 1 га	в %	в т на 1 га	в %	в т на 1 га
Дерново-подзолистая песчаная	0,02...0,05	0,6...1,5	0,03...0,06	0,9...1,8	0,5...0,7	15...21
Дерново-подзолистая суглинистая	0,05...0,13	1,5...4,0	0,04...0,12	1,2...3,6	1,5...2,5	45...75
Черноозем	0,2...0,5	6,0...15,0	0,1...0,3	3,0...9,0	2,0...2,5	60...75
Серозем	0,05...0,15	1,5...4,5	0,08...0,2	2,4...6,0	2,5...3,0	75...90

скохозяйственных культур очень важное значение имеет содержание в ней питательных веществ в доступных для растений формах. Растения могут усваивать те питательные вещества, которые находятся в почве в форме соединений, растворимых в воде и слабых кислотах, а также в обменнопоглощенном состоянии. Переход труднорастворимых и нерастворимых соединений в усвояемые (мобилизация питательных веществ) постоянно происходит в почве под влиянием почвенных микроорганизмов и физико-химических и химических процессов *. Мобилизация элементов питания в разных почвах идет с неодинаковой интенсивностью, зависит от характера соединений, которыми представлены питательные вещества, климатических условий, свойств почвы и уровня агротехники. Если не вносятся удобрения, то для получения высокого урожая очень часто не хватает тех количеств усвояемых форм питательных веществ, которые образуются в почве за вегетационный период. Поэтому для повышения эффективного плодородия почвы и урожайности растений громадное значение имеет применение органических и минеральных удобрений.

Содержание усвояемых форм питательных веществ в зависимости от типа почвы, степени ее окультуренности, предшествующей удобренности и т. д. может быть различным не только в разных хозяйствах, но и на отдельных полях одного и того же хозяйства. Поэтому агрохимические анализы почвы для определения количества подвижных форм азота, фосфора и калия наряду с проведением полевых опытов имеют важное значение для правильного, дифференцированного применения удобрений.

ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ

Способность почвы поглощать ионы и молекулы различных веществ из раствора и удерживать их называется ее поглотительной способностью. Это свойство почвы было известно давно. Начало систематического изучения поглощения почвами солей относится к середине прошлого столетия. В 1850—1854 гг. были опубликованы результаты исследований Д. Уэя, который установил, что почвой поглощается не вся соль, а только ее основание, причем из почвы в раствор переходит такое же количество других оснований.

На дальнейшую разработку учения о поглотительной способности почв большое влияние оказала коллоидная химия. Многие понятия и закономерности ее были с успехом использованы при изучении почвенных коллоидов и поглотительной способности почв. Особенно крупный вклад в этот вопрос сделали К. К. Гедройц, Г. Вигнер, С. Маттсон. Большое значение имели исследования по обменному поглощению в почвах в связи с питанием растений, выполненные в лаборатории Д. Н. Прянишникова.

Наиболее выдающуюся роль в изучении поглотительной способности почв сыграл К. К. Гедройц.

---

* Более подробно содержание и формы питательных веществ и их превращения в почве рассматриваются в главах V...VII.

Изучение поглотительной способности почв К. К. Гедройц тесно увязывал с разработкой теоретических и практических вопросов применения удобрений, питания растений, химической мелиорации почв и т. д. В последующие годы многие ученые значительно расширили и углубили знания о составе и строении почвенных коллоидов, о составе и свойствах почвенного поглощающего комплекса, более полно выявили закономерности поглощения ионов.

К. К. Гедройц различал пять видов поглотительной способности: биологическую, механическую, физическую, химическую, физико-химическую.

Биологическая поглотительная способность

Она связана с наличием в почве живых корней растений и микроорганизмов, которые избирательно поглощают из почвенного раствора азот и зольные элементы и переводят их в различные органические соединения своих тел. Вследствие этого питательные вещества предохраняются от выщелачивания из почвы. В результате биологической деятельности в почве накапливается органическое вещество.

Большинство микроорганизмов потребляет для питания и построения своих тел те же элементы, что и высшие растения. Количество микроорганизмов в почве огромно, общая масса их может достигать нескольких тонн на 1 га. Особенно много микроорганизмов в зоне, где почва непосредственно соприкасается с корнями растений (в ризосфере.)

Используя в качестве источника пищи и энергетического материала органические вещества, микроорганизмы разлагают их, переводят содержащиеся в них элементы питания в минеральную, доступную для растений форму. В то же время они сами потребляют некоторое количество питательных веществ (N, P, S и др.) для построения своих тел, переводят их в органическую форму и в этом смысле являются конкурентами культурных растений.

В плазме живых тел микроорганизмов связано значительное количество азота, фосфора, серы и калия. По подсчетам Е. Н. Мишустина, в окультуренных дерново-подзолистых почвах в микробной плазме содержится на 1 га 125 кг N, 40 кг P_2O_5 и 25 кг K_2O. При внесении в почву удобрений некоторая часть содержащихся в них питательных веществ также потребляется почвенными микроорганизмами.

Биологическое поглощение играет особенно большую роль в превращении азотных удобрений в почве.

Исследования, проведенные с использованием стабильного изотопа ^{15}N, показали, что в органической форме закрепляется в почве 10...20% азота нитратных и 20...40% азота аммиачных удобрений. Несмотря на то что нитратного азота закрепляется в органической форме в 1,5...2 раза меньше, чем аммиачного, биологическое поглощение имеет особенно большое значение для нитратов и нитратных форм азотных удобрений. Нитраты, не усвоенные растениями, удерживаются в почве и предохраняются от вымывания главным образом благодаря усвоению

их микроорганизмами, так как ни физически, ни физико-химически, ни химически они не поглощаются в почве. Считается, что биологическое поглощение азота, а также фосфора и других питательных веществ — явление временное, так как после отмирания микроорганизмов их плазма быстро минерализуется, содержащиеся в ней элементы питания освобождаются в минеральной форме и могут использоваться растениями.

Однако если в почве находится достаточное количество легкодоступных органических веществ, служащих источником энергии для микроорганизмов, то происходит усиленное их размножение — часть поглощенного микроорганизмами азота передается из поколения в поколение живой микрофлоре и длительное время не освобождается в минеральной форме. Кроме того, при разложении и гумификации микробного белка часть связанного в нем азота включается в состав вновь образованных гумусовых веществ и на длительный срок становится недоступной для растений. Если процесс биологического поглощения питательных веществ микроорганизмами выражен слишком сильно, то это может неблагоприятно отразиться на питании культурных растений. Интенсивность биологического поглощения зависит от влажности, аэрации и других свойств почвы, а также от количества и состава органических веществ в ней, служащих энергетическим материалом для микроорганизмов. Так, при внесении в почву значительного количества богатого клетчаткой, но бедного азотом органического вещества (соломы или сильно соломистого навоза) микроорганизмы, используя клетчатку в качестве энергетического материала и разлагая эти органические вещества, будут быстро размножаться, потреблять растворимые минеральные соединения азота из почвенного раствора. В результате ухудшится питание растений азотом и снизится урожай. Аналогичные процессы могут происходить с фосфором, серой и другими необходимыми для растений элементами.

Таким образом, в зависимости от конкретных условий биологическое поглощение питательных веществ микроорганизмами может иметь положительное значение или же играть отрицательную роль в питании растений.

Механическая поглотительная способность

Этот вид поглощения обусловлен свойством почвы, как всякого пористого тела, задерживать мелкие твердые частицы, взвешенные в фильтрующейся через нее воде. Так, после прохождения через почву мутной воды она становится почти прозрачной: взмученные в ней илистые частицы механически поглощаются почвой. Механической поглотительной способностью обусловливается сохранение в почве наиболее ценной коллоидной фракции. Вносимые в почву тонкоразмолотые удобрения (например, фосфорная мука) не вымываются из ее верхнего слоя вследствие их механического поглощения.

Это положительная или отрицательная адсорбция частицами почвы целых молекул различных веществ. Физическое поглощение зависит главным образом от суммарной поверхности твердых частиц почвы. Общая поверхность частиц резко увеличивается с уменьшением их размера. При измельчении 1 $см^3$ вещества, имеющего поверхность 6 $см^2$, на кубики с длиной ребра 0,001 и 0,000001 см общее число кубиков составит соответственно 10^9 и 10^{18}, а суммарная поверхность всех кубиков увеличится с 6 $см^2$ до 6000 и 6 000 000 $см^2$. Поэтому чем больше в почве мелкодисперсных частиц, тем больше суммарная поверхность, на которой происходит поглощение.

Если молекулы растворенного вещества притягиваются частицами почвы сильнее, чем молекулы воды, то у самой поверхности частиц, в пленке окружающего их раствора, создается повышенная концентрация этого вещества, а на некотором расстоянии от поверхности частиц концентрация будет ниже. В этом случае отмечается положительная молекулярная адсорбция, положительное физическое поглощение. Так поглощаются молекулы многих органических соединений — спиртов, органических кислот и оснований, высокомолекулярных органических веществ. Из минеральных соединений, по К. К. Гедройцу, почва положительно поглощает физически только щелочи. Для растворимых минеральных солей и неорганических кислот характерна, наоборот, отрицательная молекулярная адсорбция. При взаимодействии раствора минеральных солей с частицами почвы к их поверхности сильнее притягиваются молекулы воды, поэтому в растворе, непосредственно прилегающем к поверхности почвенных частиц, концентрация солей будет ниже, чем в окружающем растворе.

Отрицательное физическое поглощение наблюдается при взаимодействии почвы с растворами хлоридов и нитратов. Например, если сухую почву промывать раствором $NaNO_3$, то в промывных водах концентрация нитрата не только не снизится, но даже возрастет. Это объясняется тем, что почва адсорбирует воду и, следовательно, одно и то же количество нитрата будет содержаться в меньшем объеме профильтровавшейся жидкости.

Отрицательное физическое поглощение хлоридов и нитратов обусловливает их высокую подвижность в почве. Они легко передвигаются в ней вместе с почвенной влагой. При повышенной влажности из почвы, не занятой растительностью, возможно вымывание хлоридов и нитратов в нижележащие слои и даже в грунтовые воды, что необходимо учитывать при внесении удобрений. Такое вымывание Cl^--иона имеет положительное значение, так как избыток его вреден для растений. Поэтому, например, удобрения, содержащие много хлора, предпочтительно вносить с осени, чтобы к посеву произошло хотя бы частичное вымывание хлора из пахотного слоя почвы. Для нитратов такое вымывание нежелательно, и, следовательно, нитратные удобрения лучше вносить весной, незадолго до посева или в подкормку.

Этот вид поглотительной способности связан с образованием нерастворимых или труднорастворимых в воде соединений в результате химических реакций между отдельными растворимыми солями в почве. Так, при взаимодействии растворимого фосфата аммония с бикарбонатом кальция образуется малорастворимый дифосфат кальция и анионы фосфорной кислоты переходят из почвенного раствора в твердую фазу почвы:

$$(NH_4)_2HPO_4 + Ca(HCO_3)_2 = CaHPO_4 + 2NH_4HCO_3$$

Химическое поглощение тех или других анионов в почве зависит от их способности образовывать нерастворимые или труднорастворимые соли при взаимодействии с входящими в состав почв ионами. Анионы азотной и соляной кислот (NO_3^- и Cl^-) ни с одним из распространенных в почве катионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Al^{3+}, Fe^{3+}, NH_4^+) не образуют нерастворимых в воде соединений, поэтому химически они не поглощаются. С этим связана высокая подвижность нитратов и хлоридов в почве. Анионы угольной и серной кислот (CO_3^{2-} и SO_4^{2-}) с одновалентными катионами дают растворимые соли, с двухвалентными катионами (Ca^{2+} и Mg^{2+}), которые преобладают в почвах,— труднорастворимые в воде соединения. Поэтому в почвах с большим количеством кальция или магния эти анионы химически поглощаются. Анионы фосфорной кислоты ($H_2PO_4^-$ и HPO_4^{2-}) с одновалентными катионами образуют хорошо растворимые соли (KH_2PO_4, Na_2HPO_4, $NH_4H_2PO_4$ и др.), а с катионами кальция и магния — однозамещенные, двухзамещенные и трехзамещенные соли, неодинаковые по растворимости. Однозамещенные фосфаты кальция и магния, например $Ca(H_2PO_4)_2$, растворимы в воде, двухзамещенные фосфаты $CaHPO_4$ и трехзамещенные фосфаты $Ca_3(PO_4)_2$ малорастворимы. С трехвалентными катионами алюминия и железа фосфорная кислота также образует малорастворимые соединения.

Химическое поглощение фосфорной кислоты в почвах связано с образованием труднорастворимых или нерастворимых солей с двухвалентными и трехвалентными катионами—кальцием, магнием, железом и алюминием. Оно играет очень важную роль в превращении водорастворимых форм фосфорных удобрений в почве.

В почвах с нейтральной или слабощелочной реакцией, содержащих обменнопоглощенный кальций или бикарбонат кальция в почвенном растворе (черноземы, сероземы), химическое закрепление фосфорной кислоты и ее водорастворимых солей происходит в результате образования слаборастворимых фосфатов кальция и магния. Так, при внесении в черноземы и сероземы водорастворимого однозамещенного фосфата кальция [суперфосфата $Ca(H_2PO_4)_2$] идут следующие реакции:

$$Ca(H_2PO_4)_2 + Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2CaHPO_4 + 2H_2CO_3$$
$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 4H_2CO_3$$

Водорастворимые соли фосфорной кислоты могут химически поглощаться и при взаимодействии их с обменнопоглощенным кальцием:

$$(\text{почва})\ \text{Ca} + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \longrightarrow (\text{почва})\ \begin{matrix}\text{H}\\\text{H}\end{matrix} + 2\text{CaHPO}_4$$

$$(\text{почва})\ \begin{matrix}\text{Ca}\\\text{Ca}\end{matrix} + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \longrightarrow (\text{почва})\ \begin{matrix}\text{H}\\\text{H}\\\text{H}\\\text{H}\end{matrix} + \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$$

В зависимости от количества в почве водорастворимого или обменнопоглощенного кальция образуется $CaHPO_4$ или $Ca_3(PO_4)_2$. Двухзамещенный фосфат кальция ($CaHPO_4$) растворяется в слабых кислотах и поэтому усваивается растениями. Трехзамещенный фосфат кальция растворяется значительно слабее, поэтому при образовании его доступность фосфорной кислоты для растений снижается. Однако при подкислении почвенного раствора труднорастворимые фосфаты кальция постепенно растворяются. Так, трехзамещенный фосфат кальция при взаимодействии с азотной кислотой, образующейся в процессе нитрификации, превращается в растворимый однозамещенный фосфат кальция:

$$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 4\text{HNO}_3 = 2\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$$

В кислых дерново-подзолистых почвах и красноземах, содержащих много свободных полуторакисей, химическое поглощение фосфорной кислоты идет преимущественно по пути образования фосфатов алюминия и железа:

$$\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 \longrightarrow \text{AlPO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$$
$$\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 \longrightarrow \text{FePO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$$

Свежеосажденные фосфаты алюминия и железа могут усваиваться растениями, но при старении осадков они кристаллизуются и становятся менее растворимыми и слабодоступными для растений. Поэтому фосфорная кислота в красноземах и дерново-подзолистых почвах закрепляется весьма прочно и значительно сильнее, чем в сероземах и черноземах.

Интенсивное химическое поглощение фосфорной кислоты обусловливает слабую подвижность фосфатов в почве и снижает доступность для растений фосфора из фосфорных удобрений. По возрастающей интенсивности химического поглощения фосфорной кислоты почвы располагаются в такой последовательности: черноземы<сероземы<дерново-подзолистые почвы<красноземы.

Физико-химическая, или обменная, поглотительная способность

При взаимодействии твердой фазы почвы с почвенным раствором наряду с химическим закреплением и молекулярной адсорбцией важная роль принадлежит физико-химическому, или обменному, поглощению. Наиболее отчетливо оно проявляется при поглощении твердой фазой катионов.

Физико-химическое, или обменное, поглощение катионов — это способность мелкодисперсных коллоидных частиц почвы, как мине-

ральных, так и органических, несущих отрицательный заряд, поглощать различные катионы из раствора. При этом поглощение одних катионов сопровождается вытеснением в раствор эквивалентного количества других (Ca^{2+}, Mg^{2+} и др.), ранее поглощенных твердой фазой почвы. Так, если почву, насыщенную кальцием (чернозем), обработать раствором хлористого калия, то катионы калия из раствора поглотятся почвой и одновременно из твердой фазы ее перейдет в раствор эквивалентное количество катионов кальция; в растворе вместо KCl появится $CaCl_2$:

$$(\text{почва})\ Ca + 2KCl \longrightarrow (\text{почва})\ \begin{matrix}K\\K\end{matrix} + CaCl_2$$

Поскольку в данном случае происходит обмен катионов, то поглощение такого типа называют обменным, а способность почвы к реакциям обменного поглощения называют о б м е н н о й п о г л о т и т е л ь н о й с п о с о б н о с т ь ю.

Вследствие двойственного характера реакций обменного поглощения, обусловленных физическими и химическими причинами, этот вид поглотительной способности называют также физико-химической, или коллоиднохимической, поглотительной способностью.

При химическом поглощении в результате реакций между отдельными солями образуются нерастворимые соединения, изменяются состав и общая концентрация раствора, тогда как при обменном поглощении концентрация раствора не меняется, но изменяется его состав (в растворе уменьшается количество одних и увеличивается количество других катионов, а концентрация анионов остается почти неизменной).

Физико-химическое, или обменное, поглощение катионов играет существенную роль в почвенных процессах, определяет важные физические и физико-химические свойства почвы — ее структурное состояние, реакцию, буферность, имеет особенно большое значение при взаимодействии почвы с удобрениями. Превращение в почвах легкорастворимых удобрений, в особенности азотных и калийных, в значительной степени определяется процессами физико-химического, или обменного, поглощения.

Каждая почва в естественном состоянии содержит определенное количество обменнопоглощенных катионов: Ca^{2+}, Mg^{2+}, H^+, Na^+, K^+, NH_4^+, Al^{3+} и др.

В большинстве почв среди них преобладает Ca^{2+}, второе место занимает Mg^{2+}, в некоторых почвах в поглощенном состоянии в значительном количестве содержится H^+ и обычно немного Na^+, K^+, NH_4^+.

При внесении в почву растворимой соли (например, NH_4NO_3, $(NH_4)_2SO_4$, NH_4Cl, $NaNO_3$, KCl, K_2SO_4 катионы ее поглощаются из раствора частицами почвы в обмен на эквивалентное количество ранее поглощенных почвой катионов, которые вытесняются в раствор:

$$(\text{почва})\ Ca + (NH_4)_2SO_4 \longrightarrow (\text{почва})\ \begin{matrix}NH_4\\NH_4\end{matrix} + CaSO_4$$

$$(\text{почва})\ Ca + 2NaNO_3 \longrightarrow (\text{почва})\ \begin{matrix}Na\\Na\end{matrix} + Ca(NO_3)_2$$

$$(\text{почва})\ H + KCl \longrightarrow (\text{почва})\ K + HCl$$

В обменном поглощении катионов принимают участие главным образом высокодисперсные частицы почвы, как минеральные, так и органические. Всю совокупность высокодисперсных почвенных частиц, обладающих обменной поглотительной способностью, К. К. Гедройц назвал почвенным поглощающим комплексом (сокращенно ППК).

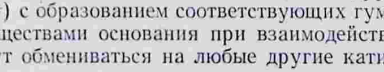
СОСТАВ И СТРОЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

В состав почвенного поглощающего комплекса входят почвенные коллоиды, т. е. частицы меньше 0,00025 мм и более крупные частицы — до 0,001 мм, имеющие некоторые свойства, сходные со свойствами коллоидов, хотя и обладающие гораздо меньшей физико-химической поглотительной способностью. Почвенные коллоиды подразделяют на органические, минеральные и органо-минеральные (состав и строение последних изучены мало). Органические коллоиды представлены преимущественно гумусовыми веществами (гуминовые кислоты, фульвокислоты и их соли). В состав минеральных коллоидов входят как кристаллические соединения, главным образом глинистые минералы (каолинитовой и монтмориллонитовой групп и группы гидрослюд), так и аморфные (кремниевая кислота, гидраты полуторных окислов и др.).

Способность органических коллоидов и минералов глин к обменному поглощению катионов обусловлена их отрицательным зарядом. Положительный заряд имеют коллоидные гидроокиси железа и алюминия. Остальные почвенные коллоиды заряжены отрицательно. Поэтому способность большинства почв к обменному поглощению катионов выражена сильнее, чем к поглощению анионов.

У *органических коллоидов* (гумусовых веществ) отрицательный заряд и способность к обменному поглощению катионов обусловлены карбоксильными группами (COOH), которые придают им кислотные (ацидоидные) свойства, и фенольными гидроксильными (OH) группами; водород их может быть замещен другими катионами.

Четыре карбоксильные группы в молекуле гуминовой кислоты могут диссоциировать ионы H^+ и обменивать их на другие катионы при разных значениях pH* — первый ион H^+ замещается при pH 4,5, второй — при pH 7, третий и четвертый — при pH 9 и выше. Водород фенольных гидроксилов может вытесняться основаниями только при сильнощелочной реакции среды. Следовательно, при кислой и нейтральной реакции в обменном поглощении участвуют только две карбоксильные группы молекулы гуминовой кислоты. Водород их при pH ниже 7 способен отщепляться и замещаться другими катионами (например, Ca^{2+}) с образованием соответствующих гуматов. Связанные гумусовыми веществами основания при взаимодействии с почвенным раствором могут обмениваться на любые другие катионы:



* pH — концентрация ионов водорода в растворе (см. с. 120).

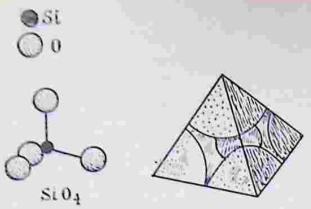
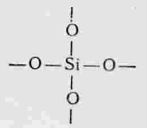


Рис. 23. Схема строения кремнекислородных тетраэдров (в двух изображениях).

Из *минеральных коллоидных частиц* отрицательным зарядом и способностью к обменному поглощению катионов обладают алюмосиликатные минералы, особенно вторичные (глинистые) минералы каолинитовой и монтмориллонитовой групп и гидрослюды.

Кристаллическая решетка глинистых минералов построена из кремнекислородных тетраэдров, состоящих из атомов кремния и кислорода, и алюмогидроксильных октаэдров, состоящих из атомов алюминия, кислорода и водорода, расположенных относительно друг друга в определенном порядке. В кремнекислородном тетраэдре атомы кремния, присоединяя по четыре атома кислорода, образуют прочно связанные группы SiO_4, имеющие правильную четырехгранную или тетраэдрическую форму. Ионы кремния и кислорода в тетраэдре расположены следующим образом: в плоскости три больших иона кислорода (радиус=0,132 нм) и четвертый ион над ними, а в промежутке маленький ион кремния (радиус=0,039 нм) (рис. 23).

Если эту структуру ограничить плоскостями, то получится четырехгранник (или тетраэдр). Кремний с кислородом соединен очень прочно, между ними образуется ковалентная связь. Поскольку кремний четырехвалентен, а кислород двухвалентен, то в тетраэдре у каждого из атомов кислорода остается по одной ненасыщенной валентности:



и, следовательно, каждый тетраэдр можно рассматривать как четырехзарядный анион (SiO_4^{4-}). Избыток отрицательных зарядов может быть нейтрализован присоединением оснований или соединением нескольких тетраэдров вместе. Отдельные кремнекислородные тетраэдры, соединяясь друг с другом через ионы кислорода, образуют тетраэдрические слои, или «листы», в результате чего уменьшается количество свободных отрицательных валентностей, идущих на связывание с основаниями. Так, в случае соединения двух тетраэдров один атом кислорода становится общим. При этом образуется группа $(Si_2O_7)^{6-}$, в которой на 8 положительных зарядов кремния приходится 14 отрицательных зарядов кислорода, т. е. на два отрицательных заряда меньше, чем у двух отдельных тетраэдров SiO_4^{4-}.

В природе встречаются различные типы соединения кремнекислородных тетраэдров.

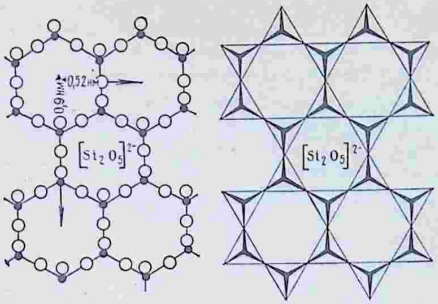


Рис. 24. Лист кремнекислородных тетраэдров (в двух изображениях).

У вторичных алюмосиликатных (глинистых) минералов кремнекислородные тетраэдры соединены в слои, или «листы», в основе строения которых лежат циклические структуры, образованные из шести кремнекислородных тетраэдров (рис. 24). В таком листе на каждые два иона кремния приходится пять ионов кислорода, т. е. 8 положительных и 10 отрицательных зарядов, что соответствует формуле $(Si_2O_5)^{2-}$. Подобные листы, как и изолированные группы тетраэдров SiO_4^{4-}, представляют собой сложные анионные комплексы, потому что у каждого атома кислорода, не участвующего в соединении между собой двух SiO_4^{4-} тетраэдров, остается свободная валентность. Избыток отрицательных зарядов нейтрализуется в результате соединения кремнекислородного тетраэдрического слоя со слоем, построенным из алюмогидроксильных октаэдров.

В алюмогидроксильных октаэдрах ион алюминия соединен с шестью ионами гидроксила (OH^-), образуются группы $[(Al(OH)_6]^{3-}$, имеющие правильную восьмигранную, или октаэдрическую, форму. Ионы алюминия и гидроксила в алюмогидроксильных октаэдрах расположены следующим образом: по углам октаэдра ионы OH^-, а в центре ионы Al^{3+} (рис. 25).

Так как трехвалентный алюминий окружен шестью ионами гидроксила (OH^-), то октаэдры также имеют ненасыщенные валентности и могут соединяться между собой, образуя другой слой кристаллической решетки минерала — октаэдрический (или гиббситовый). Общая формула такого слоя $[(Al(OH)_3]_n$.

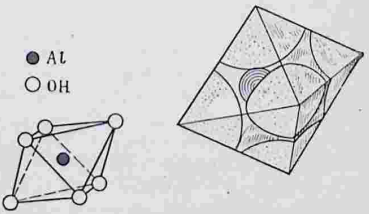


Рис. 25. Схема строения алюмогидроксильных октаэдров.

Соединение алюмогидроксильных октаэдров друг с другом происходит через два гидроксильных иона, при этом каждый из них оказывается связанным с двумя ионами Al^{3+} (ди-

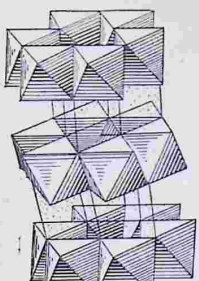


Рис. 26. Слои алюмогидроксильных октаэдров, из которых построена кристаллическая решетка минерала гиббсита.

октаэдрическое строение). На рисунке 26 показана структура кристаллической решетки минерала гиббсита, состоящая из параллельно расположенных октаэдрических слоев.

У глинистых минералов кристаллическая решетка образована сочетанием слоев кремнекислородных тетраэдров со слоями алюмогидроксильных октаэдров.

При соединении тетраэдрического и октаэдрического слоёв ионы O^{2-} тетраэдрического слоя, расположенные на вершинах тетраэдров, становятся общими, одновременно связанными с ионами Si^{4+} одного слоя и ионами Al^{3+} другого слоя, т. е. являются «кислородными мостиками», связывающими эти слои. Образующаяся структура («пакет») нейтральна, количество положительных зарядов кремния и алюминия в ней равно количеству отрицательных зарядов кислорода и гидроксила, поэтому свободных валентностей для соединения с основаниями не остается.

В зависимости от типа минерала образуются пакеты из двух или трех слоев, или «листов». Кристаллическая решетка минералов состоит из множества таких пакетов. Между ними имеются свободные межпакетные пространства. Различают два основных типа строения кристаллической решетки глинистых минералов.

У минералов *каолинитовой группы* пакет кристаллической решетки образован из двух связанных между собой через общие атомы кислорода слоев: слоя кремнекислородных тетраэдров и алюмогидроксильных октаэдров (рис. 27).

У минералов *монтмориллонитовой группы* пакет кристаллической решетки образован из трех слоев: одного октаэдрического и двух присоединенных к нему тетраэдрических (рис. 28). Различное строение кристаллической решетки этих двух групп минералов определяет их различные свойства, в частности их различную поглотительную способность и набухаемость.

У каолинита расстояние от нижней части одного пакета до нижней части другого пакета равно 0,715 нм, а у монтмориллонита оно больше и может существенно меняться (от 0,94 до 2,14 нм) за счет сокращения или расширения межпакетного пространства. При увлажнении вода входит в межпакетное пространство и монтмориллонит сильно набухает.

Возникновение отрицательного заряда у этих минералов связано главным образом с изоморфными замещениями в кремнекислородных тетраэдрах и алюмогидроксильных октаэдрах, из которых построена их кристаллическая решетка. Так, в кремнекислородных, тетраэдрических слоях часть ионов кремния (четырехвалентных) внутри тетраэдров может быть изоморфно замещена ионами алюминия (трехвалентны-

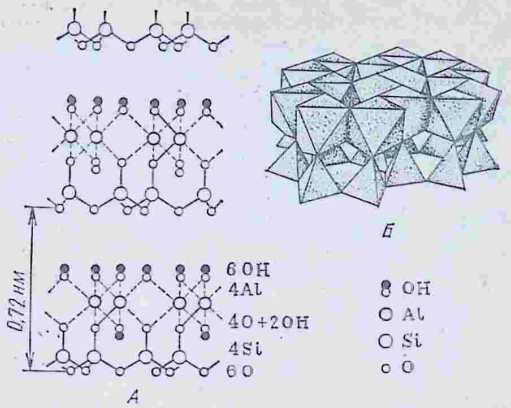


Рис. 27. Схема строения (*А*) и модель пакета (*Б*) кристаллической решетки каолинита.

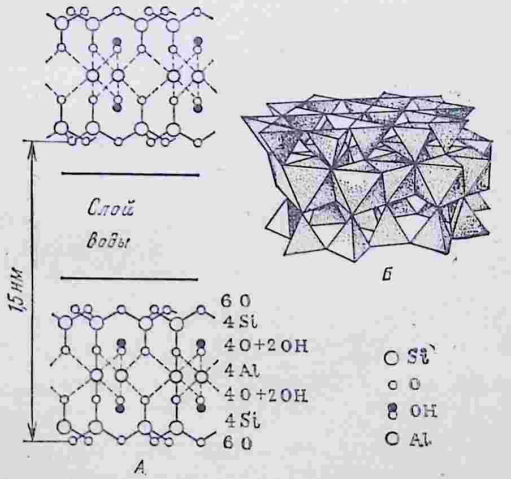


Рис. 28. Схема строения (*А*) и модель пакета (*Б*) кристаллической решетки монтмориллонита.

ми), в результате чего возникают отрицательные заряды. Схематически это можно представить так: соединение состава $(SiO_2)_n$ нейтрально, но при замещении атома кремния на атом алюминия появляется один отрицательный заряд, при замещении двух атомов кремния на атомы алюминия — два отрицательных заряда и т. д.

$(SiO_2)_n$;	$[(SiO_2)_{n-1}AlO_2]^-$;	$[(SiO_2)_{n-2}(AlO_2)_2]^{2-}$
Нейтральная структура	Структура с одним отрицательным зарядом	Структура с двумя отрицательными зарядами

Возникающие отрицательные заряды компенсируются соответствующим количеством K^+, Na^+, Ca^{2+} и других катионов. Эти катионы способны к диссоциации и эквивалентному обмену на любые катионы почвенного раствора.

Аналогично в алюмогидроксидных октаэдрических слоях часть трехвалентных ионов алюминия внутри октаэдров может быть замещена двухвалентными ионами магния. В этом случае также возникают отрицательные заряды, которые компенсируются ионами кальция и другими катионами. Возможность замещения Si^{4+} на Al^{3+} и Al^{3+} на Mg^{2+} в силикатных и алюмосиликатных структурах связана с размерами радиусов указанных ионов.

Катионы	Si^{4+}	Al^{3+}	Fe^{3+}	Fe^{2+}	Mg^{2+}	Li^+	Na^+	Ca^{2+}	K^+	NH_4^+
Радиус ионов (в нм)	0,041	0,050	0,060	0,075	0,065	0,060	0,095	0,099	0,133	0,148

Меньше всего радиус у ионов Si^{4+}, близок к нему радиус ионов Al^{3+}, поэтому в кремнекислородном тетраэдре ионы кремния могут быть замещены только на ионы алюминия. Радиусы остальных ионов больше, и они не помещаются в тетраэдрическом промежутке между четырьмя ионами кислорода. В алюмогидроксильных октаэдрах промежуток между шестью гидроксилами больше, следовательно, в октаэдрах ионы Al^{3+} могут быть замещены рядом других ионов, например ионами Fe^{3+}, Mg^{2+}, Li^+, радиусы которых близки к радиусу Al^{3+}. Радиусы ионов натрия, калия, кальция значительно больше, чем радиусы ионов алюминия или магния. Они не могут замещать Al^{3+} в октаэдре и тем более Si^{4+} в тетраэдре, так как не поместятся в октаэдрическом и особенно в тетраэдрическом промежутке. У минералов группы монтмориллонита отрицательный заряд пакета создается в результате замещения частиц ионов Si^{4+} на Al^{3+} в двух кремнекислородных тетраэдрических слоях, а также благодаря замене части ионов Al^{3+} на Mg^{2+} в октаэдрическом слое. Появляющиеся отрицательные заряды компенсируются обменными катионами. Так как межпакетные промежутки у монтмориллонита больше, чем у каолинита, и связь между пакетами менее прочна, компенсирующие отрицательный заряд пакета катионы располагаются не только на внешней поверхности микрокристаллических частиц, но и в межпакетных промежутках.

При взаимодействии с растворами солей компенсирующие катионы, расположенные в межпакетных промежутках микрокристаллов монтмориллонита, способны обмениваться на катионы солей, так как при набухании раствор проникает в межпакетные промежутки кристаллической решетки. Следовательно, у минералов этой группы в обмене

участвуют не только катионы, находящиеся на поверхности микрокристаллов, но и расположенные внутри кристаллической решетки, в межпакетных промежутках. Этим объясняется более высокая поглотительная способность минералов монтмориллонитовой группы.

У минералов группы каолинита изоморфные замещения выражены слабее. Кроме того, связь между пакетами у них значительно прочнее, межпакетные промежутки меньше, и поэтому взаимодействие с раствором и обменное поглощение катионов происходят только на внешней поверхности микрокристаллических частиц.

Отрицательный заряд глинистых минералов обусловливается не только изоморфными замещениями в октаэдрических и тетраэдрических слоях, но частично также кислородными ионами, расположенными на краях слоя из кремнекислородных тетраэдров, которые соединены не с двумя, а с одним ионом кремния, и вторая валентность у них остается свободной для связи с ионом водорода или с основанием.

При кислой реакции (pH ниже 5) свободная валентность кислородных ионов на краях тетраэдрических слоев занята ионом водорода, причем H-ион не способен к диссоциации и поэтому отрицательный заряд образуется только в результате изоморфных замещений в кристаллической решетке. При pH выше 6 и особенно 7 могут происходить диссоциация этих ионов водорода и замещение их другими катионами, т. к. отрицательный заряд и обменная способность глинистых минералов в этом случае обусловлены не только изоморфными замещениями, но частично также и кислородными ионами по краям тетраэдров. Следовательно, обменное поглощение катионов глинистыми минералами зависит от реакции среды: при нейтральной и щелочной реакции оно выше, чем при кислой.

Особенно заметно увеличивается способность к поглощению оснований при переходе от кислой к нейтральной и щелочной реакциям за счет связывания их кислородными ионами по краям тетраэдров у минералов типа каолинита. У минералов же монтмориллонитовой группы обменное поглощение обусловливается в основном изоморфными замещениями в тетраэдрических и октаэдрических слоях кристаллической решетки.

Поскольку обмен катионов у каолинита совершается только на внешней поверхности микрокристаллов, то реакции обмена катионов у минералов каолинитовой группы идут быстрее, но поглотительная способность их, даже при высокой степени дисперсности, значительно меньше, чем у минералов монтмориллонитовой группы.

Обменное поглощение катионов различными минералами характеризуется следующими цифрами (в м.-экв. на 100 г минерала): каолинит 3...15, галлуазит 5...10, монтмориллонит — 80...120, бейделлит 55...65, вермикулит 100...150, иллит 10...40.

В почвах, помимо кристаллических коллоидов (глинистых минералов), имеющих отрицательный заряд, присутствуют аморфные коллоиды гидроксидов алюминия и железа. Они обладают амфотерными свойствами: в зависимости от реакции почвенного раствора могут приобретать положительный или отрицательный заряд, т. е. могут вести себя то как основания (базоиды), то как кислоты (ацидоиды). При кислой

реакции, когда в растворе много ионов H^+ и мало OH^-, молекулы гидроксидов алюминия и железа, находящиеся на поверхности коллоидной частицы, диссоциируют как основания, посылая в окружающий раствор ионы OH^-, и приобретают положительный заряд:

$$[Al(OH)_3]_n \rightleftarrows [Al_n(OH)_{3n-1}]^+ + OH^-$$
$$[Fe(OH)_3]_n \rightleftarrows [Fe_n(OH)_{3n-1}]^+ + OH^-$$

При щелочной реакции (высокой концентрации в растворе OH^--ионов) они ведут себя как кислоты, посылая в окружающий раствор ионы H^+, и приобретают отрицательный заряд:

$$[Al(OH)_3]_n \rightleftarrows [Al_nO(OH)_{3n-1}]^- + H^+$$
$$[Fe(OH)_3]_n \rightleftarrows [Fe_nO(OH)_{3n-1}]^- + H^+$$

При какой-то промежуточной реакции, называемой изоэлектрической точкой, оба вида диссоциации будут равны, т. е. молекулы, расположенные на поверхности аморфных коллоидов, станут посылать в окружающий раствор небольшое, но равное количество катионов (H^+) и анионов (OH^-), и коллоид будет электронейтрален. Изоэлектрическая точка гидроксида алюминия лежит при pH 8,1, а гидроксида железа — 7,1. В случае более щелочной реакции у гидроксидов железа и алюминия будут сильнее проявляться кислотные (ацидоидные) свойства, при pH ниже изоэлектрической точки, наоборот, основные (базоидные) свойства.

В большинстве почв аморфные коллоиды гидроксидов алюминия и железа ведут себя как основания и имеют положительный заряд. Основные свойства этих коллоидов особенно сильно преобладают в кислых дерново-подзолистых почвах и красноземах.

Глинистые минералы каолинитовой группы также могут приобретать положительные заряды при кислой реакции.

Гидроксильные ионы, связанные с алюминием в октаэдрическом слое, расположенном на внешней поверхности микрокристаллических частиц каолинита, при кислой реакции, т. е. при избытке в растворе ионов H^+, могут отщепляться, и на отдельных участках коллоидной частицы возникают положительные заряды.

Таким образом, у минералов каолинитовой группы при кислой реакции может быть одновременно и отрицательный, и положительный заряд на разных участках. В этих условиях они способны к поглощению из раствора анионов в обмен на ионы OH^-. Следовательно, чем больше содержится гидроксидов алюминия, железа и минералов каолинитовой группы в составе мелкодисперсной фракции почвы, тем ниже, как правило (особенно при кислой реакции), способность к обменному поглощению катионов, а способность к обменному поглощению анионов, наоборот, возрастает.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО, ИЛИ ОБМЕННОГО, ПОГЛОЩЕНИЯ КАТИОНОВ

Реакции обмена между поглощенными почвой катионами и катионами солевых растворов протекают в эквивалентных соотношениях. При поглощении почвой какого-либо катиона из раствора

одновременно из почвы переходит в раствор такое же количество другого катиона.

Реакция обмена катионов обратима. После поглощения какого-либо катиона из раствора (например, K^+) и вытеснения из почвы другого катона (например, Ca^{2+}) поглотившийся катион может быть снова вытеснен в раствор. Поэтому реакцию обменного поглощения катионов правильнее изображать так:

$$(\text{ППК})\ Ca + 2KCl \rightleftarrows (\text{ППК})\ \begin{matrix}K\\K\end{matrix} + CaCl_2$$

Реакция обмена между катионами раствора и почвенного поглощающего комплекса заканчивается установлением некоторого подвижного равновесия. Характер обменной реакции (установление равновесия) в большой степени зависит от состава и концентрации раствора, его объема, природы обменивающихся катионов и свойств почвы. При изменении состава, количества и концентрации раствора в результате увлажнения или высушивания почвы, внесения удобрений, образования минеральных солей при разложении органического вещества это равновесие смещается, и тогда одни катионы переходят из раствора в поглощенное состояние, а другие из поглощенного состояния в почвенный раствор. Так, при заделке в почву растворимых солей (KCl, NH_4Cl, $NaNO_3$ и др.) концентрация почвенного раствора повышается, катионы соли вступают в обменную реакцию с катионами почвенного поглощающего комплекса, часть их поглощается почвой. При усвоении какого-либо катиона растениями концентрация его в растворе снижается, этот катион из поглощенного состояния переходит в раствор в обмен на ионы водорода или другие катионы, находящиеся в почвенном растворе.

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

Реакции обменного поглощения в почвах подчиняются закону действующих масс: чем больше концентрация в растворе вытесняющего катиона (например, Na^+) и чем меньше в нем содержание катионов, переходящих в раствор из почвы (например, NH_4^+), тем больше вытесняющего катиона поглотится почвой. Если обмениваются одновалентные катионы (например, Na^+ и NH_4^+), то при установлении равновесия соотношение их в поглощенном состоянии оказывается пропорциональным соотношению тех же катионов в растворе:

$$\frac{П\,Na}{П\,NH_4} = K\frac{[Na]}{[NH_4]},$$

где $П Na$ — количество поглощенного почвой катиона Na^+; $П NH_4$ — количество находящегося в поглощенном состоянии катиона NH_4^+; $[Na]$ и $[NH_4]$ — равновесная концентрация катионов Na^+ и NH_4^+ в растворе; K — коэффициент пропорциональности.

При обмене катионов разной валентности зависимость между соотношением их в растворе и в поглощенном состоянии несколько сложнее. Так, при вытеснении из почвы кальция в раствор соли натрия соотношение между этими катионами в поглощенном состоянии следующим образом зависит от концентрации Na^+ и Ca^{2+} в растворе (уравнение Е. Н. Гапона):

$$\frac{П\,Na}{П\,Ca} = K\frac{[Na]}{\sqrt{[Ca]}}.$$

Уравнение показывает, что увеличение общей концентрации раствора приводит к относительно большему поглощению однозарядных катионов по отношению к двухзарядным, а при уменьшении концентрации раствора возрастает относительное поглощение двухзарядных катионов.

Реакции обмена катионов при взаимодействии почвы с раствором (при широких отношениях между ними) протекают с большой скоростью, равновесие устанавливается в течение нескольких минут. Объясняется это тем, что обмен катионов происходит в основном на поверхности мелкодисперсных частиц почвы. В естественных условиях, когда объем почвенного раствора по отношению к твердой фазе почвы невелик, достижение полного равновесия при реакции обмена катионов, как показали исследования Н. И. Горбунова и др., замедляется. Но практически и в этих условиях равновесие наступает (во влажной почве) в течение короткого срока. Скорость реакции обмена обусловливает быстрое поглощение в почве катионов, внесенных с растворимыми удобрениями (азотными и калийными), в обмен на катионы, ранее поглощенные почвой (Ca^{2+}, Mg^{2+} и др.).

Разные катионы с неодинаковой энергией поглощаются почвой и удерживаются в поглощенном состоянии. Чем больше атомная масса и заряд катиона, тем сильнее он поглощается и труднее вытесняется из почвы другими катионами. Следовательно, энергия поглощения катионов возрастает с увеличением валентности. Двух- и трехвалентные катионы несут большие электрические заряды и поэтому сильнее притягиваются коллоидными частицами, чем одновалентные. В пределах одинаковой валентности энергия поглощения катионов возрастает с увеличением их атомной массы. Из одновалентных катионов: Li^+, NH_4^+, Na^+, K^+, Rb^+ — только аммоний представляет исключение. Имея меньшую массу, чем натрий, он по энергии поглощения занимает третье место.

Возрастание энергии поглощения катионов с увеличением их атомной массы объясняется тем, что с ростом атомной массы и размера катионов уменьшается степень их гидратации. Так, негидратированные одновалентные катионы имеют следующие радиусы (в нм): Li^+ — 0,078, Na^+—0,098, NH_4^+—0,143, K^+—0,133, а размер этих катионов с гидратационной оболочкой равен соответственно (по Иенни): 1,003; 0,79; 0,537; 0,532. Чем больше величина иона без гидратационной оболочки, тем меньше его размер в гидратированном состоянии. Слабо гидратированные катионы сильнее притягиваются поверхностью коллоида. Наличие большой гидратационной оболочки уменьшает энергию по-

глощения катиона. Поэтому чем менее гидратирован катион, тем прочнее его удерживает коллоидная частица и тем легче он вытесняет более гидратированные (и поэтому слабее удерживаемые) катионы. По возрастающей способности к поглощению катионы располагаются в следующий ряд: одновалентные $Li^+ < Na^+ < NH_4^+ < K^+ < Rb^+$; двухвалентные $Mg^{2+} < Ca^{2+} < Co^{2+}$; трехвалентные $Al^{3+} < Fe^{3+}$. Исключение составляет водородный ион. Он имеет наименьшую атомную массу, но обладает высокой энергией поглощения и способностью вытеснять из поглощающего комплекса другие катионы. Объясняется это тем, что в водных растворах ион водорода, присоединяя одну молекулу воды, образует ион гидроксония H_3O^+, диаметр которого 0,135 нм, значительно меньше всех других гидратированных ионов, поэтому он поглощается сильнее одновалентных и даже двухвалентных катионов. По данным К. К. Гедройца, энергия поглощения водородного иона в 4 раза больше, чем кальция, и в 17 раз больше, чем натрия.

Не только разные катионы, но и один и тот же катион поглощается почвой и удерживается в ней.с неодинаковой силой. Так, при обработке почвы раствором NH_4Cl первые порции содержащегося в ней обменного кальция вытесняются сравнительно быстро, а последние — очень медленно. Согласно исследованиям Н. И. Горбунова, 80...85% суммы обменных катионов вытесняется из почвы сравнительно легко, а 15...20% прочно удерживается в поглощенном состоянии. Чем выше насыщенность почвенного поглощающего комплекса тем или иным катионом, тем легче он переходит в раствор. Растениям более доступны катионы, которые легче вытесняются в раствор из твердой фазы почвы. Различная прочность связывания и неодинаковая подвижность поглощенных почвой катионов обусловлены составом и строением сорбирующих частиц. Разные составные части поглощающего комплекса удерживают катионы неодинаково.

Как отмечалось выше, обмен катионов происходит не только на поверхности коллоидных частиц (экстрамицеллярный обмен), но и внутри частиц, обладающих микропористостью (интрамицеллярный обмен). Минералы группы каолинита, имеющие незначительное свободное расстояние между пакетами кристаллической решетки, поглощают катионы только наружной поверхностью кристалла. У минералов же группы монтмориллонита свободное пространство между пакетами значительно больше и при набухании расширяется, что делает возможным проникновение в это пространство даже сравнительно крупных ионов. Катионы, поглощенные интрамицеллярно, по-видимому, труднее вытесняются в раствор в обмен на другие катионы.

НЕОБМЕННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ПОЧВОЙ КАТИОНОВ

Некоторые катионы могут частично закрепляться (фиксироваться) почвами в необменной форме. К ним относятся K^+, NH_4^+, Rb^+ и Cs^+. Необменная фиксация этих катионов связана с закреплением их в кристаллической решетке некоторых минералов. Необменной фиксацией обладают глинистые минералы с трехслойной кристаллической решеткой, которая может расширяться,— мусковит

вермикулит, иллит и монтмориллонит. Необменная фиксация обусловлена проникновением катионов в межпакетные пространства кристаллической решетки этих минералов. При последующем ее сокращении катионы оказываются в замкнутых гексагональных пространствах, образованных кислородными атомами двух кремнекислородных тетраэдрических слоев.

Необменная фиксация NH_4^+ и K^+ почвами изменяется в широких пределах в зависимости от их механического и минералогического состава. У черноземов она выражена значительно сильнее, чем у дерново-подзолистых почв. Необменное поглощение возрастает с глубиной почвенного профиля, а также при попеременном увлажнении и высушивании почвы. Однако и во влажном состоянии почвы способны необменно закреплять K^+ и NH_4^+.

Способностью фиксировать K^+ и NH_4^+ в необменной форме обладают не только минералы глин, но и гумусовые вещества. Однако роль последних в этом процессе выяснена недостаточно. Необменнопоглощенные почвой K^+ и NH_4^+ медленнее освобождаются в доступной растениям форме, чем обменнопоглощенные. Поэтому на почвах, характеризующихся высокой необменной фиксацией, усвоение растениями азота и калия из внесенных минеральных аммиачных и калийных удобрений несколько замедляется. Систематическое использование калийных и аммиачных туков, а также навоза приводит к уменьшению последующей фиксации NH_4^+ и K^+ почвами. Необменное поглощение возрастает при неглубокой заделке аммиачных и калийных солей, когда они попадают в слои почвы, более подверженные попеременному увлажнению и высушиванию.

ЕМКОСТЬ ПОГЛОЩЕНИЯ И СОСТАВ ПОГЛОЩЕННЫХ КАТИОНОВ В РАЗНЫХ ПОЧВАХ

Общее количество способных к обмену поглощенных катионов в почве называется *емкостью поглощения*. Ее выражают в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы.

Например, если в 100 г почвы в поглощенном состоянии содержится 200 мг кальция, 36 мг магния и 9 мг аммония, то емкость поглощения этой почвы будет $\frac{200}{20}+\frac{36}{12}+\frac{9}{18}=13{,}5$ м.-экв/100 г (20 — эквивалентная масса кальция, 12 — магния и 18 — аммония). При взаимодействии с растворами солей эквивалентное количество других катионов может поглотиться почвой из раствора.

Величина емкости поглощения характеризует обменную поглотительную способность почвы.

Емкость поглощения катионов зависит от механического состава почвы, общего содержания в ней мелкодисперсной фракции и ее состава. Разные по крупности минеральные частицы почвы отличаются по их способности к физико-химическому поглощению катионов (табл. 39).

У частиц более 1 мкм емкость поглощения катионов незначительная, у частиц меньше 1 мкм она резко возрастает. Поэтому чем больше

39. Емкость поглощения (в м.-экв. на 100 г почвы) разных механических фракций почвообразующих пород

Порода	Диаметр частиц (в мкм)							
	50...10	10...5	5...1	1...0,54	0,54...0,40	0,40...0,28	0,28...0,22	> 0,22
Покровная глина	8,8	9,2	13,4	45,4	46,3	45,8	52,0	73,0
Лессовидный суглинок	1,4	1,8	3,0	20,6	—	97,7	98,3	102,0

в почве минеральных коллоидных и илистых частиц (меньше 0,001 мм), тем выше емкость поглощения катионов. Почвы тяжелого механического состава с высоким содержанием мелкодисперсных частиц (глинистые и суглинистые) имеют более высокую емкость поглощения, чем легкие песчаные и супесчаные почвы.

Емкость поглощения зависит также от минералогического состава мелкодисперсной фракции почвы и связанного с ним строения адсорбирующих частиц. Чем больше в минеральной части почвы минералов монтмориллонитовой группы и гидрослюд, тем выше емкость поглощения. При большом количестве в составе мелкодисперсной фракции минералов типа каолинита и аморфных гидроокисей железа и алюминия она значительно меньше.

Величина емкости поглощения зависит от содержания в почве гумуса. Гумусовые вещества обладают гораздо более высокой поглотительной способностью, чем глинистые минералы. Так, у гуминовых кислот, выделенных из разных почв, емкость поглощения катионов (при pH 7) достигает 350—500 м.-экв. на 100 г (у монтмориллонита 80—120, у каолинита — 3—15 м.-экв. на 100 г минерала). Поэтому, несмотря на то что в составе мелкодисперсной фракции преобладают минеральные коллоиды, органическое вещество играет важную роль в обменном поглощении катионов в почвах (табл. 40).

Чем выше содержание гумуса в почве, тем больше емкость поглощения катионов. У более богатых гумусом черноземов она значительно выше по сравнению с дерново-подзолистыми почвами. Верхние гори-

40. Распределение (в %) общей емкости поглощения катионов между органической и минеральной частями у разных почв (по М. М. Кононовой)

Часть почвы	Дерново-подзолистая			Темно-серая	Чернозем				Каштановая	Серозем
	сильно	средне	слабо		выщелоченный	тучный	обыкновенный	южный		
Минеральная	71	56	55	39	42	38	45	58	65	52
Органическая	29	44	45	61	58	62	55	42	35	48

зонты почвы, содержащие больше органического вещества, обладают и большей емкостью поглощения, чем нижние горизонты.

В богатых гумусом черноземах емкость поглощения катионов в большой степени обусловлена их органической частью, тогда как в дерново-подзолистых почвах — минеральной.

Емкость поглощения катионов зависит также от реакции почвы и соотношения в ней отрицательно заряженных коллоидов (ацидоидов) к амфотерным коллоидам (амфолитоидам).

Органические и большинство минеральных почвенных коллоидов, обладающих отрицательным зарядом, проявляют его сильнее в условиях нейтральной и щелочной реакции. Поэтому чем ниже концентрация H^+-ионов в растворе, тем выше емкость поглощения катионов.

Кислая реакция, наоборот, уменьшает отрицательный заряд почвенных коллоидов, и емкость поглощения катионов снижается. Если почва богата полуторакоксидами, которые при pH ниже 7...8 имеют положительный заряд, то они будут вступать в соединения с отрицательно заряженными коллоидами (ацидоидами), например, с кремниевой кислотой и гуминовой кислотой, и частично связывать их отрицательные заряды, тем самым снижая величину емкости поглощения катионов. При большом содержании в почве амфотерных коллоидов (гидратов полуторных окислов) и при кислой реакции способность почвы к поглощению анионов увеличивается. Чем уже соотношение в почве ацидоидов к амфолитоидам и выше кислотность почвенного раствора, тем ниже емкость поглощения катионов.

Емкость поглощения катионов у разных почв различная в зависимости от общего содержания мелкодисперсной коллоидной фракции, количества и состава органического вещества, химического и минералогического состава минеральных коллоидных частиц и реакции почвенного раствора (табл. 41).

41. Емкость поглощения у разных почв и содержание гумуса (по Н. П. Ремезову)

Почва	Содержание (в %)			Емкость поглощения катионов (в м.-экв. на 100 г почвы)	Содержание поглощенных катионов (в м.-экв. на 100 г почвы)		
	гумуса	минеральных частиц диаметром					
		меньше 0,00025 мм	0,00025—0,001 мм		$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	Na^+	H^+
Дерново-подзолистая	2,5	2	—	15	8	—	7
Серая лесная	3	5	4	20	16	—	4
Чернозем:							
выщелоченный	8	15	5	50	40	—	10
мощный	10	5	10	65	60	—	5
обыкновенный	6	5	10	35	31	2	2
южный	4,5	5	10	30	28	2	—
Каштановая	2,5	3	5	27	25	2	—
Серозем	1	3	5	15	14	1	—

Наиболее высокую емкость поглощения имеют богатые гумусом мощные черноземы. В почвах, расположенных к северу и югу от мощного чернозема, количество гумуса и емкость поглощения уменьшаются. Минеральных коллоидных и илистых частиц больше всего содержится в выщелоченном черноземе, поэтому, несмотря на меньшее количество гумуса, емкость поглощения этой почвы близка к таковой у мощного чернозема.

Высокая емкость поглощения черноземов обусловлена повышенным содержанием органических и минеральных коллоидных частиц, преобладанием среди минеральных коллоидов глинистых минералов монтмориллонитовой группы, а также нейтральной или слабощелочной реакцией. У дерново-подзолистых почв емкость поглощения значительно ниже. Это связано с меньшим содержанием органического вещества и с повышенным содержанием в мелкодисперсной фракции свободных полуторных окислов, а также с кислой реакцией. Наименьшая емкость поглощения у супесчаных и песчаных почв (5. . .7 м.-экв. на 100 г) объясняется очень малым содержанием в них мелкодисперсных органических и минеральных частиц.

Различные почвы отличаются не только по емкости поглощения, но и по составу поглощенных катионов. Все почвы содержат в поглощенном состоянии катионы кальция и магния. В обыкновенных и мощных черноземах на эти катионы приходится 80...90% емкости поглощения, а ионов водорода и алюминия — небольшое количество. В южных черноземах, сероземах и каштановых почвах среди поглощенных катионов преобладают кальций и магний, катионов натрия содержится обычно немного, водород отсутствует. В солонцах и солончаках наряду с кальцием и магнием в поглощенном состоянии содержится много натрия. В красноземах и дерново-подзолистых почвах среди поглощенных катионов, кроме кальция и магния, находятся ионы водорода и алюминия (иногда 50% и более емкости поглощения).

Калий и аммоний содержатся в поглощенном состоянии во всех почвах в небольших количествах.

Состав поглощенных катионов оказывает большое влияние на физические и химические свойства почвы, на условия роста сельскохозяйственных культур и действие удобрений. От состава поглощенных катионов в значительной степени зависит состав почвенного раствора. При взаимодействии с почвенными растворами поглощенные почвой катионы вытесняются в раствор (в обмен на катионы растворимых солей). Если почва содержит в поглощенном состоянии много кальция, то при внесении растворимых удобрений (NH_4NO_3, KCl и др.) будет вытесняться в почвенный раствор преимущественно кальций, а если поглощенного кальция мало и в поглощенном состоянии находится много ионов алюминия и водорода, то при внесении удобрений будут вытесняться в почвенный раствор алюминий и водород, что вызовет его подкисление.

Состав поглощенных катионов влияет на состояние почвенного поглощающего комплекса, на его дисперсность, а в связи с этим на физико-механические и физико-химические свойства почвы. Катионы осаждают (коагулируют) отрицательно заряженные почвенные кол-

лоиды, причем коагулирующая способность их возрастает с увеличением заряда и атомной массы. Одновалентные катионы обладают меньшей коагулирующей способностью, чем двухвалентные, а двухвалентные — меньшей, чем трехвалентные. Исключение составляет ион водорода, который по энергии коагуляции приближается к двухвалентным катионам.

В порядке возрастающей коагулирующей способности катионы располагаются в следующий ряд:

$$Li^+ < NH_4^+ < Na^+ < K^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+} < H^+ < Fe^{3+} < Al^{3+}$$

С повышением кислотности среды коагулирующее действие катионов усиливается, а при щелочной реакции значительно ослабевает. Коагулирующее действие одновалентных катионов оказывается слабее диспергирующего влияния OH^--ионов, и поэтому при щелочной реакции эти катионы не вызывают коагуляцию почвенных коллоидов.

Коагулирующее действие катионов кальция сильнее диспергирующего влияния OH^--ионов, поэтому в растворе, содержащем ионы кальция, коллоиды осаждаются даже при щелочной реакции. Магний в этом отношении занимает промежуточное место между одновалентными катионами и кальцием, но ближе к последнему.

Если в составе поглощенных катионов преобладает кальций (например, в черноземах), то почвенные коллоиды находятся в коагулированном состоянии, что способствует образованию водопрочных агрегатов и созданию хорошей структуры почвы. Поглощенный кальций, осаждая органические и минеральные коллоиды, способствует сохранению и накоплению их в почве и увеличению емкости поглощения ее.

Насыщение почвы одновалентными катионами, особенно натрием, приводит к сильному диспергированию почвенных коллоидов и близких к ним частиц. В результате распыления мелкодисперсной фракции почвы уменьшается водопрочность агрегатов, ухудшаются физические свойства, водный и воздушный режим почвы, во влажном состоянии такая почва становится вязкой и клейкой, а при высыхании образует плотную массу, трудно поддающуюся обработке. Диспергированные органические и минеральные коллоиды вымываются из почвы, поэтому она обедняется питательными веществами. Кроме того, при вытеснении натрия из почвенного поглощающего комплекса в раствор образуется сода, которая обусловливает щелочную реакцию раствора, неблагоприятную для развития растений:

$$(ППК)\begin{matrix}Na\\Na\\Na\end{matrix} + Ca(HCO_3)_2 = (ППК)\begin{matrix}Na\\Ca\end{matrix} + 2NaHCO_3$$

При значительном содержании в почве обменнопоглощенных ионов водорода и алюминия (например, в дерново-подзолистых почвах и красноземах) многие свойства ее также ухудшаются. Ионы водорода не диспергируют почвенные коллоиды, но, переходя в поглощенное состояние, вызывают постепенное разрушение минералов, входящих в состав почвенного поглощающего комплекса. В результате почва обедняется коллоидной фракцией, ухудшается ее структура и уменьшается

емкость поглощения. Кроме того, ионы алюминия и водорода из поглощенного состояния вытесняются в раствор в обмен на катионы растворимых солей. Высокая концентрация в растворе ионов водорода и алюминия оказывает вредное действие на развитие растений.

Состав и соотношение поглощенных катионов в почве можно регулировать внесением удобрений и мелиорантов. Так, при заделке в дерново-подзолистые почвы извести из поглощающего комплекса вытесняются ионы водорода и алюминия, при внесении в солонцовые почвы гипса вытесняются катионы натрия, а содержание в этих почвах поглощающего кальция увеличивается.

Обменнопоглощенные почвой катионы (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, NH_4^{+} и др.) являются важным резервом питательных веществ для растений, они не вымываются из почвы и в то же время сравнительно легко вытесняются в раствор и хорошо усваиваются растениями.

ОБМЕННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ АНИОНОВ

В сильнокислых дерново-подзолистых почвах и красноземах может быть довольно сильно выражено обменное поглощение анионов, обусловленное проявлением основных (базоидных) свойств почвенных коллоидов.

Обменное поглощение анионов может наблюдаться или на положительно заряженных коллоидных частицах (коллоидах гидратов полуторных окислов), или на положительно заряженных участках отрицательно заряженных коллоидов (у минералов каолинитовой группы, коллоидов белковой природы).

В обоих случаях поглощение анионов происходит в обмен на ионы OH^{-}, которые при кислой реакции отщепляются от молекул, расположенных на поверхности коллоидной частицы.

В почвах, имеющих слабокислую, нейтральную или щелочную реакцию, обменное поглощение анионов выражено очень слабо или его вовсе нет. Обменное поглощение анионов менее изучено, чем обменное поглощение катионов. Исследования показали, что анионы NO_3^{-} и Cl^{-} в пределах возможных в почвах реакций практически не поглощаются. Только красноземы, особенно их нижние горизонты, характеризующиеся очень кислой реакцией и большим количеством полуторных окислов, способны поглощать эти анионы. Поглощение ионов SO_4^{2-} также наблюдалось лишь в красноземах, желтоземах и иллювиальных горизонтах дерново-подзолистых почв.

Значительно большее значение имеет обменное поглощение почвами анионов фосфорной кислоты. Способностью к обменному поглощению ее обладают дерново-подзолистые и даже черноземные почвы. В отношении красноземов, которые могут вообще очень сильно связывать фосфаты, трудно определить, происходит ли закрепление чисто химическое с образованием нерастворимых фосфатов полуторных окислов или наряду с ним имеет место физико-химическое, обменное поглощение. Обменное поглощение анионов фосфорной кислоты в почвах происходит преимущественно путем присоединения к положительно заряженным частицам полуторных окислов и к той части поверхности

почвенных минералов, которая представлена полуторными окислами (например, у каолинита).

Анионы фосфорной кислоты, обменнопоглощенные на поверхности коллоидных частиц, могут быть вытеснены в раствор другими анионами минеральных и органических кислот (HCO_3^-, гуминовых кислот и др.). Поэтому обменнопоглощенная фосфорная кислота доступна для растений.

КИСЛОТНОСТЬ ПОЧВЫ

Реакция почвы оказывает большое влияние на развитие растений и почвенных микроорганизмов, на скорость и направленность происходящих в ней химических и биохимических процессов. Усвоение растениями питательных веществ, деятельность почвенных микроорганизмов, минерализация органических веществ, разложение почвенных минералов и растворение труднорастворимых соединений, коагуляция и пептизация коллоидов и другие физико-химические процессы в сильной степени зависят от реакции почвы. Она оказывает влияние на эффективность вносимых в почву удобрений. Удобрения, в свою очередь, могут изменять реакцию почвенного раствора, подкислять или подщелачивать ее.

Реакция почвенного раствора зависит от соотношения в нем ионов водорода (H^+) и гидроксила (OH^-). Концентрацию ионов водорода в растворе принято выражать символом pH, который обозначает отрицательный логарифм концентрации водородных ионов. В зависимости от концентрации ионов водорода и величины pH реакция почвенного раствора подразделяется следующим образом:

Реакция	pH	Концентрация H^+-ионов (в г на 1 л)
Сильнокислая	3...4	10^{-3}...10^{-4}
Кислая	4...5	10^{-4}...10^{-5}
Слабокислая	5...6	10^{-5}...10^{-6}
Нейтральная	7	10^{-7}
Слабощелочная	7...8	10^{-7}...10^{-8}
Щелочная	8...9	10^{-8}...10^{-9}
Сильнощелочная	9...11	10^{-9}...10^{-11}

В природных условиях реакция почвенного раствора колеблется от pH 3...3,5 (в сфагновых торфах) до pH 9...10 (в солонцовых почвах), но чаще всего она не выходит за пределы pH 4...8. Щелочную реакцию раствора имеют почвы сухих степей, полупустынь и пустынь — южные черноземы и каштановые почвы (pH 7,5), сероземы (pH до 8,5) и солонцы (pH до 9 и более).

Близкая к нейтральной (pH 6,5...7) реакция раствора у обыкновенного и мощного черноземов. Выщелоченные черноземы и серые лесные почвы имеют слабокислую реакцию (pH 5,5...6,5), а дерново-подзолистые и некоторые торфяные почвы — кислую или сильнокислую (pH 4...5 и ниже).

Кислые почвы занимают в нашей стране значительные площади и широко используются для выращивания зерновых, кормовых, овощ-

Многие сельскохозяйственные культуры и полезные почвенные микроорганизмы отрицательно относятся к повышенной кислотности. В связи с этим важное значение имеет выяснение природы почвенной кислотности и разработка способов ее устранения.

Различают следующие виды почвенной кислотности: актуальную (или активную) кислотность и потенциальную (скрытую) кислотность, которая подразделяется, в свою очередь, на обменную и гидролитическую.

Актуальная кислотность

Актуальная кислотность — это кислотность почвенного раствора, обусловленная повышенной концентрацией в нем ионов H^+ по сравнению с ионами OH^-.

В почве постоянно образуется CO_2. При растворении углекислого газа в почвенной влаге образуется H_2CO_3, которая диссоциирует на ионы H^+ и HCO_3^-. В результате повышается концентрация ионов водорода в растворе, он подкисляется. Содержание CO_2 в почвенном воздухе и в почвенном растворе и величина pH раствора находятся в следующих соотношениях (по Каппену):

содержание CO_2 в воздухе (в % от объема)	0,03	0,3	1,0	3,0	10,0	100
содержание CO_2 в растворе (в мг на 1 л)	0,5	5,4	17,9	54,0	178,7	1787,0
pH раствора	5,7	5,2	4,9	4,7	4,5	3,9

Поэтому чем выше концентрация CO_2 в почвенном воздухе, тем больше его растворяется в почвенной влаге и тем сильнее подкисляется раствор.

Однако образующаяся в почвенном растворе углекислота нейтрализуется поглощенными основаниями (Ca, Mg, Na), а также карбонатами кальция и магния. При взаимодействии углекислоты с карбонатом кальция или с поглощающим комплексом, насыщенным кальцием, образуется растворимая соль бикарбонат кальция:

$$CaCO_3 + H_2CO_3 = Ca(HCO_3)_2$$

$$(ППК)\ Ca + 2H_2CO_3 = (ППК)\ \begin{matrix} H \\ H \end{matrix} + Ca(HCO_3)_2$$

Если в почве в поглощенном состоянии содержится натрий, то в растворе может образоваться бикарбонат или карбонат натрия:

$$(ППК)\ Na + H_2CO_3 = (ППК)\ H + NaHCO_3$$

$$(ППК)\ \begin{matrix} Na \\ Na \end{matrix} + H_2CO_3 = (ППК)\ \begin{matrix} H \\ H \end{matrix} + Na_2CO_3$$

Углекислые соли кальция и натрия в растворе подвергаются гидролитическому распаду, и образуются очень слабая угольная кислота и сильные основания:

$$Ca(HCO_3)_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + 2H_2CO_3$$

$$NaHCO_3 + H_2O = NaOH + H_2CO_3$$

$$Na_2CO_3 + 2H_2O = 2NaOH + H_2CO_3$$

В растворе повышается концентрация гидроксильных ионов, он подщелачивается. Особенно сильно подщелачивает раствор карбонат натрия, затем бикарбонат натрия и слабее — бикарбонаты кальция и магния. Поэтому в почвах, содержащих в поглощенном состоянии много натрия (солонцы, солончаки), в растворе образуются углекислые соли натрия, и почвенный раствор становится щелочным. Когда в почве находятся карбонаты кальция и магния и среди поглощенных катионов преобладает кальций (сероземы, черноземы), то в почвенном растворе образуется главным образом бикарбонат кальция, который слабее подщелачивает эти почвы, и реакция раствора у них слабощелочная или нейтральная (pH 7...8).

В тех почвах, где в составе поглощенных катионов наряду с кальцием и магнием имеются ионы водорода (выщелоченные черноземы, серые лесные и дерново-подзолистые почвы), реакция почвенного раствора определяется содержанием в нем одновременно углекислоты и бикарбоната кальция, а также растворимых органических кислот и их солей. Реакция раствора этих почв зависит от состава поглощенных катионов и колеблется в пределах pH 5...7. Чем меньше в поглощающем комплексе катионов кальция и чем больше катионов водорода, тем меньше в почвенном растворе будет бикарбоната кальция и больше свободной H_2CO_3 и тем ниже pH.

В кислых и сильнокислых дерново-подзолистых почвах и торфяно-болотных почвах, содержащих в поглощенном состоянии мало кальция и значительное количество ионов водорода и алюминия, почвенный раствор, кроме угольной кислоты, подкисляют растворимые органические кислоты, а также соли алюминия, в результате гидролиза которых образуются кислота и слабое основание. В этом случае происходит подкисление почвенного раствора до pH 4,5 и ниже.

Таким образом, *актуальная кислотность — это кислотность почвенного раствора, создаваемая углекислотой* (H_2CO_3), *водорастворимыми органическими кислотами и гидролитически кислыми солями*. Она определяется измерением pH водной суспензии или водной вытяжки из почвы. Актуальная кислотность оказывает непосредственное влияние на развитие растений и почвенных микроорганизмов.

Обменная кислотность

Кроме актуальной кислотности, существует потенциальная (скрытая) кислотность почвы, которая обусловлена наличием ионов водорода или алюминия в поглощенном состоянии. Часть поглощенных почвой ионов водорода может быть вытеснена в раствор катионами нейтральных солей. Так, если почву обработать растворами KCl, то катионы калия поглотятся почвой, а из поглощающего комплекса перейдут в раствор ионы водорода:

$$(\text{ППК})\ \text{H} + \text{KCl} = (\text{ППК})\ \text{K} + \text{HCl}$$

В результате такого вытеснения ионов водорода почвенный раствор подкисляется. Этот вид кислотности почвы называют обменной. Кроме поглощенного водорода, в сильнокислых минеральных почвах нахо-

дится поглощенный алюминий, также способный переходить в раствор при взаимодействии почвы с нейтральными солями:

$$(\text{ППК})\ \text{Al} + 3\text{KCl} = (\text{ППК})\ \begin{matrix}\text{K}\\\text{K}\\\text{K}\end{matrix} + \text{AlCl}_3$$

В растворе хлористый алюминий подвергается гидролитической диссоциации с образованием слабого основания и сильной кислоты:

$$\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Al(OH)}_3 + 3\text{HCl}$$

Кислота, образующаяся при вытеснении из почвы алюминия во время обработки ее раствором нейтральной соли, и обменнопоглощенный водород, который переходит в солевую вытяжку, составляют обменную кислотность почвы. Следовательно, *обменная кислотность — это кислотность, обусловленная обменнопоглощенными ионами водорода и ионами алюминия, которые извлекаются из почвы при обработке ее раствором нейтральной соли.*

Вопрос о природе обменной кислотности, о том, какие обменнопоглощенные катионы — водорода или алюминия — преобладают в кислых почвах и создают эту кислотность, многие годы был дискуссионным.

В настоящее время на основе многочисленных исследований можно считать наиболее вероятным, что при взаимодействии кислых почв с растворами нейтральных солей в солевую вытяжку переходят ионы как водорода, так и алюминия. Соотношение между ними зависит от условий образования почв, состава поглощающего комплекса и других причин. Так, органические коллоиды почвы содержат преимущественно обменнопоглощенный водород, а обменная кислотность минеральной фракции почвы обусловливается и водородом, и переходящим в солевую вытяжку алюминием.

Обменная кислотность характерна для дерново-подзолистых почв и красноземов, а также для почв северной части черноземной зоны. В почвах, имеющих слабокислую реакцию водной вытяжки, обменная кислотность незначительна, а в щелочных вообще отсутствует. Обменная кислотность регулирует реакцию почвенного раствора. При взаимодействии твердой фазы почвы с катионами растворимых солей, образующихся в результате минерализации органических веществ, или с катионами вносимых в почву минеральных удобрений обменнопоглощенные ионы водорода и алюминия переходят в раствор и увеличивают актуальную кислотность, а если почвенный раствор нейтрализуется, то благодаря обменной кислотности он снова подкисляется.

Обменная кислотность приобретает особенно большое значение при внесении в почву больших количеств растворимых минеральных удобрений. Легко переходя в активную форму и подкисляя почвенный раствор, она отрицательно влияет на развитие чувствительных к кислотности растений и почвенных микроорганизмов. Особенно токсичен для многих растений переходящий в раствор алюминий. Поэтому при внесении в кислые почвы извести необходимо добиваться нейтрализации не только актуальной, но и обменной кислотности.

Обменную кислотность выражают величиной pH KCl-вытяжки или в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы. В величину обменной кислотности входит и актуальная кислотность, следовательно, обменная кислотность почвы всегда больше, чем актуальная, а pH солевой вытяжки ниже, чем pH водной вытяжки, если почва обладает обменной кислотностью.

Гидролитическая кислотность

При обработке почвы раствором нейтральной соли не все поглощенные ионы водорода переходят в раствор, т. е. в этом случае не выявляется вся потенциальная кислотность. Более полно ионы водорода из почвенного поглощающего комплекса можно вытеснить, действуя на почву нормальным раствором гидролитически щелочной соли, например уксуснокислого натрия (CH_3COONa). В водном растворе эта соль гидролитически расщепляется и образует слабодиссоциирующую уксусную кислоту и сильное основание, поэтому раствор становится щелочным (pH около 8,2):

$$CH_3COONa + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COOH + Na^+ + OH^-$$

Щелочная реакция раствора этой соли и является главной причиной более полного вытеснения поглощенного водорода из почвы.

При взаимодействии раствора уксуснокислого натрия с почвенным поглощающим комплексом ионы водорода вытесняются в раствор в обмен на катионы натрия и связываются с оставшимися гидроксильными ионами; образуются труднодиссоциирующие молекулы H_2O:

$$(ППК)\ H + CH_3COOH + Na^+ + OH^- \longrightarrow (ППК)\ Na + CH_3COOH + H_2O$$

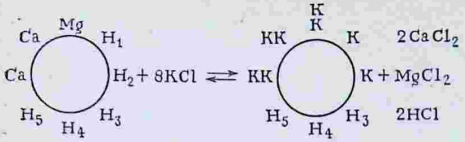
Чем больше ионов натрия поглотит почва и больше гидроксильных ионов будет связано, тем больше в растворе образуется уксусной кислоты. Количество ее можно определить титрованием раствора щелочью. Этот вид кислотности почвы, выявляемый посредством гидролитически щелочной соли, получил название *гидролитической кислотности*. Она включает менее подвижную часть поглощенных ионов водорода, труднее обменивающихся на катионы почвенного раствора.

В почвенном поглощающем комплексе имеются ионы водорода, способные к замещению на основания при различных значениях pH.

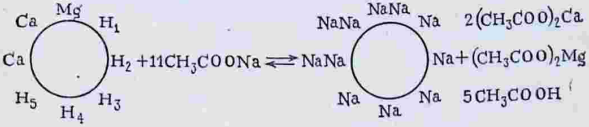
Часть ионов водорода, связанная с почвенными коллоидами, способна к обмену на основания при слабокислой реакции (pH 5,5...6) и может вытесняться из почвенного поглощающего комплекса в раствор катионами нейтральной соли. Эти ионы водорода (наряду с обменнопоглощенными ионами алюминия) обусловливают обменную кислотность почвы. Другая часть поглощенных ионов водорода, труднее диссоциирующая, способна обмениваться на основания только в условиях нейтральной и щелочной среды. Эти ионы водорода труднее замещаются на основания, они вытесняются в раствор только гидролитически щелочной солью.

Соотношение между обменной и гидролитической кислотностью может быть представлено следующей схемой (по Н. П. Ремезову):

Обменная кислотность почвы



Гидролитическая кислотность почвы



Ионы водорода, находящиеся в почвенном поглощающем комплексе, обозначены в этой схеме цифрами в порядке возрастающей трудности замещения их на катионы солей.

Под действием раствора нейтральной соли (при определенной обменной кислотности) замещается на основания только небольшая часть H^+-ионов, например H_1 и H_2, а остальные ионы водорода не вступают в обменные реакции. Под влиянием щелочного раствора уксуснокислого натрия (при определении гидролитической кислотности) ионы водорода замещаются в почвенном поглощающем комплексе более полно.

Кислотность, обнаруживаемая при обработке почвы раствором CH_3COONa, значительно больше, чем обменная. В этом случае определяется общая кислотность почвы, включающая актуальную и всю потенциальную кислотность — как обменную, так и «собственно гидролитическую» (которая не вытесняется KCl, но вытесняется 1 н. раствором CH_3COONa). Следовательно, под гидролитической кислотностью почвы подразумевается кислотность, обнаруживаемая в растворе после обработки почвы уксуснокислым натрием и включающая все содержащиеся в почве ионы водорода, не только легкоподвижные (обменные), но и менее подвижные, способные к замене на основания лишь при щелочной реакции.

Гидролитическую кислотность выражают в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы. Иногда результаты определения гидролитической кислотности бывают меньше, чем при определении обменной кислотности. Это связано с тем, что анионы уксусной кислоты сорбируются некоторыми почвами, в которых преобладают коллоиды с сильно выраженными базоидными свойствами (краснозем), а взамен вытесняются ионы OH^-; в результате кислотность почвенной вытяжки уменьшается.

В подобных случаях, очевидно, обычный метод определения гидролитической кислотности оказывается непригодным.

Гидролитическая кислотность в почвах появляется в самом нача-

ле обеднения их основаниями. При дальнейшей потере оснований появляется также обменная и актуальная кислотность.

Черноземы, за исключением южных, имеют гидролитическую кислотность, хотя обменной кислотности в них может и не быть. Если в почве есть обменная кислотность, то она входит как часть в кислотность гидролитическую. Выщелоченные черноземы, более обедненные основаниями, характеризуются как гидролитической, так и небольшой обменной кислотностью. Еще более обедненные основаниями дерново-подзолистые почвы имеют значительную гидролитическую кислотность и сильно выраженную обменную кислотность, а также актуальную кислотность.

Вследствие того что гидролитическая кислотность включает менее подвижную часть ионов водорода, она (при отсутствии обменной кислотности) не вредна для растений. Знание величин ее очень важно при решении ряда практических вопросов применения удобрений (известкование, внесение фосфоритной муки).

Степень насыщенности почвы основаниями

Реакция почвенного раствора зависит не только от размеров обменной и гидролитической кислотности, но и от степени насыщенности почвы основаниями. Если величину гидролитической кислотности почвы обозначить буквой H, а суммарное количество поглощенных оснований (Ca, Mg, K, Na и др.)— буквой S, то сложение их дает общую емкость поглощения почвы (T) в м.-экв. на 100 г:

$$S + H = T.$$

Сумма поглощенных оснований (S), выраженная в процентах от емкости поглощения (T), называется *степенью насыщенности почвы основаниями* и обозначается V:

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

Степень насыщенности показывает, какая часть общей емкости приходится на поглощенные основания и какая на гидролитическую кислотность. Величина степени насыщенности основаниями — важный показатель для характеристики поглотительной способности и степени кислотности почвы (рис. 29).

Если гидролитическая кислотность двух почв одинакова и равна 4 м.-экв. на 100 г, но емкость поглощения первой почвы 8, а второй почвы 20 м.-экв., то в первой почве на 4 м.-экв. гидролитической кислотности приходится только 4 м.-экв. поглощенных оснований и степень насыщенности ее равна 50%, а во второй почве на те же 4 м.-экв. гидролитической кислотности приходится 16 м.-экв. поглощенных оснований и степень насыщенности основаниями равна 80%. Несмотря на равную величину гидролитической кислотности, первая почва с меньшей степенью насыщенности основаниями будет относительно более кислой. Она сильнее нуждается в устранении кислотности, например известкованием, чем вторая почва, у которой кислотность состав-

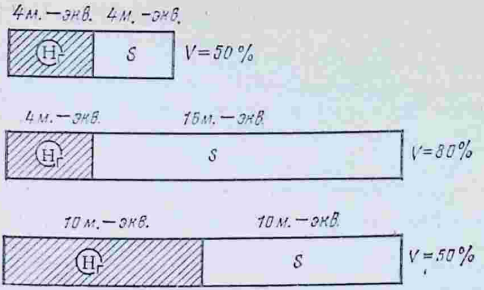


Рис. 29. Схема, показывающая соотношение между величиной емкости поглощения, гидролитической кислотностью и степенью насыщенности основаниями.

ляет лишь небольшую часть всей емкости поглощения. Третья почва имеет такую же степень насыщенности основаниями (50%), как и первая, но емкость поглощения и гидролитическая кислотность у них различные. Несмотря на одинаковую степень насыщенности, третья почва с более высокой гидролитической кислотностью требует больше извести, чтобы реакция этой почвы сравнялась с реакцией первой почвы.

Буферная способность почвы

Реакция почвенного раствора не является постоянной. В результате биологических, химических и физико-химических процессов в почве образуются кислоты или основания и происходит изменение его реакции. Выделение углекислоты, образование азотной кислоты при нитрификации и других кислых продуктов в процессе жизнедеятельности микроорганизмов приводит к подкислению почвенного раствора.

Реакция почвы изменяется и под влиянием вносимых в почву удобрений. Так, при внесении физиологически кислых солей [NH_4Cl, $(NH_4)_2SO_4$ и др.] почвенный раствор подкисляется, а при использовании физиологически щелочных [$NaNO_3$, $Ca(NO_3)_2$] происходит нейтрализация кислотности или подщелачивание почвенного раствора. При систематическом внесении физиологически кислых или физиологически щелочных удобрений реакция почвенного раствора может сильно изменяться и оказывать влияние на развитие культурных растений и почвенных микроорганизмов.

Однако изменение реакции под действием указанных факторов на разных почвах будет неодинаковым: на одних меньшим, на других бо́льшим. Способность почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора в кислую или щелочную сторону называется *буферной способностью почвы*. Буферность почвы в целом зависит от буферных свойств ее твердой и жидкой фаз. Буферная способность поч-

венного раствора обусловливается содержащимися в ней слабыми кислотами (H_2CO_3, водорастворимые органические кислоты) и их солями. Слабые кислоты (например, H_2CO_3) диссоциируют не полностью, поэтому в растворе значительная часть их будет находиться в виде недиссоциированных молекул и лишь небольшое количество будет диссоциировано:

$$H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

бóльшая часть меньшая часть

Если в почвенном растворе, содержащем углекислоту, появляется щелочь, то происходит связывание ионов H^+ с образованием слабодиссоциирующих молекул H_2O, равновесие смещается и часть молекул кислоты переходит в диссоциированное состояние. Ионы H^+ будут связывать часть ионов OH^- прибавленной щелочи с образованием H_2O, и pH раствора изменится мало. Следовательно, слабая кислота будет противодействовать подщелачиванию раствора. Например, в случае образования в почве $Ca(OH)_2$ (при внесении физиологически щелочного азотнокислого кальция) он будет взаимодействовать с угольной кислотой; образуются нерастворимый карбонат кальция и вода, и заметного подщелачивания реакции раствора происходить не будет:

$$Ca(OH)_2 + H_2CO_3 = CaCO_3 + 2H_2O$$

Раствор, в котором находится смесь слабой кислоты и ее соли [например, H_2CO_3 и $Ca(HCO_3)_2$], будет буферным также и против подкисления. Соль слабой кислоты диссоциирует почти полностью [$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$]. Диссоциация слабой кислоты (H_2CO_3), согласно закону действия масс, зависит от количества ее анионов (HCO_3^-) в растворе, с увеличением их концентрации диссоциация уменьшается:

$$\frac{[H^+]\cdot[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = K, \quad \text{откуда} \quad [H^+] = K\frac{[H_2CO_3]}{[HCO_3^-]}$$

В растворе, содержащем одновременно H_2CO_3 и $Ca(HCO_3)_2$, концентрация анионов HCO_3^- зависит в основном от количества бикарбоната кальция. Поэтому в присутствии такой соли в растворе образуется большое количество анионов, которые подавляют диссоциацию и без того слабой кислоты, часть H^+-ионов из диссоциированного состояния переходит в недиссоциированное, и концентрация их в растворе будет тем меньше, чем выше в нем концентрация соли. Если в почвенном растворе, содержащем H_2CO_3 и $Ca(HCO_3)_2$, появится, например, азотная кислота (в результате нитрификации), то при взаимодействии ее с бикарбонатами кальция образуется слабодиссоциирующая угольная кислота, т. е. ионы водорода, соединяясь с анионами HCO_3^-, переходят в недиссоциированное состояние; в растворе образуется нейтральная соль и слабодиссоциирующая кислота, поэтому pH будет изменяться мало; раствор будет оказывать буферность против подкисления:

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- + 2H^+ + 2NO_3^- = Ca^{2+} + 2NO_3^- + 2H_2CO_3$$

Кроме того, при небольшом содержании CO_2 в почвенном воздухе образовавшаяся угольная кислота распадается на воду и углекислый газ ($H_2CO_3 = CO_2 + H_2O$). Поэтому в присутствии бикарбоната кальция образование азотной кислоты в результате нитрификации не вызывает сильного подкисления почвенного раствора вследствие его буферности.

Аналогично действует буферная система, состоящая из органических кислот и их солей:

$$(RCOO)_2Ca + 2HNO_3 = \underset{\text{слабодиссоциирующая кислота}}{2RCOOH} + Ca(NO_3)_2$$

$$2RCOOH + Ca(OH)_2 \longrightarrow R(COO)_2Ca + 2H_2O$$

Буферная способность зависит не только от состава почвенного раствора, но и от свойств твердой фазы почвы. Роль буферности почвенного раствора в общей буферной способности почвы обычно невелика. Более сильным фактором буферного действия является твердая фаза почвы, главным образом ее коллоидная часть. Буферная способность почвы в основном зависит от содержания и состава обменных катионов в почвенном поглощающем комплексе. Чем больше емкость поглощения почвы, тем выше ее буферность. Против подкисления буферное действие оказывают поглощенные основания (Ca, Mg и др.). Если в почве, насыщенной основаниями, появляется кислота (например, H_2SO_4 при внесении сульфата аммония), то ионы водорода кислоты обмениваются с катионами поглощающего комплекса (водород переходит в поглощенное состояние, а в растворе образуется нейтральная соль) и реакция почвенного раствора изменяется мало:

$$(\text{ППК})\begin{matrix}Ca\\Ca\\Mg\end{matrix} + 2H^+ + SO_4^{2-} \longrightarrow (\text{ППК})\begin{matrix}H\\H\\Ca\\Mg\end{matrix} + CaSO_4$$

Чем больше степень насыщенности почвы основаниями и больше общая емкость поглощения, тем сильнее она противостоит подкислению. Ослабляют подкисление почвенного раствора также карбонаты ($CaCO_3$ и $MgCO_3$), так как они нейтрализуют кислоту с образованием бикарбонатов:

$$2CaCO_3 + H_2SO_4 = CaSO_4 + Ca(HCO_3)_2$$

Поэтому почвы, насыщенные основаниями (черноземы и особенно карбонатные почвы), обладают очень высокой буферностью против подкисления.

Почвы, не насыщенные основаниями, содержащие в поглощенном состоянии заметное количество ионов водорода и алюминия (дерново-подзолистые и красноземы), обладают буферностью против подщелачивания. При внесении в эти почвы щелочи катионы ее будут поглощаться в обмен на ионы H^+, и в результате образуется вода:

$$(\text{ППК})\begin{matrix}H\\H\\Ca\end{matrix} + Ca(OH)_2 = (\text{ППК})\begin{matrix}Ca\\Ca\end{matrix} + 2H_2O$$

Чем больше гидролитическая кислотность почвы, тем больше буферное действие против изменения реакции в сторону подщелачива-

ния, но почвы, слабо насыщенные основаниями, мало буферны против подкисления, так как образующиеся в них кислоты не будут полностью нейтрализоваться основаниями.

Способность почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора имеет большое значение при внесении минеральных удобрений. На почвах, обладающих низкой буферностью (песчаных и супесчаных, многих дерново-подзолистых, бедных гумусом), при внесении кислых удобрений возможны резкие сдвиги реакции, которые могут оказать неблагоприятное влияние на развитие растений и почвенных микроорганизмов. На тяжелых и богатых гумусом почвах, обладающих высокой емкостью поглощения и значительным буферным действием, реакция раствора смещается слабо даже при систематическом внесении высоких норм кислых или щелочных минеральных удобрений. Против подкисления раствора особенно устойчивы почвы с высокой степенью насыщенности основаниями, а против подщелачивания — почвы с низкой степенью насыщенности. Систематическое внесение органических удобрений в сочетании с известкованием повышает емкость поглощения и степень насыщенности почвы основаниями, а следовательно, увеличивает и ее буферность.

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ СССР

Дерново-подзолистые почвы имеют кислую реакцию (pH 4...4,5), значительную обменную кислотность (1—2 м.-экв. на 100 г), 80...90% от величины которой приходится на обменный Al, а также гидролитическую кислотность (3...6 м.-экв. на 100 г), низкую емкость поглощения (5...15 м.-экв.) и степень насыщенности основаниями (30...70%). Бо́льшая часть этих почв нуждается в известковании.

Для дерново-подзолистых почв характерно низкое содержание гумуса, общего азота и фосфора и резкое снижение их с глубиной профиля. Агрохимические свойства этих почв сильно варьируют в зависимости от их механического состава и степени окультуренности. В суглинистых почвах содержится от 2 до 3...4% гумуса, 0,1...0,2% азота, 0,07...0,12% фосфора (P_2O_5) и 1,5...2,5% калия (K_2O). Валовой запас гумуса (в слое 0...20 см) составляет 60...80 т, азота 3...6 т, фосфора 2...3,5 т и калия 45...75 т на 1 га. Песчаные и супесчаные почвы беднее гумусом, N, P, K, Ca, Mg и микроэлементами, чем суглинистые. Содержание гумуса в легких почвах не превышает 0,5...1,0%, азота 0,03...0,08%, фосфора 0,03...0,6% и калия 0,5...1,0%, валовой запас их составляет: гумуса 15...30 т, азота 0,9...2,4 т, фосфора 0,9...1,8 т и калия 15...30 т на 1 га. Содержание микроэлементов в дерново-подзолистых почвах колеблется в широких пределах, возможен как недостаток некоторых из них (B, Mo и др.), так и избыток (например, Mn).

Большинство дерново-подзолистых почв характеризуется сравнительно низким содержанием усвояемых (минеральных) форм азота, подвижного фосфора, а песчаные и супесчаные почвы — также и калия. Размер кислотности и содержание подвижных форм питатель-

42. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистых почв

Степень окультуренности	pH солевой вытяжки	Мощность пахотного горизонта (в см)	Содержание гумуса (в %)	Подвижный фосфор	Обменный калий
				в мг на 100 г почвы	
Слабая	4...4,5	До 20	1,5...2	До 5	До 10
Средняя	4,6...5,0	20...22	2...3,5	5...10	10...15
Сильная	5,1...6,0	22...25	2,5...4	15...25	20...30

ных веществ в почвах в сильной степени зависят от их окультуренности (табл. 42).

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

Вследствие того что дерново-подзолистые почвы обычно бедны элементами питания, но достаточно увлажнены, применение органических и минеральных удобрений дает высокий эффект. Из минеральных удобрений наиболее эффективны, и их в первую очередь необходимо вносить, азотные, а на слабоокультуренных почвах также фосфорные удобрения. На песчаных и супесчаных почвах эффективно применение калийных, а также магнийсодержащих удобрений.

Серые лесные почвы характеризуются слабокислой реакцией (pH 4,8...6), невысокой обменной (до 1 м.-экв.), но значительной гидролитической кислотностью (от 2 до 6 м.-экв. на 100 г), сумма обменных оснований 15—30 м.-экв., из них 80—90% приходится на Ca, степень насыщенности основаниями 80—85%. Содержание гумуса в пахотном горизонте (0...20 см) колеблется от 2 до 6%, а валовой запас — от 60 до 150 т на 1 га и с глубиной снижается более постепенно, чем в дерново-подзолистых почвах. Общее содержание азота в этих почвах 0,15...0,35%, фосфора 0,05...0,2%, калия 1,5...3%, а валовой запас их в слое 0...20 см равняется соответственно 4,0...10; 1,5...6 и 45...90 т на 1 га.

Серые лесные почвы в зависимости от мощности гумусового горизонта, содержания гумуса и развития признаков оподзоленности подразделяются на светло-серые, серые и темно-серые, отличающиеся по агрохимическим свойствам (табл. 43).

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

43. Агрохимическая характеристика серых лесных почв

Подтипы	Мощность гумусового горизонта (в см)	Содержание гумуса (в %)	pH солевой вытяжки	Гидролитическая кислотность	Сумма обменных оснований	Степень насыщенности основаниями (в %)	Подвижный фосфор	Подвижный калий
				в м.-экв. на 100 г почвы			в мг на 100 г почвы	
Светло-серые	15...25	1,6...3,4	4,8...5,4	2,3...3,8	10...18	72...82	6	10
Серые	25...30	2,2...4,7	5,2...5,7	2,9...3,5	14...25	76...87	8	13
Темно-серые	40...60	3,5...7,0	5,5...6,0	2,3...5,4	20...36	80...86	12	15

44. Агрохимическая характеристика черноземов

Подтипы	Мощность гумусового горизонта (в см)	Содержание гумуса (в %)	pH водной вытяжки	Гидролитическая кислотность	Емкость поглощения	V (в %)	Запас в слое 0...20 (в т на 1 га)			
				в м.-экв. на 100 г			гумус	N	P_2O_5	K_2O
Выщелоченный	80...150	6...9	5,5...6,5	2...4	45...55	85...95	100...160	5...9	3...4	45...55
Типичный	100...180	8...12	6,5...7	0,5...3	50...60	90...98	120...220	7...15	3,5...4,5	50...60
Обыкновенный	60...140	5...8	7...8	0...1	40...50	95...100	80...140	5...7	3...4	50...55
Южный	40...80	3...6	7...8	0...0,5	25...35	98...100	60...110	3...6	2...3,5	50...60

Необходимо систематическое применение органических и минеральных удобрений, а на светло-серых почвах с кислой реакцией — также их известкование. Эффективность минеральных удобрений наиболее высокая в западных провинциях зоны и несколько ниже в центральном и особенно восточном районах.

В повышении урожаев сельскохозяйственных культур на серых лесных почвах ведущая роль принадлежит азотным удобрениям, на втором месте по эффективности стоят фосфорные удобрения и слабее действуют калийные, применение которых необходимо под картофель, сахарную свеклу и для получения высоких урожаев зерновых культур.

Черноземы. Агрохимические свойства основных подтипов черноземов характеризуются следующими показателями (табл. 44).

Черноземы по сравнению с другими почвами характеризуются более высоким естественным плодородием, имеют мощный гумусовый горизонт, значительно больше содержат гумуса (4...12%) и общего азота (0,2...0,5%) в пахотном горизонте с постепенным снижением их по профилю. Валовой запас гумуса и азота в слое 0...20 см составляет соответственно 60...220 и 3...15 т на 1 га, а в метровом слое в 3...4 раза больше. Общее содержание фосфора (P_2O_5) колеблется от 0,1 до 0,3%, а валовой запас его 2...4,5 т на 1 га. Реакция этих почв близкая к нейтральной или слабощелочная (pH 6...8), обменная кислотность, как правило, отсутствует, гидролитическая кислотность колеблется от 0 до 4 м.-экв. на 100 г. Черноземы имеют высокую емкость поглощения (30...60 м.-экв.) и степень насыщенности основаниями (85...100%). Наибольшая мощность гумусового горизонта (100...180 см), более высокое содержание гумуса (8...12%), общего азота (0,4...0,5%) и фосфора (0,25...0,35%) и валовые их запасы (соответственно 120...220, 7...15 и 3,5...4,5 т на 1 га), а также емкость поглощения (50...60 м.-экв. на 100 г) — у типичного чернозема. К северу у выщелоченного чернозема и к югу у обыкновенного и особенно южного черноземов эти показатели снижаются. Реакция почвы слабокислая у выщелоченного чернозема (pH 5,5...6,5) и слабощелочная (pH 7,8) у обыкновенного и южного, у которых выше также степень насыщенности основаниями и незначительная или вовсе отсутствует гидролитическая кислотность. У выщелоченных черноземов гидролитическая кислотность достигает часто 3...4 м.-экв. на 100 г. Все подтипы черноземов богаты калием, общее содержание его 2,5...3%, а валовой запас 75...90 т на 1 га. Несмотря на высокое потенциальное плодородие черноземов, обеспеченность их усвояемыми формами азота и подвижным фосфором, особенно старопахотных и слабо удобрявшихся почв, очень часто невысокая. Поэтому на этих почвах наблюдается высокая эффективность фосфорных, а при более благоприятных условиях увлажнения — и азотных удобрений. На старопахотных и слабо удобрявшихся черноземах уменьшаются по сравнению с целинными запасы общего и обменного калия, поэтому на таких почвах, особенно под калиелюбивые культуры (сахарную свеклу, картофель, подсолнечник и др.), эффективно внесение калийных удобрений (вместе с азотными и фосфорными). Минеральные удобрения наиболее эффективны в более увлажненных западных райо-

45. Агрохимическая характеристика каштановых почв

Подтип	Мощность гумусового горизонта (в см)	Гумус (в %)	Общий N (в %)	Общий фосфор (в %)	pH солевой вытяжки	Сумма обменных катионов
Темно-каштановая	35...45	4...5	0,2...0,3	0,1...0,2	7...7,2	30...35
Каштановая	30...40	3...4	0,15...0,20	0,1...0,2	7,2...7,5	20...13
Светло-каштановая	25...30	2...3	0,10...0,15	0,8,..0,15	7,4...8	12...15

нах Черноземной зоны, в восточных районах параллельно с ухудшением условий увлажнения эффективность их снижается.

Каштановые почвы делятся на темно-каштановые, каштановые и светло-каштановые, которые имеют следующие агрохимические свойства (табл. 45).

Темно-каштановые почвы — переходные от черноземов к каштановым. Мощность гумусового горизонта 35...45 см, содержание гумуса 4...5%, общего азота 0,2...0,3, фосфора 0,1...0,2% с постепенным уменьшением по профилю. Карбонатный горизонт залегает на глубине 45...50 см. Реакция почвы слабощелочная (pH 7...7,2), сумма обменных катионов ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$) — 30...35 м.-экв. на 100 г. Легкорастворимых солей мало и залегают они глубже 2—2,5 м.

У каштановых и светло-каштановых почв, которые распространены в более засушливых районах сухих степей, меньше мощность гумусового горизонта (30. . .40 и 25...30 см), ниже содержание гумуса (3...4 и 2...3%) и общего азота (0,15...0,20 и 0,10...0,15%) и более резкое снижение их с глубиной профиля. Карбонатный горизонт залегает выше (вскипание от HCl на глубине 30...40 и 5...30 см), реакция слабощелочная и щелочная (pH 7,2...8). Сумма обменных оснований 20...35 и 12...15 м.-экв. на 100 г, среди обменных катионов преобладает Ca^{2+}, имеется также Mg^{2+}, а в светло-каштановых почвах и Na^{+}. Среди последних много солонцеватых и сильносолонцеватых разностей. Для каштановых почв характерна различная степень засоления, но солевой горизонт обычно на глубине 1 м и ниже. Из верхнего горизонта водорастворимые соли вымыты, содержание их (главным образом бикарбонатов Ca и Mg) небольшое (сотые доли процента). В солевом горизонте из водорастворимых солей преобладают сульфаты и хлориды. Каштановые почвы богаты калием, но характеризуются низкой обеспеченностью подвижными формами азота и фосфора. Однако эффективность минеральных удобрений на этих почвах из-за недостатка влаги обычно невысокая. В условиях богарного земледелия рекомендуется внесение небольших доз фосфорных удобрений в рядки при посеве зерновых культур. При орошении эффективность азотных и фосфорных удобрений резко повышается, но калийные удобрения также неэффективны. Для повышения плодородия солонцовых почв и солонцов рекомендуется применение гипса.

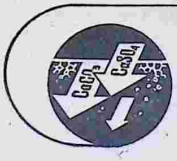
Сероземы подразделяются на три подтипа: светлые, типичные (обыкновенные) и темные. Земледелие на этих почвах ведется при орошении (без орошения возможно лишь на темных сероземах).

Сероземы характеризуются высокой карбонатностью, малогумусностью и низким содержанием азота. Содержание гумуса в слое 0...20 см у светлых сероземов 1...1,5%, типичных 1,5...3% и темных до 4...5%. Общее содержание азота соответственно 0,07...0,22; 0,1...0,2 и 0,35...0,04%. Валовой запас гумуса в слое 0...20 см колеблется от 30...40 т у светлых сероземов до 120...150 т на 1 га у темных, а запас азота — от 2...4 до 8...10 т на 1 га.

Общее содержание фосфора от 0,08 до 0,2%, а запас его от 2 до 6 т на 1 га, калия соответственно 2,5...3% и 75...90 т на 1 га, т. е. валовой запас фосфора и калия в этих почвах весьма значительный.

Сероземы имеют слабощелочную реакцию (pH 7,2...8), относительно низкую емкость поглощения (9...10 м.-экв. у светлых, 12...15 м.-экв. у типичных и 18...20 м.-экв. на 100 г почвы у темных сероземов). Из суммы обменнопоглощенных катионов 80...98% составляет Ca^{2+}, 10...15% Mg^{2+} и 5...8% K^{+} и Na^{+}. Для орошаемых сероземов характерны высокая биологическая активность и нитрификационная способность, но образующиеся нитраты интенсивно мигрируют (при поливах) по профилю почвы. Для повышения плодородия этих почв исключительно большое значение имеет систематическое применение органических и минеральных удобрений.

Из минеральных удобрений на первом месте по эффективности стоят азотные, а затем фосфорные удобрения, которые весьма эффективны при низком содержании в почве подвижного фосфора. Калием сероземы обеспечены лучше, чем азотом и фосфором. Однако на длительно орошаемых и используемых для возделывания хлопчатника и других культур площадях возникает потребность и в калийных удобрениях, особенно при систематическом внесении высоких норм азотных и фосфорных удобрений.



Глава IV

МЕТОДЫ ХИМИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ПОЧВ. ИЗВЕСТКОВАНИЕ И ГИПСОВАНИЕ

В нашей стране значительные площади занимают кислые и щелочные солонцовые почвы. Наличие в поглощенном состоянии в кислых почвах большого количества ионов водорода и алюминия, а в солонцовых — катионов натрия резко ухудшает физические, физико-химические и биологические свойства этих почв, их плодородие. Для коренного улучшения кислых и солонцовых почв необходима химическая мелиорация их в сочетании с другими агротехническими приемами.

Методы химической мелиорации кислых и солонцовых почв основаны на изменении состава поглощенных катионов, главным образом путем введения кальция в почвенный поглощающий комплекс. Для нейтрализации кислотности и повышения плодородия кислых почв основным мероприятием является известкование, а для устранения повышенной щелочности и улучшения свойств солонцовых почв — гипсование.

ИЗВЕСТКОВАНИЕ КИСЛЫХ ПОЧВ

Известковые удобрения применяются очень давно. Земледельцы Галлии и Британских островов использовали мергель и мел на полях, лугах и пастбищах около 2000 лет назад. В XVI—XVIII вв. известковые удобрения широко применяли в странах Западной Европы. Однако в то время, еще не зная природы действия извести, рассматривали ее как средство, заменяющее навоз, и нередко вносили в очень больших количествах и слишком часто, что приводило иногда к отрицательным результатам.

Использовать известь для устранения кислотности почвы начали только в конце прошлого столетия.

Вопросы известкования давно привлекали внимание русских ученых. Еще в первой половине XIX в. в книгах М. Г. Павлова «Земледельческая химия» (1825 г.) и «Курс сельского хозяйства» (1837 г.) довольно подробно освещались приемы использования извести с целью улучшения свойств почвы. В диссертации И. А. Стебута «Известкование почв» (1865 г.) подчеркивалось громадное значение его для повышения урожаев на дерново-подзолистых почвах.

Первые точные полевые опыты по изучению эффективности извести были проведены под руководством Д. И. Менделеева в 1867—1869 гг.

В последующие годы исследования в этом направлении вели А. Н. Энгельгардт, П. А. Костычев, П. С. Коссович, К. К. Гедройц, Д. Н. Прянишников и другие ученые. Известкование успешно применялось на сельскохозяйственных опытных станциях.

Более широкие и планомерные исследования по известкованию кислых почв были развернуты в нашей стране после Великой Октябрьской социалистической революции. Эти исследования проводятся в настоящее время многими научными институтами и опытными станциями.

В результате исследований выяснена природа действия извести на почву, установлена высокая эффективность ее на кислых дерново-подзолистых почвах и разработаны приемы наиболее эффективного применения известковых удобрений. Известкование получило широкое применение в практике социалистического земледелия.

За годы десятой пятилетки (1975—1980) было произвестковано более 32 млн. га кислых почв.

В СССР, по данным Государственной агрохимической службы, более 50 млн. га пахотных земель и около 13 млн. га лугов имеют повышенную кислотность (pH до 5,5). Бо́льшая часть кислых почв — дерново-подзолистые. Кроме того, нуждаются в известковании торфяно-болотные, серые лесные почвы и красноземы. Кислые дерново-подзолистые почвы Нечерноземной зоны бедны органическим веществом и элементами питания, характеризуются низким плодородием. На таких почвах без внесения извести, даже при использовании органических и минеральных удобрений, невозможно получать высокие урожаи многих сельскохозяйственных культур. Поэтому в постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства Нечерноземной зоны РСФСР» (1974 г.) особо подчеркивается решающая роль известкования кислых почв в увеличении производства сельскохозяйственной продукции.

Отношение сельскохозяйственных растений к реакции почвы и известкованию

Большинство культурных растений и почвенных микроорганизмов лучше развивается при слабокислой или нейтральной реакции (pH 6...7); щелочная и излишне кислая реакция оказывают на них отрицательное действие. Различные растения по-разному относятся к реакции среды — имеют неодинаковый интервал pH, благоприятный для их роста и развития, и обладают разной чувствительностью к отклонению реакции от оптимальной (табл. 46).

Растения по отношению к реакции среды и по отзывчивости на известкование можно разделить на несколько групп.

1. Наиболее чувствительны к кислотности хлопчатник, люцерна, эспарцет, сахарная, столовая и кормовая свекла, конопля, капуста. Они хорошо растут только при нейтральной или слабощелочной реакции (pH 7...8) и очень сильно отзываются на внесение извести даже на слабокислых почвах.

46. Отношение различных растений к реакции почвы

Растение	Интервал pH, благоприятный для роста	Растение	Интервал pH, благоприятный для роста
Люцерна	7,2...8,0	Салат	6,0...7,0
Сахарная свекла	7,0...7,5	Подсолнечник	6,0...6,8
Конопля	6,7...7,4	Хлопчатник	6,5...7,3
Капуста	7,0...7,4	Просо	5,5...7,5
Огурцы	6,4...7,5	Рожь	5,0...7,7
Лук	6,4...7,5	Овес	5,0...7,5
Ячмень	6,0...7,5	Гречиха	4,7...7,5
Пшеница озимая	6,3...7,5	Редис	5,0...7,3
Пшеница яровая	6,0...7,3	Морковь	5,6...7,0
Кукуруза	6,0...7,5	Томат	5,0...8,0
Соя	6,5...7,5	Лен	5,5...6,5
Горох	6,0...7,0	Картофель	4,5...6,3
Кормовые бобы	6,0...7,0	Чайный куст	4,0...5,0
Фасоль	6,4...7,1	Люпин	4,6...6,0
Клевер	6,0...7,0	Брюква	4,8...5,5
		Тимофеевка	4,5...7,6

2. Чувствительны к повышенной кислотности ячмень, яровая и озимая пшеница, кукуруза, соя, фасоль, горох, кормовые бобы, клевер, подсолнечник, огурцы, лук, салат. Они лучше растут при слабокислой или нейтральной реакции (pH 6...7) и хорошо отзываются на известкование не только сильнокислых, но и среднекислых почв. На известкованных почвах урожайность этих культур значительно повышается, резко уменьшается выпадение озимой пшеницы и клевера при перезимовке.

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

4. Лен и картофель нуждаются в известковании только на сильнокислых почвах.

Картофель малочувствителен к кислой реакции и хорошо растет на кислых почвах. Для льна характерен узкий интервал оптимальной реакции. Он чувствителен и к повышенной кислотности почвы, и к щелочной реакции. Наиболее благоприятны для его роста слабокислые почвы (pH 5,5...6).

При внесении высоких норм извести и доведении реакции среды до нейтральной урожай картофеля и льна и особенно его качество могут снижаться, картофель сильно поражается паршой, а лен — бактериозом.

Отрицательное влияние повышенных норм извести на эти культуры объясняется не столько нейтрализацией кислотности, сколько уменьшением усвояемых соединений бора в почве, а также избыточной концентрацией ионов кальция в почвенном растворе, в результате чего затрудняется поступление в растения других катионов, в частности магния и калия.

5. Люпин синий и желтый, сераделла, чайный куст лучше растут на кислых почвах (оптимальный pH 4,5...5,0) и плохо при щелочной и даже нейтральной реакции. Эти культуры чувствительны к избытку водорастворимого кальция в почве, особенно в начале роста, поэтому отрицательно реагируют на повышенные нормы извести. Однако при внесении пониженных норм известковых удобрений, содержащих магний, снижения урожая этих культур не наблюдается.

По чувствительности к кислотности и отзывчивости на известкование различаются не только разные сельскохозяйственные растения, но и различные сорта многих культур (особенно ячменя, яровой пшеницы, кукурузы, гороха, клевера, люцерны). Так, исследования показали, что сорта южного происхождения, сформировавшиеся на почвах с нейтральной реакцией, более чувствительны к кислотности и при выращивании на кислых дерново-подзолистых почвах лучше отзываются на внесение извести, чем сорта северного происхождения, сформировавшиеся на кислых почвах.

Влияние кислой реакции на растения весьма многосторонне. В почвах прямое вредное действие повышенной концентрации ионов водорода сочетается с косвенным отрицательным влиянием ряда сопутствующих кислой реакции условий и факторов.

Повышенная кислотность почвенного раствора ухудшает рост и ветвление корней, отрицательно действует на физико-химическое состояние плазмы клеток корня, на их проницаемость, поэтому ухудшается использование растениями питательных веществ почвы и удобрений.

При высокой кислотности раствора ионы водорода, проникая в большом количестве в ткани растений, подкисляют клеточный сок. Реакция раствора в тканях растений вследствие высокой буферности цитоплазмы и клеточного сока изменяется значительно слабее, чем во внешнем растворе. Однако в зависимости от степени подкисления среды изменение реакции может быть довольно значительным и оказывать сильное влияние на биохимические процессы в растении.

При кислой реакции ослабляется синтез белковых веществ, содержание белка и общего азота в растениях уменьшается, а количество небелковых форм азота возрастает; подавляется процесс превращения моносахаров в другие, более сложные органические соединения.

Растения наиболее чувствительны к кислотности почвы в первый период роста, сразу же после прорастания. В более поздние сроки они сравнительно легко переносят кислую реакцию (табл. 47).

Кислая реакция в первый период роста вызывает сильные нарушения в углеводном и белковом обмене, отрицательно влияет на закладку генеративных органов, что отражается в последующем на процессе оплодотворения и наливе зерна, урожай его резко снижается.

47. Отношение растений ячменя к кислой реакции почвы в разные периоды роста (по Н. С. Авдонину)

pH и период роста растений	Урожай зерна	
	в г на сосуд	в %
6,5...7,0 в течение всей вегетации	9,44	100,0
5,0...5,5 в течение всей вегетации	4,37	46,3
5,0...5,5 первые 20 дней, 6,5...7,0 остальное время	4,91	53,0
5,0...5,5 от 20 до 40 дней, 6,5...7,0 остальное время	9,02	95,6
5,0...5,5 от 40 до 60 дней, 6,5...7,0 остальное время	7,67	81,3
5,0...5,5 от 60 до 80 дней, 6,5...7,0 остальное время	9,23	97,8

Помимо непосредственного отрицательного действия на растения повышенной концентрации ионов водорода, кислотность почвы оказывает на растения многостороннее косвенное действие. Водород, вытесняя кальций из почвенного гумуса, повышает его дисперсность и подвижность, а насыщение водородом минеральных коллоидных частиц приводит к их постепенному разрушению. Этим объясняется небольшое содержание в кислых почвах коллоидной фракции, они имеют поэтому неблагоприятные физические и физико-химические свойства, плохую структуру, низкую емкость поглощения и слабую буферность. Полезные для растения микробиологические процессы в кислых почвах подавлены, образование доступных для растений форм питательных веществ протекает слабо.

Различные почвенные микроорганизмы неодинаково относятся к кислотности почвы. Плесневые грибы лучше развиваются при pH 3...6 и могут расти даже при более высокой кислотности. Среди грибов встречается много паразитов и возбудителей различных болезней культурных растений. Развитие их в кислых почвах усиливается. В то же время многие полезные почвенные микроорганизмы лучше развиваются при нейтральной и слабощелочной реакции. Наиболее благоприятное значение pH для нитрификаторов, свободноживущих в почве азотфиксирующих бактерий, клубеньковых бактерий люцерны, гороха и других бобовых — 6,5...7,5. При более высокой кислотности жизнедеятельность азотфиксирующих и нитрифицирующих микроорганизмов подавляется, а при pH ниже 4...4,5 многие из них совсем не могут развиваться. Поэтому в кислых почвах сильно ослаблена или вовсе прекращается фиксация азота воздуха, замедляется минерализация органического вещества, процесс нитрификации подавлен, в результате чего резко ухудшаются условия азотного питания растений. В кислых почвах подвижные формы фосфора связываются полуторными окислами с образованием нерастворимых и малодоступных растениям фосфатов алюминия и железа, менее интенсивно протекают процессы минерализации органических соединений фосфора, поэтому

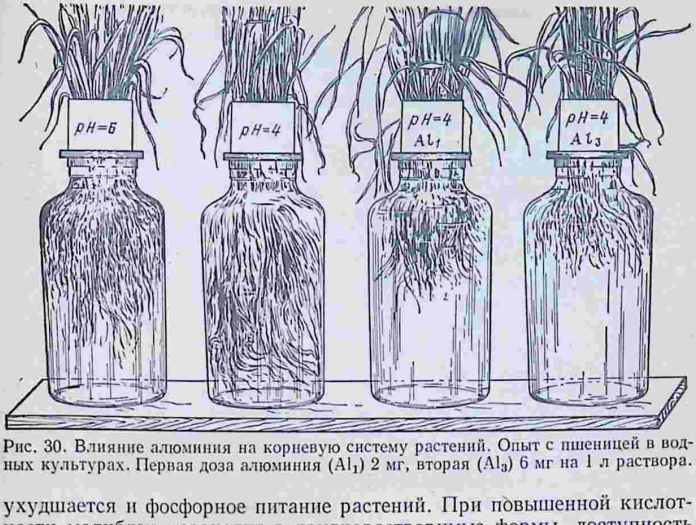


Рис. 30. Влияние алюминия на корневую систему растений. Опыт с пшеницей в водных культурах. Первая доза алюминия (Al_1) 2 мг, вторая (Al_3) 6 мг на 1 л раствора.

ухудшается и фосфорное питание растений. При повышенной кислотности молибден переходит в труднорастворимые формы, доступность его растениям снижается. На сильнокислых песчаных и супесчаных почвах растениям может недоставать также усвояемых соединений кальция и магния.

Отрицательное действие высокой кислотности в значительной степени связано с увеличением растворимости соединений алюминия и марганца в почве. Повышенное содержание их в растворе ухудшает развитие растений даже сильнее, чем избыток ионов водорода.

Отрицательное действие алюминия на многие растения отмечается уже при содержании его в растворе 2 мг на 1 л. При более высокой концентрации алюминия резко снижается урожай и даже наблюдается гибель растений. Страдает от избытка этого элемента прежде всего корневая система (рис. 30). Корни становятся сильно укороченными, грубыми, темнеют и ослизняются, количество корневых волосков уменьшается. Избыточное поступление алюминия и марганца нарушает углеводный, азотный и фосфатный обмен в растениях, отрицательно влияет на закладку репродуктивных органов и налив зерна. Поэтому отрицательное действие избытка этих элементов сильнее проявляется на генеративных, чем на вегетативных органах. Растения особенно чувствительны к подвижным формам алюминия и марганца в первый период роста и во время перезимовки. При повышенном содержании их в почве резко снижается зимостойкость озимых культур, клевера, люцерны, большинство растений выпадает.

Повышенные концентрации подвижного алюминия переносят без вреда лишь некоторые растения, а многие растения при тех же концентрациях погибают. Н. С. Авдонин разделяет растения по чувстви-

тельности к алюминию на четыре группы: в первую группу, отличающуюся высокой устойчивостью к алюминию, входят овес и тимофеевка; во вторую, среднеустойчивую к алюминию,— люпин, картофель, кукуруза и просо; в третью, с повышенной чувствительностью,— лен, горох, фасоль, гречиха, ячмень, яровая пшеница; к четвертой, самой чувствительной к алюминию, отнесены свекла столовая и сахарная, клевер, люцерна, озимая пшеница и озимая рожь (при перезимовке). Угнетение клевера наблюдается уже при содержании в почве подвижного алюминия более 2 мг на 100 г почвы, а при содержании 6...8 мг на 100 г почвы клевер сильно выпадает.

Между чувствительностью растений к кислой реакции среды и к подвижным формам алюминия не всегда наблюдается строгий параллелизм. Некоторые растения плохо выносят кислотность почвы (кукуруза, просо), но сравнительно устойчивы к алюминию, другие же удовлетворительно растут при кислой реакции (лен), но очень чувствительны к алюминию. Разная чувствительность растений к подвижным формам алюминия связана с неодинаковой способностью их связывать этот элемент в корнях. Более устойчивы к алюминию растения, способные фиксировать его в корневой системе, в результате чего он не поступает в точки роста и генеративные органы.

В почвенных условиях часто невозможно разграничить отрицательное действие на растения подвижных форм алюминия и марганца и отрицательное действие повышенной концентрации ионов водорода в растворе. При высоком содержании подвижных соединений алюминия и марганца в почве отрицательное действие кислотности на растения проявляется значительно сильнее.

Влияние повышенной кислотности почвы зависит не только от особенностей растений, но и от состава и концентрации других катионов в почвенном растворе, от содержания в почве питательных веществ и других ее свойств. При высокой концентрации в растворе катионов кальция задерживается поступление в корни ионов водорода и алюминия и отрицательное влияние их ослабляется. В присутствии кальция растения способны переносить более кислую реакцию.

В ослаблении отрицательного действия повышенной кислотности почвы важную роль играет хорошее обеспечение растений фосфором. Систематическое внесение фосфорных удобрений снижает содержание подвижных соединений железа и алюминия в почве, так как при взаимодействии с фосфорной кислотой они переходят в нерастворимые формы. Защитное действие фосфора объясняется также тем, что он ослабляет токсичность ионов H^+ и Al^{3+} в самих растениях. При хорошем обеспечении их фосфором больше алюминия фиксируется в корнях и уменьшается передвижение его к точкам роста и генеративным органам. Кроме того, фосфор положительно влияет на развитие корней, углеводный и азотный обмен в растениях, на закладку генеративных органов и налив зерна и тем самым ослабляет или нейтрализует отрицательное действие высокой концентрации ионов H^+, Al^{3+} и Mn^{2+} в растворе.

Высокая чувствительность растений к кислотности почвы и повышенной концентрации ионов Al^{3+} и Mn^{2+} в растворе в начале роста

в значительной степени связана со слабым усвоением ими фосфора. Улучшение фосфорного питания растений в это время (внесением фосфорных удобрений в рядки) уменьшает вредное действие повышенной концентрации ионов H^+ и Al^{3+} на молодые растения. При недостатке питательных веществ (NPK) влияние повышенной кислотности почвы на рост и урожай растений усиливается, а при хорошем обеспечении заметно ослабляется. Повышенная кислотность отрицательно влияет на урожай растений, чувствительных к кислой реакции, даже при хорошей обеспеченности их всеми питательными веществами, но особенно сильно снижается урожай на кислых почвах при недостатке питательных веществ. Следовательно, отрицательное влияние кислотности почвы на растение может ослабляться или усиливаться под влиянием отдельных факторов.

В зависимости от условий внешней среды приведенные выше интервалы оптимальной реакции для разных растений (табл. 46) могут сдвигаться в ту или другую сторону. Однако различия между отдельными растениями по их чувствительности к кислотности почвы сохраняются. На большинство растений повышенная кислотность почвы оказывает сильное отрицательное прямое и косвенное действие. Для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур и увеличения эффективности вносимых удобрений на кислых почвах необходимо устранить повышенную кислотность их известкованием.

Взаимодействие извести с почвой

Известь ($CaCO_3$) практически нерастворима в чистой воде (1 весовая единица карбоната растворяется в 100 тыс. весовых единиц воды), но в воде, содержащей угольную кислоту, растворимость ее значительно увеличивается (примерно в 60 раз). При внесении в почву $CaCO_3$ под влиянием углекислоты, находящейся в почвенном растворе, постепенно превращается в растворимый бикарбонат кальция (или магния):

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 = Ca(HCO_3)_2$$

Бикарбонат кальция диссоциирует на ионы Ca^{2+} и $2HCO_3^-$ и частично подвергается гидролизу:

$$Ca(HCO_3)_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + 2H_2O + 2CO_2$$
$$Ca(OH)_2 \rightleftarrows Ca^{2+} + 2OH^-$$

В почвенном растворе, содержащем бикарбонат кальция, повышается концентрация ионов Ca^{2+} и OH^-. Катионы кальция вытесняют ионы водорода из почвенного поглощающего комплекса, и кислотность нейтрализуется:

$$(ППК)\begin{matrix}H\\H\\H\end{matrix} + Ca^{2+} + 2HCO_3^- \longrightarrow (ППК)\ Ca + 2H_2CO_3$$

$$(ППК)\begin{matrix}H\\H\\H\end{matrix} + Ca^{2+} + 2OH^- \longrightarrow (ППК)\begin{matrix}Ca\\H\end{matrix} + 2H_2O$$

$CaCO_3$ взаимодействует также со свободными гумусовыми и другими органическими кислотами в кислых почвах и с азотной кислотой, образующейся в процессе нитрификации, и нейтрализует их:

$$2RCOOH + CaCO_3 \longrightarrow R(COO)_2Ca + H_2O + CO_2$$
$$2HNO_3 + CaCO_3 = Ca(NO_3)_2 + H_2O + CO_2$$

При внесении полной нормы извести устраняется актуальная и обменная кислотность, значительно снижается гидролитическая кислотность, повышается содержание кальция в почвенном растворе и степень насыщенности почвы основаниями.

Скорость и полнота воздействия на реакцию почвы и насыщенность ее основаниями зависят от нормы и формы внесенного известкового удобрения. Чем выше норма $CaCO_3$, тем сильнее уменьшается кислотность и возрастает насыщенность почвы основаниями (табл. 48).

Устраняя кислотность, известкование оказывает многостороннее действие на свойства почвы, создает благоприятную среду для роста растений и жизнедеятельности полезных микроорганизмов. Кальций, внесенный с известью, коагулирует почвенные коллоиды, улучшает структуру почвы и повышает ее водопрочность. Под влиянием извести улучшаются водопроницаемость и аэрация, уменьшается возможность образования корки и облегчается обработка тяжелых почв.

При внесении необходимых норм извести снижается содержание в почве подвижных соединений алюминия, железа и марганца, они переходят в нерастворимую форму и поэтому устраняется вредное действие их на растения. На известкованных почвах повышается жизнедеятельность свободноживущих азотфиксирующих и клубеньковых бактерий, поэтому повышается обогащение почвы азотом за счет азота воздуха. При известковании улучшается деятельность нитрификаторов, усиливаются минерализация органических соединений азота до аммиака и его нитрификация, в почве больше накапливается нитратного азота. В результате улучшается азотное питание растений, особенно в первые годы после внесения извести.

48. Влияние разных норм извести на свойства почвы
(данные ВИУА)

Показатель	Нормы извести в долях гидролитической кислотности				
	0	1/3	2/3	1	2
pH водной вытяжки	4,4	5,0	5,8	6,5	6,9
Гидролитическая кислотность (в м.-экв. на 100 г почвы)	5,5	3,4	1,9	1,1	0,9
Степень насыщенности основаниями (в %)	47,3	65,3	82,2	89,7	95,6
Содержание поглощенного кальция (в м.-экв. на 100 г почвы)	4,4	4,8	5,6	6,0	7,6
Водорастворимый кальций (в мг на 100 г почвы)	23,0	30,0	35,0	40,0	48,0

Известкование подавляет вредные микроорганизмы, уменьшает поражение растений различными болезнями. Однако при внесении высоких норм извести может усиливаться развитие не только полезных, но и некоторых вредных микроорганизмов — возбудителей заболеваний растений.

При известковании усиливается мобилизация фосфатов почвы и улучшается питание растений фосфором. Это связано с повышением жизнедеятельности бактерий, минерализующих органические фосфаты, и с переходом в результате нейтрализации кислотности труднорастворимых фосфатов железа и алюминия в более доступные для растений фосфорнокислые соли кальция. Положительное действие известкования на увеличение количества доступного фосфора в почве проявляется постепенно и продолжается долгие годы. В опыте Долгопрудной агрохимической опытной станции увеличение содержания подвижного фосфора в почве под влиянием известкования наблюдается даже через 24 года после внесения извести.

При известковании калий труднорастворимых минералов переходит в более подвижные соединения. Однако вследствие антагонизма между кальцием и калием усвоение его растениями не увеличивается.

Известкование оказывает влияние на подвижность в почве и доступность для растений микроэлементов. Соединения молибдена после внесения извести в кислые дерново-подзолистые почвы переходят в более усвояемые формы, поэтому улучшается питание растений этим элементом. Соединения бора и марганца при известковании, наоборот, становятся менее усвояемыми, и растения могут испытывать недостаток в них. Вследствие этого известкование может не дать полного эффекта и даже вызвать снижение урожая или ухудшение качества урожая некоторых культур (льна, картофеля, люпина). Внесение борных удобрений повышает эффективность известкования и устраняет отрицательное влияние высоких норм извести на урожай льна и картофеля и его качество.

Внесение известковых удобрений способствует обогащению почвы кальцием, а во многих случаях (например, при использовании доломитовой муки) также и магнием.

В большинстве почв кальция и магния вполне достаточно для питания даже самых требовательных культур (табл. 49).

Общее содержание кальция во всех почвах значительно выше, чем магния. Основная часть кальция и магния находится в форме труднорастворимых минеральных соединений — карбонатов, сульфатов, фос-

49. Содержание кальция и магния в различных типах почв (в %)

Элемент	Типы почв			
	дерново-подзолистые	серые лесные	черноземы	сероземы
Ca	0,73	0,90	1,44	6,04
Mg	0,50	0,70	0,90	1,45

фатов, силикатных и алюмосиликатных минералов. Кроме того, они содержатся в почве в обменнопоглощенной форме и в очень незначительном количестве в виде водорастворимых солей (нитратов, хлоридов и бикарбонатов кальция и магния), которые образуются при вытеснении в раствор поглощенного кальция и магния, а также в результате постепенного разрушения силикатных и алюмосиликатных минералов и растворения карбонатов. Обменнопоглощенные кальций и магний — основной источник питания растений этими элементами.

Обменного магния в почвах обычно содержится в 4...6 раз меньше, чем кальция. Количество обменного кальция и магния наиболее высокое в сероземах и черноземах и значительно уменьшается в серых лесных и дерново-подзолистых почвах. Меньше всего обменного кальция и особенно магния в кислых дерново-подзолистых почвах легкого механического состава (песчаных и супесчаных). Кроме того, в этих почвах поступление катионов кальция и магния в корни растений затруднено вследствие антагонизма ионов водорода. На таких почвах внесение извести, как источника кальция и магния для питания растений, может иметь важное значение главным образом для культур, потребляющих большое количество этих элементов.

Значение кальция и магния для питания растений

Кальций необходим для нормального роста надземных органов и корней растений. Потребность в нем проявляется еще в фазе прорастания. При недостатке кальция и резком преобладании в питательном растворе одновалентных катионов (H^+, Na^+, K^+) или катионов Mg^{2+} нарушается физиологическая уравновешенность раствора и прежде всего страдает корневая система растений. Рост и развитие корней приостанавливаются, они становятся утолщенными, не образуют боковых корешков и корневых волосков, ослизняются и темнеют. Наружные клетки корня, непосредственно соприкасающиеся с таким раствором, разрушаются, клеточные стенки их ослизняются, так как пропитывающие их пектиновые вещества и липоиды в отсутствие кальция растворяются, содержимое клеток вытекает и ткань превращается в слизистую бесструктурную массу. В результате нарушается поглощение растениями питательных веществ.

При введении в питательный раствор кальция физиологическая уравновешенность раствора восстанавливается. Катионы кальция оказывают сильное антагонистическое действие против других катионов (H^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Al^{3+} и др.), препятствуют избыточному поступлению их в растение.

Кальций необходим и для нормального развития надземных органов растения, при недостатке этого элемента развитие их также ухудшается.

Роль кальция в растениях, по-видимому, тесно связана с фотосинтезом. Хотя кальций и не входит в состав хлорофилла, однако зеленые растения всегда богаче этим элементом. Грибы, например, могут хорошо развиваться при отсутствии кальция. Внутренние бесцветные

листья капусты значительно беднее им, чем наружные, содержащие хлорофилл:

листья капусты	содержание Ca (в мг на 100 г сырого вещества)
наружные темно-зеленые	1058
третий снаружи	216
внутренний желто-зеленый	71
самый молодой желто-белый	32

При недостатке кальция задерживается рост листьев, на них появляются светло-желтые пятна (хлоротичность), затем листья отмирают, а ранее образовавшиеся старые листья остаются нормальными. Старые листья содержат кальция больше, чем молодые; он не может повторно использоваться в растении. По мере старения листьев количество кальция в них увеличивается.

Кальций усиливает обмен веществ в растениях, играет важную роль в передвижении углеводов, оказывает влияние на превращение азотистых веществ, ускоряет распад запасных белков семени при прорастании. Кроме того, кальций имеет существенное значение для построения нормальных клеточных оболочек и для установления благоприятного кислотно-щелочного равновесия в растениях.

Кальций находится в растениях в форме солей пектиновой кислоты, сульфата, карбоната, фосфата и щавелевокислого кальция. Значительная часть кальция (от 20 до 65%) растворима в воде, а остальное количество может быть извлечено из растения при обработке слабой уксусной и соляной кислотами.

Кальций поступает в растения в течение всего периода активного роста. При наличии в растворе нитратного азота проникновение его в растения усиливается, а в присутствии аммиачного азота вследствие антагонизма между катионами Ca^{2+} и NH_4^+ снижается. Мешают поступлению кальция ионы водорода и другие катионы при высокой концентрации их в растворе.

Различные растения резко отличаются по величине потребления кальция. При хороших урожаях (20...30 ц зерновых, 200...300 ц корнеклубнеплодов и 500...700 ц капусты) сельскохозяйственные культуры выносят следующее количество этого элемента (в кг CaO с 1 га): рожь, пшеница, ячмень и овес — 20...40; горох, вика, фасоль, гречиха, лен — 40...60; картофель, люпин, кукуруза, сахарная свекла — 60...120; клевер, люцерна, подсолнечник, конопля, табак — 120...250; капуста — 300...500. Больше всего кальция потребляют капуста, люцерна и клевер. Эти культуры характеризуются также очень высокой чувствительностью к повышенной кислотности почвы.

Однако потребность растений в кальции и отношение их к кислотности почвы не всегда совпадают. Так, все зерновые хлеба усваивают сравнительно мало кальция, но резко различаются по чувствительности к кислой реакции — рожь и овес хорошо переносят ее, а ячмень и пшеница плохо. Картофель и люпин нечувствительны к высокой кислотности, но потребляют много кальция.

В отличие от магния кальция содержится меньше в семенах и значительно больше в листьях и стеблях. Поэтому бóльшая часть кальция, взятого растениями из почвы, не отчуждается, а через корма и подстилку попадает в навоз и с ним возвращается на поля.

Убыль кальция из почвы происходит не столько вследствие выноса его с урожаями, сколько в результате выщелачивания.

В зависимости от количества осадков, механического состава почвы, вида растительности, норм и формы извести и минеральных удобрений потери кальция путем вымывания из пахотного и подпахотного слоев почвы могут колебаться от десятков до 400...500 кг с 1 га в пересчете на CaO. При внесении высоких норм физиологически кислых минеральных удобрений потери этого элемента сильно возрастают.

На бедных кальцием кислых песчаных и супесчаных почвах при возделывании капусты, люцерны, клевера может возникнуть потребность в его внесении не только для нейтрализации кислотности, но и для улучшения питания их этим элементом.

Магний входит в состав молекулы хлорофилла и принимает непосредственное участие в фотосинтезе. Однако в хлорофилле находится меньшая часть этого элемента, около 10% общего содержания его в растениях. Магний входит также в состав пектиновых веществ и фитина, который накапливается преимущественно в семенах.

При недостатке магния содержание хлорофилла в зеленых частях растения уменьшается, листья, прежде всего нижние, становятся пятнистыми, «мраморовидными», бледнеют между жилками, а вдоль жилок сохраняется зеленая окраска (частичный хлороз). Затем листья постепенно желтеют, скручиваются с краев и преждевременно опадают. Развитие растений замедляется и ухудшается их рост.

Магний вместе с фосфором содержатся главным образом в растущих частях и семенах растений. В отличие от кальция он более подвижен и может повторно использоваться в растениях. Из старых листьев магний передвигается в молодые, а после цветения происходит отток его из листьев в семена, где он концентрируется в зародыше. Магния в семенах больше, а в листьях меньше, чем кальция. Недостаток магния резче сказывается на урожае семян, корней и клубней, чем соломы или ботвы. Этот элемент играет важную роль в различных жизненных процессах: участвует в передвижении фосфора в растениях, активирует некоторые ферменты (например, фосфатазы), ускоряет образование углеводов, влияет на окислительно-восстановительные процессы в тканях растений. Хорошее обеспечение растений магнием способствует усилению в них восстановительных процессов и приводит к большему накоплению восстановленных органических соединений — эфирных масел, жиров и др. При недостатке магния, наоборот, усиливаются окислительные процессы, возрастает активность фермента пероксидазы, снижается содержание инвертного сахара и аскорбиновой кислоты.

Потребность отдельных растений в магнии различна. При высоких урожаях они потребляют от 10 до 80 мг MgO с 1 га. Наибольшее количество магния поглощают картофель, сахарная и кормовая свекла, табак, зерновые бобовые, бобовые травы.

Чувствительны к недостатку этого элемента конопля, просо, кукуруза.

В почвах магния меньше, чем кальция. Особенно бедны им сильноподзоленные кислые почвы легкого механического состава. Внесение в такие почвы известковых удобрений, содержащих магний, значительно повышает урожай.

Таким образом, при известковании кислых почв улучшается питание растений азотом и зольными элементами — фосфором, кальцием, магнием и молибденом. Улучшение питания на известкованных почвах объясняется также тем, что растения развивают более мощную корневую систему и способны усваивать больше питательных веществ из почвы и удобрений.

Эффективность известкования

Большинство сельскохозяйственных культур положительно реагирует на известкование кислых почв и дает высокие прибавки урожая.

По данным полевых опытов, проведенных в различных районах страны, на разных по степени кислотности почвах расчетные нормы извести (снижающие кислотность до слабокислой реакции) дают следующие средние прибавки урожая в первый год (в ц на 1 га):

яровой пшеницы, ячменя, ржи, овса	2...5
озимой пшеницы	3...6
столовой свеклы и столовой капусты	30...80
кормовой свеклы и кормовой капусты	30...100
картофеля	5...20
клевера (сено)	16...30
конопли (солома)	4...10
конопли (семена)	1,5...2,5

Эффективность известкования зависит от степени кислотности почвы, особенностей возделываемых культур, нормы и вида применяемых известковых удобрений. Чем больше кислотность почвы и выше норма извести, тем больше эффект от известкования (табл. 50).

Урожай сельскохозяйственных культур повышается в большей степени при известковании сильнокислых почв, чем средне- и слабокислых, а на почвах с одинаковой кислотностью прибавки урожая возрастают с увеличением нормы извести от 2. . .4 до 6. . .8 т на 1 га.

Известкование улучшает также качество урожая сельскохозяйственных культур, особенно в том случае, когда применяют известковые материалы, содержащие магний, и одновременно вносят борные удобрения. Под влиянием известкования повышается содержание сахаров в корнеплодах, белка и жира в семенах, больше накапливается каротина и аскорбиновой кислоты в травах и корнеплодах. Известкование кислых почв оказывает положительное влияние на посевные качества семян. В последующем такие семена дают более высокие урожаи.

Изменения, вызываемые в почве известкованием, сохраняются длительное время, поэтому положительное действие полной нормы из-

50. Средние прибавки урожая сельскохозяйственных культур (центнеров на 1 га) **на дерново-подзолистых почвах разной степени кислотности от внесения извести** (по И. А. Шильникову)

Культура	Степень кислотности почвы								
	сильная			средняя			слабая		
	норма $CaCO_3$ (в т на 1 га)								
	2...4	4...6	6...8	2...4	4...6	6...8	2...4	4...6	6...8
Озимая пшеница	3,9	4,6	5,4	2,7	4,0	4,6	1,0	1,5	2,0
» рожь	2,0	3,0	3,4	1,7	2,0	2,4	0,5	1,0	1,2
Ячмень	3,6	4,0	4,5	3,0	3,6	4,1	1,4	1,8	2,0
Овес	2,0	2,3	2,6	1,7	2,0	2,2	0,5	1,0	1,2
Яровая пшеница	2,0	2,4	2,6	1,0	1,5	2,0	0,5	0,8	0,8
Кукуруза (на силос)	40	60	70	20	30	40	10	15	20
Многолетние травы (сено)	18	25	27	12	15	18	9	12	13
Сахарная свекла	35	60	80	30	40	60	—	40	40
						(при pH 5,6 и выше на черноземе)			
Картофель	10	14	18	13	17	17	5	5	5

вести проявляется на протяжении двух ротаций семи-восьмипольного севооборота. Каждая тонна известкового удобрения на средне- и сильнокислых почвах дает за ротацию семипольного севооборота общую прибавку урожая всех культур, равную в переводе на зерно 6. . .8 ц, а за две ротации — 12. . .15 ц на 1 га.

Продолжительность действия известкования и его эффективность тем выше, чем больше норма извести (табл. 51).

Известковые удобрения плохо растворяются и медленно взаимодействуют с почвой, благоприятная реакция среды после их внесения устанавливается не сразу, поэтому действие извести проявляется постепенно, эффект от известкования возрастает из года в год. Полное действие наблюдается только на второй или на третий год после внесения извести.

Известкование является основным условием эффективного применения удобрений на кислых дерново-подзолистых почвах. Удобрения на неизвесткованных кислых почвах часто не дают значительного повышения урожая, особенно культур, чувствительных к кислотно-

51. Средние прибавки урожая (в %) овса, клевера и озимой ржи от известкования за ротацию четырехпольного севооборота

Норма $CaCO_3$ (в т на 1 га)	Ротация			
	I	II	III	IV
2,25 (0,3 гидролитической кислотности)	6	8	0	0
4,50 (0,6 гидролитической кислотности)	4	19	9	22
9,00 (1,2 гидролитической кислотности)	10	25	23	30

сти,— пшеницы, свеклы, кукурузы, клевера, зерновых бобовых, овощных. Известкование резко увеличивает эффективность органических и минеральных удобрений.

Совместное внесение извести и навоза на кислых почвах способствует получению высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Под влиянием извести ускоряется разложение навоза и повышается использование растениями содержащихся в нем питательных веществ, а навоз усиливает положительное действие извести на свойства почвы. Совместное внесение извести и навоза позволяет уменьшить вдвое норму последнего без снижения эффективности и удобрить навозом вдвое бо́льшую площадь.

Под влиянием известкования сильно возрастает эффективность минеральных удобрений.

На произвесткованных сильнокислых почвах по сравнению с непроизвесткованными эффективность минеральных удобрений на озимой пшенице, ржи и ячмене возрастает в среднем в 2 раза, а на клевере — в 3. . .5 раз.

Прибавка урожая от извести и минеральных удобрений при совместном их внесении в большинстве случаев значительно выше суммы прибавок от раздельного использования этих удобрений. Особенно резко повышается при известковании эффективность физиологически кислых аммиачных и калийных удобрений. Эти удобрения при систематическом внесении на малобуферных кислых дерново-подзолистых почвах вызывают дальнейшее их подкисление. Поэтому при внесении таких удобрений на неизвесткованной почве прибавки урожая постепенно снижаются, а в последующие годы в результате сильного подкисления почвы урожай может быть даже ниже, чем на контроле.

Положительное влияние извести на эффективность физиологически кислых форм минеральных удобрений сильнее проявляется при внесении их под культуры, чувствительные к повышенной кислотности (свекла, кукуруза, пшеница, ячмень, клевер и др.).

52. Экономическая эффективность известкования

Показатель	Норма извести (в т на 1 га)	
	7	3,5
Прибавка урожая всех культур севооборота в пересчете на зерно (в ц на 1 га) от извести:		
за первую ротацию	34,0	24,1
за вторую ротацию	53,8	29,4
за две ротации	87,8	53,5
Расходы на известь, ее перевозку и внесение (в руб. на 1 га)	41,0	20,5
Доход от известкования (в руб. на 1 га):		
валовой за две ротации от всей нормы извести	527,0	321,4
чистый за две ротации от всей нормы извести	486,0	300,9
чистый за 1 год от всей нормы извести	37,4	23,1

53. Чистый доход от известкования в различных севооборотах
(М. Ф. Корнилов)

Севообороты	Кислотность почвы	Норма извести (в т на 1 га)	Доход (в руб. с 1 га)
Восьмипольный полевой	Сильная и средняя	3,0	254
	Слабая	2,0	88
Шестипольный прифермский	Сильная и средняя	4,0	349
	Слабая	3,0	156
Семипольный овощной	Сильная и средняя	4,0	971
	Слабая	3,0	415

Известкование кислых почв не только повышает урожай сельскохозяйственных культур, но и обеспечивает значительный экономический эффект. О высокой экономической эффективности известкования свидетельствуют результаты стационарного полевого опыта Центральной опытной станции ВИУА (Барыбино Московской области), заложенного в 1940 г. в семипольном севообороте. Известь в норме 7 и 3,5 т на 1 га вносили один раз (в 1940 г.), ежегодно в течение двух ротаций севооборота применяли минеральные удобрения: 1. . .1,5 ц аммиачной селитры, 2. . .3 ц суперфосфата и 1 ц на 1 га хлористого калия (табл. 52).

Затраты на известкование окупились стоимостью прибавки урожая за 1. . .2 года, а за две ротации севооборота от полной нормы извести чистый доход составил 486 руб. и от половинной нормы 300,9 руб. с каждого гектара, т. е. в 12. . .15 раз превысил затраты на это мероприятие.

Экономическая эффективность известкования в севооборотах существенно различается в зависимости от состава возделываемых культур (табл. 53).

Наибольший чистый доход и окупаемость затрат обеспечиваются в овощных севооборотах с наличием культур, сильно отзывающихся на известкование кислых почв.

Результаты многих полевых опытов показывают, что на сильно- и среднекислых почвах затраты на известкование окупаются стоимостью дополнительного урожая зерновых за 1,3 года, кормовых культур — менее чем за 1 год, а картофеля и овощей — в 3—5-кратном размере в течение 1 года. На слабокислых почвах время окупаемости затрат возрастает в 1,5 раза.

За ротацию севооборота затраты на известкование окупаются в 12. . .13 раз.

Известковые удобрения

Известковые материалы получают размолом или обжигом твердых известковых пород (известняка, доломита, мела) или используют для известкования мягкие известковые породы, не требующие размола, и отходы промышленности, богатые известью.

Твердые известковые породы содержат в основном $CaCO_3$ и $MgCO_3$, также нерастворимый остаток (глина и песок). По содержанию CaO и MgO эти породы делят на следующие группы (по С. Г. Вишнякову): *известняки* — содержат 55...56% CaO и до 0,9% MgO; *известняки доломитизированные* — 42...55% CaO и 0,9...9% MgO; *доломиты* — 32...30% CaO и 18...20 % MgO.

По содержанию глины, песка и других примесей твердые известковые породы подразделяют на группы: *чистая известковая порода* (известняк, доломит) — не более 5% примесей; *мергелистая*, или *песчанистая, известковая порода* — 5...25% примесей; *мергель*, или *песчаная известковая порода* — 25...50% глины или песка.

Большое количество примесей снижает качество известковых пород. При содержании примесей более 15...20% использование пород как удобрения целесообразно только тогда, когда нет более чистых материалов.

Известняки и мел — осадочные породы преимущественно морского происхождения. Известняки состоят в основном из минерала кальцита ($CaCO_3$), но чаще они доломитизированы и, кроме $CaCO_3$, содержат $MgCO_3$ (до 10...15 % MgO). Присутствие $MgCO_3$ повышает твердость известковых пород и уменьшает их растворимость. В зависимости от состава и содержания примесей (органических веществ, соединений железа и марганца) известняки имеют белую, сероватую, желтоватую и коричневую окраску. Мел содержит до 55% CaO и незначительное количество (0,02...0,6%) MgO, отличается от известняков большей мягкостью, легче размалывается, действует быстрее молотого известняка и поэтому более эффективен, особенно в первый год после внесения.

Доломиты состоят из углекислого кальция ($CaCO_3$) и углекислого магния ($MgCO_3$). Чистый доломит содержит 54,4% $CaCO_3$ и 45,6% $MgCO_3$. Доломиты и доломитизированные известняки характеризуются большей твердостью и несколько труднее размалываются, чем мел и известняк. Вместе с тем они хуже растворимы ($MgCO_3$ практически нерастворим в воде и слабо растворим в воде, содержащей углекислоту). Твердые известковые породы являются исходным материалом для производства известковых удобрений — известняковой и доломитовой муки, жженой и гашеной извести.

Известняковая и доломитовая мука получаются при размоле и дроблении известняков и доломитов. Быстрота взаимодействия с почвой и эффективность молотого известняка и доломита в сильной степени зависят от тонины размола. Частицы известняка и доломита крупнее 1 мм плохо растворяются и очень слабо уменьшают кислотность почвы. Например, в опыте кафедры агрохимии ТСХА при внесении в кислую почву (pH 4,5) извести с диаметром частиц 1 мм кислотность почвы через 10 месяцев уменьшилась незначительно (до pH 4,7), а при внесении извести с диаметром частиц 0,1 мм кислотность заметно снизилась (до pH 5,8).

Чем тоньше размол известковой или доломитовой муки, тем лучше

54. Прибавки урожая ячменя и вики (в % от контроля) (средние за два года)

Опыты	Норма $CaCO_3$ (в т на 1 га)	$Ca(OH)_2^*$	Известняк		
			крупный (2...1 мм)	средний (1...0,25 мм)	(мелкий меньше 0,25 мм)
Полевые (средние данные по четырем участкам)	3	32	4	12	20
	9	33	3	7	19
Вегетационные (средние данные по четырем почвам)	3	60	11	18	40
	9	66	15	30	51

* $Ca(OH)_2$ вносили 2,25 и 6,25 т на 1 га.

она перемешивается с почвой, скорее и полнее растворяется, быстрее действует и тем выше ее эффективность (табл. 54).

По данным полевых опытов ВИУА, Литовского и Латвийского НИИ земледелия наиболее эффективна известняковая мука с тониной размола 0,25 мм. Прибавка урожая от фракции 1,0...0,25 мм примерно на 20%, а от фракции 1...3 мм почти в 2 раза меньше. Частицы извести размером более 3 мм малоэффективны. Оптимальным является размер частиц 0,2...0,3 мм, так как при более мелком размоле эффективность известняка не повышается.

Значение тонины размола повышается с увеличением твердости известняков. Поэтому к тонине размола доломитов предъявляются более высокие требования.

При большом содержании грубых частиц (крупнее 1 мм) эффективность известняковой и особенно доломитовой муки заметно снижается. В то же время при наличии в них большого количества переизмельченной фракции (менее 0,25 мм) они сильно пылят и затрудняется механизация их применения.

В настоящее время в нашей стране производится известняковая мука двух видов: пылевидная и слабопылящая. Согласно ГОСТу они должны отвечать следующим требованиям. *Пылевидная* — вся должна проходить через сито с отверстиями 3,0 мм, 95% через сито с отверстиями 1,0 мм и не менее 70% через сито с отверстиями 0,25 мм; количество примесей не более 15%, влажность не более 1,5%; *слабопылящая* — остаток на сите с размером ячеек 5 мм — 8%; 1 мм — 30% и 0,25 мм — 55%; содержание влаги не более 15%.

При повышенной влажности ухудшается сыпучесть и рассеваемость известняковой муки, в зимнее время она легко смерзается, превращается в комья. Тонкоразмолотую пылевидную известняковую муку надо хранить в сухом виде под навесом или в больших кучах, укрытых соломой или торфом. Для внесения используют разбрасыватели.

Жженая и гашеная известь. При обжиге твердых известняков карбонаты кальция и магния теряют углекислоту и превращаются в оксид кальция или оксид магния; получается жженая (комовая) известь:

$$CaCO_3 = CaO + CO_2$$
$$MgCO_3 = MgO + CO_2$$

При взаимодействии ее с водой образуется гидроксид кальция или магния, т. е. так называемая гашеная известь «пушенка» — тонкий рассыпающийся порошок:

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$$
$$MgO + H_2O = Mg(OH)_2$$

Гасить жженую известь можно непосредственно в поле, присыпая ее влажной землей.

Гашеная известь получается как отход на известковых заводах и при производстве хлорной извести. В этом случае она может содержать значительное количество комков, которые необходимо отсеивать.

По способности нейтрализовать кислотность почвы 1 т $Ca(OH)_2$ равна 1,35 т $CaCO_3$.

Пушенка — быстродействующее известковое удобрение, особенно ценное для глинистых почв. Она значительно лучше растворяется в воде (примерно в 100 раз), чем углекислая известь [но гидроксид магния $Mg(OH)_2$ в воде почти нерастворим].

Опыты ВИУА и других научных учреждений показывают, что в первый год после внесения эффективность гашеной извести выше по сравнению с углекислой известью. На второй год разница в их действии в значительной степени сглаживается, а в последующие годы действие их выравнивается. Гашеная известь стоит дороже, чем $CaCO_3$, а действие ее менее продолжительное вследствие более быстрого вымывания кальция.

МЯГКИЕ ИЗВЕСТКОВЫЕ ПОРОДЫ

Месторождения мягких известковых пород имеются почти во всех областях и республиках Нечерноземной зоны.

В отличие от твердых эти породы являются вторичными пресноводными известковыми отложениями. Они не требуют размола, более эффективны и быстрее действуют, чем молотый известняк. Многочисленные местные залежи мягких известковых пород расположены вблизи полей, нуждающихся в известковании, поэтому широкое использование этих дешевых местных известковых материалов позволяет проводить известкование с меньшими затратами труда и средств.

Известковые туфы (ключевая известь) содержат 90...98% $CaCO_3$, иногда 80...90%; реже встречаются туфы, содержащие меньше 70% $CaCO_3$ и значительное количество минеральных и органических примесей. Месторождения их чаще всего встречаются в притеррасных поймах, в местах выхода ключей.

По внешнему виду известковые туфы — рыхлая, пористая, легко рассыпающаяся масса серого цвета, иногда окрашенная примесью гидроокиси железа и органического вещества в темные, бурые и ржавые цвета различной интенсивности. В туфах часто находится некоторое количество более крупных и твердых частиц, которые перед внесением необходимо отсеивать или измельчать.

Гажа (озерная известь) содержит 80...95% $CaCO_3$, залежи ее приурочены к местам высохших замкнутых водоемов, в которые в про-

шлом поступала вода, богатая кальцием. Озерная известь имеет мелкозернистое сложение, легко рассыпается и размельчается, преимущественно на частицы менее 0,25 мм, является эффективным известковым удобрением.

Мергель содержит от 25 до 50% $CaCO_3$, некоторое количество $MgCO_3$ и других примесей. Представляет собой породу, в которой углекислый кальций находится в смеси с глиной, а часто с глиной и песком. Залежи мергеля встречаются в виде рассыпчатой массы и плотной породы. Плотный мергель необходимо вывозить на поле зимой и складывать небольшими кучами. Под влиянием влаги и смены температуры он разрыхляется, превращается в рассыпающуюся на мелкие частицы массу, которую можно вносить в почву. Норму мергеля устанавливают в зависимости от содержания $CaCO_3$. При использовании в эквивалентных по $CaCO_3$ количествах мергель не уступает по эффективности известняковой муке.

Торфотуф — низинный торф, богатый известью. Содержит от 10 до 70% $CaCO_3$. Ценное торфо-известковое удобрение, наиболее пригодное для известкования кислых почв, бедных органическим веществом и расположенных вблизи мест залегания торфотуфов.

Природная доломитовая мука содержит $CaCO_3$ и $MgCO_3$ (в сумме 95% и выше в пересчете на $CaCO_3$). Месторождения ее встречаются там, где расположены карбонатные отложения. Залегает на глубине 40...80 см слоем 1...2 м и больше или отдельными пластами среди твердых доломитов.

Доломитовая мука — сыпучая масса тонкого механического состава, на 98% состоит из частиц меньше 0,25 мм, иногда в ней попадаются куски твердой породы, которые перед внесением необходимо отсеивать. Это очень ценное известковое удобрение, так как в нем, кроме кальция, содержится и магний.

В опытах ВИУА и других научно-исследовательских учреждений на сильнокислых, слабо насыщенных основаниями почвах известковые удобрения, содержащие магний (молотый доломит, доломитизи-

55. Сравнительное действие доломитовой муки и углекислой извести на урожай сельскохозяйственных культур (данные ВИУА)

Опытные учреждения	Культура	Число учетов	Средняя прибавка урожая (в ц на 1 га) от	
			доломитовой муки	углекислой извести
Песчаные и супесчаные почвы				
Бывш. Семеновский опорный пункт опытной Горьковской станции	Озимая рожь	1	5,1	4,4
	Клевер 1-го и 2-го года пользования (сено)	4	33,3	26,2
Люберецкое опытное поле	Лен (солома)	1	15,6	3,5
	Лен (семя)	1	2,1	0,8
	Картофель	2	155,2	37,7
Средне- и тяжелосуглинистые почвы				
Опытные станции ВИУА	Клевер с тимофеевкой	8	22,7	23,9
	Озимая пшеница	2	3,4	3,3
	Картофель	3	8,4	3,3

рованные известняки, природная доломитовая мука и др.), были эффективнее известковых материалов, не содержащих магний. Преимущество их особенно проявляется на бедных этим элементом песчаных и супесчаных почвах (табл. 55).

К. К. Гедройц и О. К. Кедров-Зихман установили, что положительное действие известкования на большинстве сельскохозяйственных культур проявляется полностью лишь при благоприятном для их роста и развития соотношении в почвенном растворе и поглощающем комплексе кальция и магния. Растения могут развиваться при различных соотношениях между этими катионами, однако наилучшие условия для большинства растений создаются тогда, когда на 100 частей Ca приходится 40...80 частей Mg.

В сильнокислых малонасыщенных основаниями дерново-подзолистых почвах, особенно легкого механического состава, поглощенного магния находится часто меньше, чем требуется для создания благоприятного соотношения между ним и кальцием. При внесении известковых удобрений, содержащих только $CaCO_3$, неблагоприятное соотношение между этими элементами еще более расширяется. Слишком широкое отношение кальция к магнию в поглощающем комплексе и почвенном растворе — причина пониженной эффективности и даже отрицательного действия извести на некоторые растения.

Внесение известковых материалов, содержащих наряду с кальцием значительное количество магния, улучшает соотношение между этими элементами в поглощающем комплексе и почвенном растворе и поэтому повышает урожай многих культур сильнее, чем применение известковых удобрений, не содержащих магния.

Особенно отзывчивы на внесение магнийсодержащих известковых удобрений сахарная, столовая и кормовая свекла, корнеплоды (морковь, брюква и др.), клевер, люцерна, лен, картофель, кукуруза, ячмень, гречиха, лук, масличные растения. При внесении известковых удобрений, содержащих $MgCO_3$, устраняется отрицательное действие известкования на лен, картофель, люпин и сераделлу, которые отрицательно реагируют на повышенные нормы карбоната кальция. Значительно слабее отзываются на применение известковых материалов, включающих магний, большинство зерновых хлебов (пшеница, рожь, овес), злаковые травы, капуста, салат.

ИЗВЕСТКОВЫЕ ОТХОДЫ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Для использования в качестве известковых удобрений пригодны дефекат, сланцевая зола, различные металлургические шлаки, отходы известковых заводов и другие богатые известью отходы промышленности. По эффективности многие из них не уступают известняковой муке, а экономически использование их более выгодно, так как в этом случае отпадают дополнительные расходы на добычу и размол извести.

Сланцевая зола получается при сжигании горючих сланцев на промышленных предприятиях и электростанциях, содержит 30...48% CaO и 1,5...3,8% MgO, обладает значительной нейтрализующей

56. Действие сланцевой золы и гажи на урожай картофеля (данные ВИУА)

Варианты	Урожай (в ц с 1 га)	
	без удобрений	NPK
Без извести	96,2	167,7
Сланцевая зола	114,0	182,8
Гажа	83,2	162,7

способностью. Кроме того, в нее входят калий, натрий, сера, фосфор, некоторые микроэлементы. Этим обусловливается высокая эффективность сланцевой золы. Бо́льшая часть кальция и магния в ней находится в форме силикатов, менее растворимых, чем карбонаты, поэтому она по сравнению с карбонатом кальция снижает кислотность почвы несколько слабее и медленнее. Однако это не уменьшает ее ценности, а для некоторых культур (льна, картофеля и др.) является благоприятным свойством. Сланцевая зола даже в высоких нормах (до 20 т на 1 га) оказывает положительное действие на урожай этих культур. Преимущество ее перед карбонатом кальция на картофеле видно из следующих данных (табл. 56).

Сланцевая зола, получаемая на крупных предприятиях, где сланцы перед сжиганием размалывают, имеет очень тонкий механический состав. По данным М. Ф. Корнилова, она может содержать 92% частиц меньше 1 мм, из них 56% частиц меньше 0,16 мм. Но такая зола сильно пылит в сухом состоянии, а при отсыревании слеживается в плотные глыбы. Поэтому ее нельзя хранить под открытым небом, перевозить в открытых емкостях и вносить обычными разбрасывателями. Для перевозок и внесения сланцевой золы используют цементовозы или специально приспособленные разбрасыватели. Содержание влаги в ней должно быть не меньше 5 и не более 15%.

При сжигании немолотого сланца зола получается грубая, со значительным количеством крупных частиц. Перед использованием ее необходимо просеивать или размалывать. Ежегодное применение сланцевой золы составляет около 3 млн. т.

Дефекат — отход свеклосахарного производства. Содержит в основном $CaCO_3$ с примесью $Ca(OH)_2$, а также небольшое количество N, P_2O_5, K_2O и органического вещества. Свежий отход (дефекационная грязь) содержит около 40% воды. После подсушивания на воздухе влажность его снижается до 25...30%, он становится сыпучим, и в таком виде его можно использо удобрение. Сухой дефекат содержит 60...75% $CaCO_3$, 10 ического вещества, 0,2... 0,7% N, 0,2...0,9% P_2O_5 и 0,3 го можно применять для известкования кислых дерн и серых лесных почв, а также как местное удобрен их и выщелоченных чер ноземах в районах свеклосе фективен на почвах с гидролитической кислотно на 100 г. Опытами научно-исследовательск раины установле но, что внесение 3...5 т, бокую пахоту по вышает урожай сахарно х на 30...55 ц на 1 га.

По данным ВИУА, дефекат превосходит по эффективности углекислую известь при внесении в эквивалентном по CaO количестве. Ежегодное применение дефеката составляет более 3 млн. т.

Доменные и мартеновские шлаки получаются как отходы при выплавке чугуна и стали и имеют различный состав: CaO — 30...50%; SiO_2 — 12...37%; Al_2O_3 — 10...15; MgO — 2...10; MnO — 0,4...5,6; P_2O_5 — 0,1...3,5; R — 0,1...4,5%. В большинстве случаев они требуют предварительного размола. Бо́льшая часть кальция в шлаках содержится в виде менее растворимых кремнекислых соединений ($CaSiO_3$ и Ca_2SiO_4), поэтому тонина их размола должна быть мельче, чем известняковой муки. По нейтрализующей способности основные шлаки (с содержанием CaO+MgO свыше 40%) близки к углекислой извести. Эффективность их часто выше, чем извести. Это объясняется присутствием в шлаках магния, фосфора, марганца, серы и других элементов питания. Кроме того, содержащаяся в них кремниевая кислота может уменьшить количество подвижного алюминия в почвах и способствовать лучшему усвоению фосфора растениями. Металлургические шлаки, богатые известью, являются ценным удобрением для дерново-подзолистых почв в районах, близко расположенных к металлургическим заводам.

Белый известковый шлак — отход при электроплавке стали, белый тонкий порошок, пригодный для известкования почв без размола. Содержит 50...68% CaO, 6...15% MgO, 15...25% SiO_2, а также фосфор, марганец, серу и другие элементы. Кальций находится в шлаке преимущественно в форме CaO, более активной, чем $CaCO_3$. По нейтрализующей способности 1 т шлака равняется 1,2...1,4 т известняковой муки. При заблаговременном внесении (за 1,5...2 недели до посева) дает более высокий эффект по сравнению с углекислой известью и не уступает пушенке.

Доломитовая пыль — отход металлургической промышленности, получаемый при обжиге доломита в вагранках. Свежая доломитовая пыль состоит в основном из CaO и MgO, которые при хранении постепенно переходят в $CaCO_3$ и $MgCO_3$. По нейтрализующей способности 1 т доломитовой пыли соответствует 1,5 т $CaCO_3$. Доломитовая пыль не требует размола, однако при высеве сеялкой необходимо отсеивать крупные и твердые частицы. Действие ее на урожай бобовых культур, корнеплодов, льна, картофеля выше, чем известковых удобрений, содержащих только кальций.

Белитовая мука — отход алюминиевой промышленности (шлам), содержит 45...50% CaO, 25% $Na_2O + K_2O$, до 30% SiO_2, 2,9% F_2O_3, 0,04% MnO, 3,4% Al_2O_3, а также небольшое количество фосфора, серы и некоторых микроэлементов. Имеет хороший механический состав, содержит около 95% частиц меньше 1 мм, в том числе около 50% частиц меньше 0,15 мм. По эффективности не уступает другим известковым удобрениям.

В качестве известковых удобрений можно применять также отходы кожевенных, содовых, газовых, цементных и мыловаренных заводов, бумажных фабрик и другие отходы промышленности, в которых кальций и магний находятся в виде оксидов, гидроксидов, углекислых или кремнекислых солей и нет вредных для растений примесей.

Установление необходимости известкования

Необходимость известкования ориентировочно можно определить по некоторым внешним признакам почв. Сильнокислые почвы имеют белесый оттенок, ярко выраженный подзолистый горизонт, достигающий 10 см и более. Такие почвы требуют известкования.

О повышенной кислотности почвы и необходимости известкования свидетельствует также состояние некоторых культурных растений и развитие сорняков. Плохой рост и сильное изреживание клевера, люцерны, свеклы, озимой пшеницы и других культур, чувствительных к повышенной кислотности (несмотря на хорошую агротехнику, правильное удобрение и прочие благоприятные условия), указывают на необходимость известкования. Некоторые сорняки и дикие растения — щавелек, торица полевая, пикульник, лютик ползучий, белоус, щучка, ситник, багульник, вереск — хорошо растут на кислых почвах. Обильное распространение их на полях и лугах свидетельствует о повышенной кислотности почвы и необходимости внесения извести.

Более точно степень нуждаемости растений в известковании можно установить на основе агрохимического анализа почвы, определения величины обменной кислотности (pH солевой вытяжки) и степени насыщенности ее основаниями (*V*). В зависимости от обменной кислотности почвы со средним содержанием гумуса (2...3%) подразделяют по степени нуждаемости в известковании следующим образом: при pH 4,5 и ниже нуждаемость сильная, от 4,6 до 5,0 — средняя, от 5,1 до 5,5 — слабая и при pH выше 5,5 почва в известковании не нуждается. По величине pH солевой вытяжки наиболее четко выделяются, с одной стороны, почвы, сильно нуждающиеся в известковании, на которых внесение извести дает высокий эффект, а с другой стороны — почвы, не нуждающиеся в известковании и не реагирующие на него. Промежуточные по кислотности почвы (pH от 4,5 до 5,5) по одной величине pH дифференцируются слабо.

57. Оценки потребности в известковании в зависимости от свойств почвы (по М. Ф. Корнилову)

Почвы	Потребность в известковании			
	сильная		средняя	
	pH	*V*	pH	*V*
Тяжелые и среднесуглинистые	Меньше 5,0	Меньше 45	5,0...5,5	45...60
	» 4,5	» 50	4,5...5,0	50...65
Легкосуглинистые	» 4,0	» 55	4,0...4,5	55...70
	» 5,0	» 35	5,0...5,5	35...55
	» 4,5	» 40	4,5...5,0	40...60
Супесчаные и песчаные	» 4,0	» 45	4,0...4,5	45...55
	» 5,0	» 30	5,0...5,5	30...45
	» 4,5	» 35	4,5...5,0	35...50
	» 4,0	» 40	4,0...4,5	40...55
Торфяные и торфяно-болотные	» 3,5	» 35	3,5...4,2	35...55

Продолжение

Почвы	Потребность в известковании			
	слабая		отсутствует	
	pH	V	pH	V
Тяжелые и среднесуглинистые	5,5...6,0	60...70	Больше 6,0	Больше 70
	5,0...5,5	65...75	» 5,5	» 75
	4,5...5,0	70...80	» 5,0	» 80
Легкосуглинистые	5,5...6,0	55...65	» 6,0	» 65
	5,0...5,5	60...70	» 5,5	» 70
	4,5...5,0	65...75	» 5,0	» 75
Супесчаные и песчаные	5,5...6,0	45...55	» 6,0	» 55
	5,0...5,5	50...60	» 5,5	» 60
	4,5...5,0	55...65	» 5,0	» 65
Торфяные и торфяно-болотные	4,2...4,8	55...65	» 4,8	» 65

Степень кислотности почвы — важный, но не единственный показатель, характеризующий потребность почв в известковании. При определении нуждаемости в известковании важно учитывать также содержание в почве подвижных соединений алюминия и марганца, степень насыщенности почвы основаниями, ее механический состав.

В зависимости от степени насыщенности основаниями почвы подразделяют на следующие группы: V=50 % и ниже — нуждаемость в известковании сильная, 50...70% — средняя, 70% и выше — слабая, более 80% — почва в известковании не нуждается. При равных значениях pH почвы с более высокой степенью насыщенности основаниями слабее нуждаются в известковании. Потребность в известковании можно значительно точнее определить, учитывая одновременно величину pH солевой вытяжки, степень насыщенности основаниями и механический состав почв (табл. 57).

В этом случае группы почв по степени необходимости известкования выделяются более четко и показывают хорошее совпадение с эффективностью его, установленной в полевых опытах.

58. Необходимость известкования в зависимости от свойств почвы и состава культур севооборота

Потребность в известковании в зависимости от свойств почвы (по табл. 57)	Очередность известкования в зависимости от состава культур севооборота		
	с малым процентом льна и картофеля, овощных и кормовых культур	с большим процентом льна и картофеля	в севооборотах с овощными и кормовыми культурами
Сильная	Первая очередь	Первая очередь	Первая очередь
Средняя	Вторая »	Вторая »	» »
Слабая	Третья »	Не нуждаются	Вторая »
Отсутствует	Не нуждаются	» »	Третья »

При известковании необходимо учитывать также особенности возделываемых культур в севообороте. Для полевых севооборотов с небольшим удельным весом льна и картофеля, а также культур, чувствительных к кислотности (овощных, кормовых и др.), очередность известкования совпадает с группировкой почв по степени нуждаемости в нем указанной в таблице 57: почвы, сильно нуждающиеся, необходимо известковать в первую, средне нуждающиеся — во вторую и слабо нуждающиеся — в третью очередь (табл. 58). При другом составе культур распределение почв по очередности известкования должно быть несколько другим.

Для лучшей организации известкования зональные агрохимические лаборатории и проектно-изыскательские станции химизации на основе агрохимического исследования почв составляют и передают

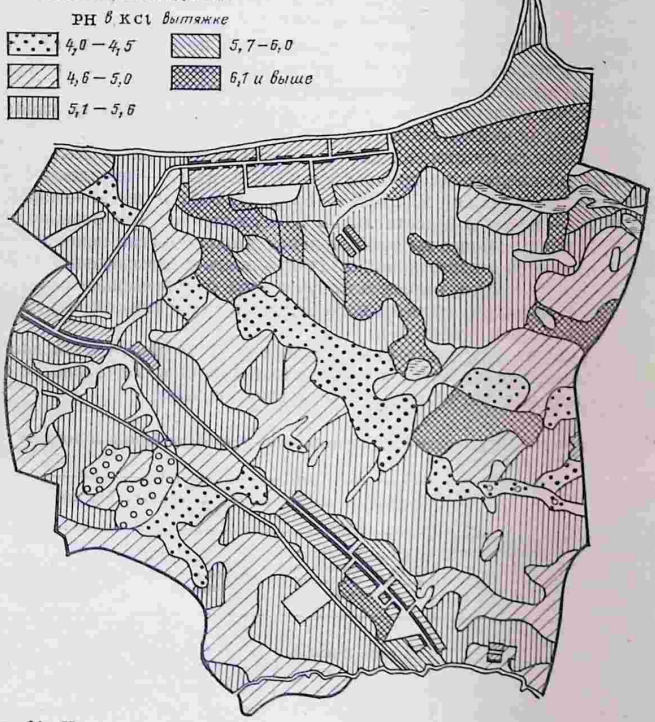


Рис. 31. Картограмма кислотности почвы полей хозяйства.

хозяйствам картограммы кислотности почвы, на которых выделяются участки с разной степенью кислотности и нуждаемости в известковании (рис. 31). Под влиянием процессов, протекающих в почве, и вносимых удобрений реакция ее изменяется, поэтому периодически (через 4...5 лет) агрохимические анализы повторяют для уточнения ранее составленных картограмм.

В каждом хозяйстве с учетом конкретных условий — площади почв, нуждающихся в известковании, обеспеченности необходимыми машинами и транспортными средствами, наличия известковых удобрений и др. — должен быть составлен перспективный план проведения известкования кислых почв. ЦИНАО разработал программный комплекс «Искра» на составление проектно-сметной документации на известкование, в которой определяются площади почв, подлежащие известкованию по годам, необходимые нормы извести и общая потребность в известковых удобрениях, транспортных средствах и машинах для их внесения, затраты на известкование и их окупаемость в хозяйстве. Работы по химической мелиорации почв в колхозах и совхозах осуществляются за счет бюджетных государственных средств.

Нормы известковых удобрений

При проведении известкования очень важно установить оптимальную норму извести в соответствии с особенностями почвы и возделываемых растений. Количество извести, необходимое для уменьшения повышенной кислотности пахотного слоя почвы до слабокислой реакции (pH водной вытяжки 6,2...6,5, солевой вытяжки 5,6...5,8), благоприятной для большинства культур и полезных микроорганизмов, называют полной нормой. Она зависит от величины кислотности почвы.

Более точно полную норму извести можно определить по гидролитической кислотности. Для вычисления таким путем нормы извести (в тоннах $CaCO_3$ на 1 га) умножают величину гидролитической кислотности (*Hг*), выраженную в миллиэквивалентах на 100 г почвы, на коэффициент 1,5. Норма $CaCO_3 = Hг \cdot 1{,}5$. Указанная формула получается в результате следующих расчетов. Для нейтрализации 1 м.-экв. кислотности (ионов H^+) на 100 г почвы требуется 1 м.-экв., или 50 мг $CaCO_3$, а на 1 кг — 500 мг $CaCO_3$; умножив эту величину на массу пахотного слоя одного гектара почвы (3 000 000 кг) и разделив на 1 000 000 000 (для пересчета миллиграммов в тонны), получим:

$$\text{норма } CaCO_3 = \frac{H \cdot 500 \cdot 3\,000\,000}{1\,000\,000\,000} = Hг \cdot 1{,}5.$$

Исследования показали, что довести реакцию почвы до слабокислой можно, устранив $^2/_3$ величины гидролитической кислотности. Поэтому нередко вносят известь в количестве $^2/_3$ нормы, рассчитанной по полной гидролитической кислотности. Тогда норма $CaCO_3$ численно равна гидролитической кислотности. Если для известкования применяют известковые удобрения, содержащие не $CaCO_3$, а $MgCO_3$ или CaO и $Ca(OH)_2$, то вычисленную норму извести умножают на коэффициент 0,84 для $MgCO_3$, 0,74 для $Ca(OH)_2$ и 0,56 для CaO.

При использовании известковых материалов, в которые входит значительное количество примесей и крупных частиц (более 1 мм), делают соответствующую поправку по формуле:

$$\frac{\text{норма } CaCO_3 \text{ по кислотности почвы} \cdot 100 \cdot 100}{\%\ CaCO_3 \text{ в удобрении} \cdot (100 - \%\ \text{частиц более 1 мм})}.$$

Например, норма $CaCO_3$, найденная по кислотности почвы, равна 4 т на 1 га; для известкования используется известковое удобрение, содержащее 80% $CaCO_3$ (или всех нейтрализующих кислотность веществ в расчете на чистый $CaCO_3$) и 25% частиц крупнее 1 мм. Норма извести в физических единицах равна:

$$\frac{4 \cdot 100 \cdot 100}{8\,(100 - 25)} = 6{,}6 \text{ т на 1 га.}$$

Теоретически норма извести, определенная по гидролитической кислотности, должна довести реакцию почвы до pH 8,2, однако в полевых условиях из-за недостаточного перемешивания и медленного взаимодействия извести с почвой реакция повышается до слабокислой или близкой к нейтральной (pH 5,5...6,5), благоприятной для большинства культур.

При установлении нормы извести в конкретных условиях учитывают, кроме величины кислотности, особенности культур севооборота и механический состав почвы. Полная норма, рассчитанная по гидролитической кислотности, не для всех растений и не на всех почвах является оптимальной.

Оптимальной является такая норма извести, которая сохраняет устойчивое и длительное действие на урожай культур и обеспечивает получение высокого экономического эффекта. Оптимальная норма может соответствовать гидролитической кислотности или составлять часть ее. На средне- и тяжелосуглинистых дерново-подзолистых почвах для ржи, озимой и яровой пшеницы, ячменя, овса, кукурузы, сахарной, кормовой и столовой свеклы, клевера, люцерны, зерновых бобовых, капусты, лука она равна полной норме, рассчитанной по гидролитической кислотности. На малобуферных легких почвах норму извести необходимо снижать на 25...30% по сравнению с полной. Оптимальная норма для льна, подсолнечника, томатов, картофеля, люпина, сераделлы $^1/_2 \ldots {}^2/_3$ полной нормы.

Нормы извести можно также определить по величине pH солевой вытяжки из почвы с учетом механического состава почвы. Всесоюзный институт удобрений и агропочвоведения рекомендует для дерно-

59. Нормы извести в зависимости от pH и механического состава почвы

Почвы	pH солевой вытяжки					
	4,5 и меньше	4,6	4,8	5,0	5,2	5,2...5,4
	норма $CaCO_3$ (в т на 1 га)					
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

во-подзолистых почв, содержащих не более 3% органического вещества, следующие нормы извести (табл. 59).

Определение норм извести по величине pH с учетом механического состава почвы основывается на том, что сопротивляемость почв сдвигу реакции при внесении извести в определенной мере связана с их механическим составом: чем тяжелее почва, тем больше требуется извести для изменения ее реакции. Однако этому методу присущи и некоторые существенные недостатки. Величина pH не является прямой мерой количества кислотности, а следовательно, и показателем, необходимым для нейтрализации ее известью. Кроме того, сопротивляемость почв сдвигу реакции при внесении извести зависит не только от механического, но и от минералогического состава илистой фракции и содержания в почве органического вещества. Поэтому нормы извести, определенные по величине pH и механическому составу, не на всех почвах обеспечивают необходимый сдвиг реакции.

Норму извести, необходимую для доведения реакции до оптимальной, можно установить и по буферности почвы. В этом случае к определенным навескам почвы добавляют возрастающие количества щелочи и определяют после установления равновесного состояния достигнутую величину pH. Результаты изображают графически в виде кривой титрования, по которой легко установить количество извести, необходимое для доведения pH почвы до заданной величины. Однако методы определения буферности почвы весьма трудоемки и длительны и поэтому малопригодны для массового использования.

Способы внесения извести

Полные нормы извести вносят в почву сразу или в несколько приемов. При внесении нормы за один прием достигается более быстрая и полная нейтрализация кислотности всего пахотного слоя почвы на длительный срок и обеспечивается получение более высоких прибавок урожая большинства сельскохозяйственных культур. Внесение полной нормы извести особенно важно при возделывании на сильнокислых почвах культур, чувствительных к кислотности, а также при углублении пахотного слоя слабоокультуренных дерново-подзолистых почв.

Если хозяйство не может внести на всю площадь кислых почв сразу полную норму извести, то можно использовать половинную норму, с тем чтобы провести известкование на вдвое большей площади. В этом случае прибавка урожая с гектара получится на 20...30% меньше (а при внесении высоких норм минеральных удобрений почти на 50% меньше), однако общая прибавка со всей площади, на которую внесена известь, в первые годы будет больше, чем от применения полной нормы, но на площади, в два раза меньшей.

В первые годы после внесения разница в эффективности полной и половинной норм извести сравнительно небольшая. Во вторую ротацию севооборота прибавки урожая от половинной нормы становятся почти в два раза меньшими, чем от полной нормы (табл. 60).

60. Эффективность разных норм извести на кислой (pH_{KCl} 4,0) тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве

Норма извести	Урожай в пересчете на зерно (в ц с 1 га)			
	за первую ротацию		за вторую ротацию	
	суммарный	прибавка от извести	суммарный	прибавка от извести
Фон (NPK)	84,4	—	154,0	—
Фон + известь по 1 г. к. (7,2 т на 1 га)	115,6	31,2	205,9	51,9
Фон + известь по $^1/_2$ г. к. (3,6 т на 1 га)	106,5	22,1	180,7	26,7

Полная норма оказывает устойчивое положительное действие на урожай на средне- и тяжелосуглинистых почвах в течение 12...15 лет, а на почвах легкого механического состава — 8...10 лет. В первом случае повторное известкование при внесении полной нормы проводят через две ротации 7...8-польного севооборота, а во втором — через одну ротацию.

Положительное действие половинной нормы менее продолжительно, чем полной, поэтому вторую половину нормы на той же площади повторно вносят через 6...7 лет. При систематическом внесении высоких норм минеральных удобрений, особенно физиологически кислых, значительно увеличиваются потери кальция и магния и происходит более быстрое подкисление ранее произвесткованных почв. В этом случае повторное известкование необходимо проводить через более короткие сроки, чтобы обеспечить среднегодовое поступление извести не менее 5...6 ц на 1 га.

Периодичность и эффективность повторного внесения извести зависят от ее нормы при первичном известковании и обеспеченности хозяйства минеральными удобрениями. При известковании половинными нормами и интенсивном применении минеральных удобрений периодичность известкования учащается, а эффективность повторного внесения извести достаточно высокая. Необходимость повторного известкования определяют агрохимическим анализом почвы (определение степени ее кислотности) и расчетом баланса кальция по результатам лизиметрических опытов.

Полную и половинные нормы извести заделывают осенью под вспашку зяби или весной под ее перепашку. Меньшие дозы извести — $^1/_4$...$^1/_5$ полной нормы (0,5...1 т на 1 га) — недостаточны для снижения кислотности всего пахотного слоя почвы, поэтому вносят их в рядки при посеве и в лунки при высадке рассады, с тем чтобы снизить кислотность прикорневой зоны почвы. Малые дозы извести создают благоприятные условия для роста и повышают урожай только той культуры, под которую их вносят. При первой же перепашке известь перемешивается со всем пахотным слоем, кислотность его почти не снижается и действие удобрения на последующие культуры

резко падает или вовсе не проявляется. Поэтому малые дозы извести необходимо вносить 4...5 раз за ротацию севооборота под культуры, чувствительные к кислотности. В этом случае решение основной задачи известкования — уменьшение повышенной почвенной кислотности — отодвигается на слишком длительное время, а работа по известкованию становится более трудоемкой.

Внесение извести малыми дозами может быть целесообразно лишь в качестве дополнительной меры для повышения урожаев культур, чувствительных к кислотности: клевера, озимой пшеницы, свеклы, кукурузы и др.

Например, можно сочетать внесение в севооборотах со льном и картофелем половинной нормы извести под плуг с местным внесением ее в рядки при посеве под культуры, весьма чувствительные к кислой реакции.

Известь применяют также для нейтрализации потенциальной кислотности минеральных удобрений. При этом предотвращается дальнейшее подкисление почвы и повышается эффективность удобрений. Для нейтрализации кислотности 1 ц сульфата аммония требуется 1,3 ц $CaCO_3$, 1 ц аммиачной селитры — 1 ц $CaCO_3$ и 1 ц суперфосфата — 0,1 ц $CaCO_3$.

Применение известковых удобрений в севообороте

Эффективность известкования в сильной степени зависит от равномерного рассева известковых удобрений и тщательного перемешивания их с почвой. Наиболее равномерное распределение извести по поверхности поля достигается при механизированном рассеве ее разбросными известковыми сеялками и известеразбрасывателями. Пылевидные известковые удобрения, цементную пыль и сланцевую золу вносят цементовозами или другими машинами этого типа. Лучше перемешивается известь с почвой при внесении ее в чистом пару или под пропашные и овощные культуры под основную зяблевую вспашку. В этом случае при последующей весенней обработке почвы и летних рыхлениях междурядий она хорошо перемешивается со всем пахотным слоем.

Работы по известкованию почв в летний период затрудняются из-за отсутствия площадей, не занятых посевами, вследствие чего промежуток времени для известкования крайне сужается (до посева яровых — конец апреля — май и после уборки — сентябрь и октябрь). В связи с этим в последнее время практикуется зимнее известкование. В виде исключения возможно внесение извести по мерзлой земле, мелкому или тающему снегу (ноябрь, декабрь и март — начало апреля) с последующей заделкой под весеннюю вспашку. Чтобы избежать потери извести от сдувания ветром с поверхности снежного покрова и смыва ее со склонов током воды при таянии снега, зимнее известкование необходимо проводить на выровненной площади с уклоном не более 5°, в безветренную или слабоветренную погоду (при скорости ветра до 4...5 м/с) и заделывать известь в снежный покров. При зимнем внесе-

нии особенно важно использовать известь с влажностью не более 8% (чтобы избежать смерзания ее в глыбы). Как показывают опыты, зимнее известкование при правильном проведении по эффективности практически равноценно известкованию в обычные сроки. Кроме того, при этом обеспечивается более равномерная загрузка техники.

В севооборотах с овощными и кормовыми культурами применяют все виды известковых удобрений; лучше вносить их в полной норме за один прием. В овощных севооборотах известь вносят под капусту или корнеплоды. В севооборотах с зерновыми и кормовыми культурами в первую очередь известкуют поля, отводимые под наиболее чувствительные к кислотности растения: клевер, корнеплоды, пшеницу, зерновые бобовые.

Лен и картофель отрицательно реагируют на известкование высокими нормами $CaCO_3$, особенно на слабоокультуренных и легких по механическому составу, малоудобряемых почвах. Отрицательное действие высоких норм извести на лен и картофель наблюдается особенно тогда, когда они идут через несколько лет после известкования. Чтобы избежать этого, в севооборотах со льном и картофелем нормы извести на средне- и тяжелосуглинистых почвах рекомендовалось уменьшать на $^1/_4$...$^1/_3$, а на легких песчаных и супесчаных почвах — в два раза. Однако при внесении пониженных норм извести кислотность почвы существенно не уменьшается, происходит недобор урожая других культур севооборота и снижение эффективности минеральных удобрений.

Если лен и картофель размещаются не позднее чем на 3...4-й год после известкования, можно снижать норму извести на легких почвах только на 25%, а на средних и тяжелых проводить известкование полной нормой. В этом случае не наблюдается отрицательного действия извести на лен и картофель [illegible] обеспечивается получение более высоких урожаев [illegible] и других культур, чувствительных к ки[illegible]

При внесении более высоких [illegible]о использовать известковые удобрения, содер[illegible]ли сланцевую золу и металлургические шлаки. Пр[illegible]вестковых материалов, даже в неполной норме, п[illegible]ает на величину и качество урожая льна и картофе[illegible]

При внесении полной нормы углек[illegible] необходимо сочетать известкование с применением в[illegible] навоза и минеральных удобрений, а непосредственно под [illegible] картофель вносить борные удобрения.

Особенно важно внесение повышенных норм калийных удобрений. При достаточном внесении органических и минеральных удобрений с повышенной нормой калия известкование полными нормами $CaCO_3$ можно проводить и в севооборотах со льном и картофелем. В специализированных картофелеводческих хозяйствах (товарного или семеноводческого направления) легкие песчаные и супесчаные средне- или слабокислые почвы, а также суглинистые почвы со слабокислой реакцией (pH 5 и выше) не известкуют.

В севооборотах с однолетним люпином или сераделлой на зеленое удобрение известь вносят при запашке этих растений.

На естественных сенокосах и пастбищах известковые удобрения вносят поверхностно с заделкой бороной поздней осенью или ранней весной в норме по $^1/_2$...$^3/_4$ гидролитической кислотности. При коренном улучшении лугов применяют полную норму извести под вспашку. Под влиянием извести уменьшается количество выносливых к кислотности злаковых трав и сорняков, а количество бобовых увеличивается, улучшаются рост и развитие трав, в результате сильно повышаются урожай и питательность сена или пастбищного корма.

Известкование является одним из важных и обязательных мероприятий при создании на кислых почвах культурных пастбищ.

При поверхностном внесении известь действует сравнительно медленно и снижает кислотность лишь в верхнем слое почвы. Внесенная под вспашку при коренном улучшении лугов, она действует значительно сильнее.

При закладке плодовых садов и питомников вносят полную норму извести под глубокую вспашку. Если при закладке сада известь не вносили, то полную норму ее дают в приствольные круги.

ГИПСОВАНИЕ СОЛОНЦЕВАТЫХ И СОЛОНЦОВЫХ ПОЧВ

Гипсованием называется внесение в почву гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) для химической мелиорации солонцовых почв. Эти почвы характеризуются большим содержанием натрия в поглощающем комплексе и щелочной реакцией почвенного раствора. В зависимости от содержания поглощенного натрия солонцовые почвы подразделяются на *слабосолонцеватые* — содержат 5...10% поглощенного натрия, *солонцеватые* — 10...20% поглощенного натрия и *солонцы* — более 20% поглощенного натрия. Остальная часть емкости поглощения в солонцовых почвах заполнена кальцием и магнием. Иногда содержание поглощенного натрия в солонцах достигает 80% и более от емкости их поглощения, т. е. он становится почти единственным поглощенным катионом. Количество водорастворимых солей в солонцах обычно невысокое — не превышает 0,25% массы почвы. Неблагоприятные физические, физико-химические и биологические свойства и низкое плодородие солонцовых почв обусловливаются главным образом большим содержанием в них поглощенного натрия.

Минеральные и органические коллоиды почвы при насыщении натрием (в отсутствие водорастворимых солей) легко пептизируются, частично переходят в золь, поэтому почвенные агрегаты распыляются, пептизированные коллоиды вымываются из верхних слоев почвы в нижние, образуя плотный солонцовый горизонт. Солонцы подразделяются на мелкие, или *корковые*, у которых солонцовый горизонт залегает на глубине не более 7 см, *среднестолбчатые* — на глубине 7...15 см и *глубокостолбчатые* — на глубине более 15 см. Солонцовые почвы характеризуются большой связностью, распыленностью, неблагоприятным водным и воздушным режимом. Во влажном состоянии солонцовый горизонт сильно набухает, становится трудноводопроницаемым, вязким и мажущимся, а в сухом состоянии превращается в плотную твердую массу, не поддающуюся обработке. Солонцовый горизонт

препятствует проникновению вглубь корневой системы растений. В результате обменной реакции между поглощенным натрием и бикарбонатом кальция или угольной кислотой в почвенном растворе солонцовых почв образуются углекислые соли натрия ($NaHCO_3$ и Na_2CO_3), которые, будучи гидролитически щелочными, создают повышенную щелочность раствора (pH 9 и выше):

$$(\text{ППК})\ \begin{matrix}\text{Na}\\\text{Na}\end{matrix} + Ca(HCO_3)_2 \rightleftarrows (\text{ППК})\ Ca + 2NaHCO_3$$

$$(\text{ППК})\ \begin{matrix}\text{Na}\\\text{Na}\end{matrix} + H_2CO_3 \rightleftarrows (\text{ППК})\ \begin{matrix}\text{H}\\\text{Na}\end{matrix} + NaHCO_3$$

Образовавшуюся соду невозможно удалить из солонцовых почв промыванием, так как, пока присутствует поглощенный натрий, она снова образуется в результате взаимодействия с бикарбонатом кальция или угольной кислотой, всегда находящейся в почвенном растворе. Избыточная щелочная реакция раствора неблагоприятна для большинства культурных растений и почвенных микроорганизмов. При щелочной реакции нарушается обмен веществ в растениях, уменьшаются растворимость и доступность соединений железа, марганца, бора, фосфорнокислых солей кальция и магния в почве. Урожаи сельскохозяйственных культур на солонцовых почвах низкие и плохого качества.

Солонцовые почвы распространены в полупустынной и степной зонах, больше всего их среди каштановых почв и меньше — среди черноземов (главным образом в дельтах Днепра и Дона и в Западной Сибири). Солонцы редко занимают обширные сплошные массивы, они встречаются в виде пятен разного размера (от нескольких метров до нескольких сотен метров в поперечнике) среди массивов каштановых или черноземных почв.

Значительные участки солонцовых почв встречаются в Западной Сибири, Казахстане, Закавказье. Широко распространены они в районах орошаемого земледелия.

Для коренного улучшения солонцовых почв необходимо устранить из них соду, поглощенный натрий заменить кальцием, образующийся сульфат натрия удалить промыванием, а также разрушить плотный солонцовый горизонт.

Солонцовые почвы подразделяют на две группы, различающиеся по способам мелиорации.

1. Степные солонцы преимущественно распространены в зоне каштановых и бурых почв. Характеризуются нейтральной реакцией и глубоким залеганием грунтовых вод, поэтому поступления вместе с ними солей в корнеобитаемый слой не происходит. Улучшить эти почвы можно и без внесения гипса, путем глубокой обработки для вовлечения в мелиорирующий процесс собственного кальция почвы ($CaCO_3$ или $CaSO_4$ нижележащего горизонта).

2. Луговые, содовые солонцы распространены главным образом в Черноземной зоне (Украина, Зауралье, Западная Сибирь, Казахстан). Они имеют щелочную реакцию и близкий уровень стояния грунтовых вод, поэтому подвержены вторичному осолонцеванию. Для улучшения этих почв необходимо внесение гипса в сочетании с глубокой обработ-

кой, внесение органических и минеральных удобрений, орошение и другие агротехнические приемы.

Гипсование необходимо для улучшения солонцов и солонцовых почв, содержащих более 10% поглощенного натрия от общей емкости поглощения.

Слабосолонцеватые почвы (натрия меньше 10%) улучшают агробиологическим методом — трехъярусной вспашкой с внесением больших норм навоза, посевом люцерны и других культур, которые аккумулируют кальций почвы в корнях. После их разложения кальций освобождается и вытесняет из поглощающего комплекса натрий. Особенно эффективно этот процесс идет при поливах.

Изменения, вызываемые в почве гипсом

При внесении в почву гипса в почвенном растворе устраняется сода, а поглощенный натрий вытесняется и заменяется кальцием с образованием хорошо растворимой нейтральной соли — сульфата натрия:

$$NaCO_3 + CaSO_4 = CaCO_3 + Na_2SO_4$$

$$(ППК)\begin{matrix}Na\\Na\end{matrix} + CaSO_4 = (ППК)\ Ca + Na_2SO_4$$

При образовании в растворе небольшого количества Na_2SO_4 он не оказывает вредного действия на растения. Однако при гипсовании солонцов, содержащих натрия более 20% от емкости поглощения, образуется большое количество Na_2So_4, и его необходимо удалить из почвы, используя орошение.

Внесенный в солонцовую почву гипс устраняет щелочную реакцию ее. Замена поглощенного натрия кальцием сопровождается коагуляцией почвенных коллоидов; образующийся при разложении растительных остатков деятельный перегной в присутствии кальция склеивает почвенные частицы, почва приобретает прочную комковатую структуру, улучшаются ее физические свойства, водопроницаемость и аэрация, облегчается обработка.

Устраняя щелочность и улучшая физические свойства почвы, гипсование создает благоприятные условия для развития и деятельности почвенных микроорганизмов.

Таким образом, под влиянием гипсования повышается плодородие солонцеватых почв, они становятся пригодными для возделывания даже требовательных культур.

Эффективность гипсования

По данным большого количества опытов, средняя прибавка урожая от внесения гипса в Черноземной зоне без орошения составляет 3...6 ц, а в зоне каштановых почв — 2...7 ц зерна на 1 га. Вследствие медленного взаимодействия гипса с почвой положительное действие его проявляется постепенно и в первые годы после внесения постепенно возрастает. Без орошения полный эффект от гипсования

61. **Урожай сена люцерны** (в ц с 1 га) (полевой опыт Волгоградской опытной станции)

Норма гипса на 1 га	Вспашка на глубину	
	20 см	30 см
Без гипса	11,0	12,1
Гипс 3 т	13,7	17,9
» 5 т	13,7	31,0
» 7 т	22,6	32,0

проявляется через 4...5 лет. Важное условие быстрой мелиорации солонцов под влиянием гипса — достаточная влажность почвы. В сухой почве растворение гипса, замещение кальцием поглощенного натрия и удаление последнего из верхнего слоя почвы не происходит или совершается очень медленно. Поэтому в условиях неполивного земледелия для повышения эффективности гипсования его сочетают с глубокой вспашкой, снегозадержанием и другими агротехническими приемами, способствующими удалению натрия из корнеобитаемого слоя почвы. Свойства солонцовых почв при внесении гипса изменяются значительно быстрее и полнее при орошении, а следовательно, и эффективность гипсования в этом случае много выше.

Чтобы избежать вторичного засоления солонцовых почв при орошении, принимают меры против просачивания воды из оросительных каналов и сочетают орошение с дренированием.

Эффективность гипсования значительно повышается при сочетании его с глубокой вспашкой (табл. 61).

Эффективность гипсования солонцов значительно повышается при внесении навоза и минеральных азотных и фосфорных удобрений (табл. 62).

Лучшая форма азотных удобрений для солонцовых почв — сульфат аммония, а из фосфорных — простой суперфосфат.

Изменения, вызываемые в почве гипсованием, сохраняются на протяжении многих лет, поэтому положительное действие его на урожай сельскохозяйственных культур проявляется в течение длительного времени.

62. **Действие на урожай яровой пшеницы гипсования в сочетании с внесением навоза и минеральных удобрений** (опыты Сибирского научно-исследовательского института сельского хозяйства)

Варианты опыта *	Среднестолбчатые солонцы		Глубокостолбчатые солонцы	
	урожай (в ц с 1 га)	прибавка урожая (в ц на 1 га)	урожай (в ц с 1 га)	прибавка урожая (в ц на 1 га)
Контроль	1,0	—	9,9	—
Гипс 5 т	—	—	12,5	2,6
» 10 т	9,3	8,3	14,5	4,6
Контроль	1,7	—	4,5	—
Гипс 5 т + $N_{60}P_{60}$	9,5	7,8	12,6	8,1
» 5 т + навоз 40 т	15,4	13,7	16,2	11,7
» 10 т + навоз 40 т	12,1	10,4	18,6	14,1

* Нормы удобрений приведены на 1 га.

Материалы, применяемые для гипсования почв

Гипс сыромолотый ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) получают размолом природных залежей гипса. Это белый или серый порошок, содержит 71...73% $CaSO_4$, в воде растворяется слабо (но лучше, чем известняк). Важное значение имеет тонина его размола. Согласно принятому стандарту, все частицы гипса должны проходить через сито с отверстиями 1 мм и не менее 70...80% через сито с отверстиями 0,25 мм. Влажность молотого гипса не должна превышать 8%, иначе он слеживается, при хранении превращается в глыбы и комки.

Фосфогипс — отход при производстве фосфорных удобрений (двойного суперфосфата и преципитата. Очень тонкий порошок серого или белого цвета, содержит 70...75% $CaSO_4$ и небольшое количество фосфора (2...3% P_2O_5), вследствие чего имеет преимущество перед природным гипсом. Гипс и фосфогипс следует хранить в сухом крытом помещении.

Глиногипс добывают из природных залежей; в естественном виде рыхлый, не требует размола, содержит от 60 до 90% $CaSO_4$ и от 1 до 11% глины.

Нормы, сроки и способы внесения гипса

Гипс вносят в почву в количестве, достаточном для замещения избытка поглощенного натрия кальцием. Норму гипса устанавливают по следующей формуле:

$$\text{норма } CaSO_4 \cdot 2H_2O \text{ (в т на 1 га)} = 0{,}086(Na - KT)\,Hd,$$

где 0,086—1 м.-экв. $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (в г); H — глубина мелиорируемого слоя (в см); d — объемная масса мелиорируемого слоя почвы; Na — общее содержание обменного натрия (в м.-экв. на 100 г почвы); T — емкость обменного поглощения мелиорируемого слоя (в м.-экв. на 100 г почвы); K — допустимое содержание обменного натрия в почве (в долях T).

При гипсовании не требуется полного вытеснения обменного натрия из почвы. Согласно исследованиям И. Н. Антипова-Каратаева, допустимое количество обменного натрия, которое не оказывает отрицательного влияния на свойства почвы, равняется 10% общей емкости поглощения (или $0{,}1T$). Разница между общим количеством обменного натрия (Na) и допустимым его содержанием ($Na - KT$) составляет количество обменного натрия, подлежащего замене на кальций. Для замещения избытка обменного натрия в 1 г почвы потребуется $\frac{0{,}086\,(Na - KT)}{100}$ граммов гипса; для вытеснения избытка натрия из слоя почвы в 1 см на площади 1 га необходимо внести гипса (в т на 1 га): $\frac{0{,}086\,(Na - KT)\,100\,000\,000}{100 \cdot 1\,000\,000}$, или (после сокращения) $0{,}086 \cdot (Na - KT)$, а для удаления избытка обменного натрия из всего мелиорируемого слоя почвы при объемной массе ее d требуется внести гипса (в т на 1 га) $0{,}086\,(Na - KT)Hd$.

Например, устанавливается норма гипса для мелиорации солонцовой почвы, имеющей T=20 м.-экв., содержание поглощенного натрия (Na) 4 м.-экв., глубину мелиорируемого слоя H=20 см, его объемную массу d=1,8. Норма $CaSO_4 \cdot 2H_2O$= =0,086(4—0,1·20)20·1,8=6,2 т на 1 га.

Если содержание поглощенного натрия в почве неизвестно, то можно применять следующие ориентировочные нормы гипса (в т на 1 га): в зоне каштановых и бурых почв на солонцеватых почвах 1...3, на средне- и глубокостолбчатых солонцах 3...5 и на корковых (хлоридно-сульфатные солонцы) 5...8; в зоне черноземных почв на средне- и глубокостолбчатых солонцах 3...4 (а при наличии соды — 5...10), на корковых содовых солонцах 8...10 и более (при незначительной щелочности 3...4); на солонцеватых почвах гипсование редко дает устойчивый эффект. Большие нормы гипса можно вносить постепенно, в течение 2...8 лет. В орошаемых районах нормы снижают на 25...30%. Солонцовые почвы встречаются пятнами среди других почв. Если они составляют менее 30% общей площади, то гипс вносят только на пятна, а если солонцы занимают более 30% площади и окружены солонцеватыми почвами, то гипсуют весь участок, но разными нормами.

Мелиорирующее действие гипса зависит от степени перемешивания его с почвой. Поэтому гипс обязательно заделывают глубокой зяблевой вспашкой, чтобы солонцовый горизонт лучше перемешать с ним и верхним надсолонцовым слоем. На мелких, корковых солонцах весь гипс вносят после вспашки и заделывают культиватором, на средне- и глубокостолбчатых солонцах, в которых солонцовый горизонт залегает на глубине 7...20 см, гипс вносят в два приема — часть нормы под плуг с предплужником, а остальное — после вспашки под культиватор. Чем больше солонцового горизонта выворачивается при вспашке на поверхность, тем больше гипса вносят после вспашки. На глубокостолбчатых солонцах, где солонцовый горизонт расположен на глубине более 20 см, всю норму гипса вносят перед вспашкой и заделывают плугом с предплужником.

Наряду с гипсованием применяют и другие способы мелиорации солонцовых почв. В некоторых солонцовых почвах под солонцовым горизонтом на глубине 30...45 см находятся слои, богатые гипсом. В таких случаях гипс подсолонцового слоя используют для самогипсования солонцов: солонцовые почвы пашут плантажным плугом на глубину 35...50 см, при этом гипсоносный слой выворачивается (полностью или частично) и перемешивается с солонцовым горизонтом. Образующийся Na_2SO_4 удаляется орошением.

Для мелиорации степных средне- и глубокостолбчатых солонцов каштановой зоны предложено использовать содержащийся в подсолонцовых горизонтах углекислый кальций. Однако $CaCO_3$ значительно хуже, чем $CaSO_4$, растворим в воде. Растворимость его и мелиорирующее действие возрастают при увеличении концентрации углекислоты в почвенном растворе в результате активизации микроорганизмов в почве и выделения CO_2 корнями растений. Углекислый кальций под влиянием углекислоты переходит в растворимый бикарбонат кальция, и кальций вытесняет поглощенный натрий из солонцовой почвы. Повышение мелиорирующего действия углекислого кальция достигается

применением комплекса агроприемов, включающего: глубокую мелиоративную обработку почвы (плантажную или ярусную вспашку на 35...40 см с одновременным углублением на 15...20 см); систему мероприятий для увеличения запасов влаги в почве (орошение, снегозадержание, лесные полосы, черные и кулисные пары); применение органических и минеральных удобрений; посев люцерны и других засухо- и солеустойчивых культур — освоителей солонцов для увеличения запасов органического вещества и активизации микробиологических процессов в почве.

Солонцовые почвы, встречающиеся небольшими пятнами в массивах черноземов, богатых кальцием, можно улучшить землеванием — перемещением на них рядом расположенной черноземной почвы. В этом случае солонцовый слой разбавляется, поглощенный натрий частично замещается кальцием привезенной черноземной почвы. По методу Н. В. Орловского, черноземную почву перевозят на солонцовые пятна многократно: каждый раз ее наносят слоем 1...1,5 см, а всего за ротацию севооборота слой составит 6...9 см.

Более быстрый способ коренной мелиорации солонцов землеванием предложен Институтом сельского хозяйства Черноземной зоны совместно с Почвенным институтом. По этому способу поверхность солонцовых пятен покрывают при помощи скрепера 15...20-сантиметровым слоем рядом расположенной богатой кальцием и гумусом черноземной почвы за один прием. С таким количеством почвы на 1 га попадает около 10 т кальция, часть его с нисходящим током почвенной влаги вовлекается в мелиоративный процесс нижележащего солонца и улучшает его.

Применение гипса в качестве удобрения

Гипс используется не только для химической мелиорации солонцовых почв, но и как удобрение, содержащее кальций и серу, на почвах, в которых нет поглощенного натрия.

Сера — необходимый элемент питания растений и имеет важное значение в их жизни. При недостатке серы ухудшаются рост и развитие растений и заметно снижается урожай. Сера поглощается растением из почвы в виде аниона SO_4^{2-}, источником которого служат различные соли серной кислоты: $CaSO_4$, $MgSO_4$, K_2SO_4, $(NH_4)_2SO_4$ и др. Растения могут усваивать серу также листьями из воздуха в виде сернистого газа (SO_2). Обычно только небольшое количество этого элемента находится в растениях в минеральной форме, преимущественно в виде $CaSO_4$, основная же часть поглощенной серы восстанавливается в тканях растения и в этой форме входит в состав различных органических соединений: белков, некоторых витаминов, ферментов, растительных масел и др. Бо́льшая часть серы в растениях входит в состав белков.

Поскольку основная часть серы в растениях входит в состав белков, то в семенах и листьях ее содержится больше, чем в стеблях и корнях. Например, у сахарной свеклы в корнях содержится серы (в процентах SO_2 на сухое вещество) около 0,2, а в ботве — до 1,0; у карто-

феля в клубнях около 0,35, а в ботве 0,55; у злаковых хлебов в соломе 0,12, а в зерне 0,3...0,45; в зерне бобовых серы 0,6... 0,85, значительно больше, чем в зерне злаковых.

Сера входит в состав аминокислот: метионина, цистина и цистеина, которые являются обязательным компонентом белковой молекулы. В цистине имеется дисульфидная (—S—S—), а в цистеине — сульфгидрильная (—SH) группа.

В растениях цистеин при окислении легко превращается в цистин, а последний при восстановлении — в цистеин. Взаимные превращения дисульфидной и сульфгидрильной групп в системе «цистин-цистеин» определяют активное участие этих аминокислот в окислительно-восстановительных процессах в клетках растений. Цистеин входит кроме того в состав трипептида глутатиона, являющегося активатором некоторых ферментов. Сера входит также в состав витаминов: тиамина (B_1) и биотина, играющих важную роль в обмене веществ у растений.

Тиамин является составной частью некоторых ферментов, катализирующих реакции декарбоксилирования органических кислот и аминокислот, а биотин принимает участие в реакциях дезаминирования и декарбоксилирования некоторых аминокислот. Поэтому сера играет важную роль в углеводном и азотном обмене в растениях.

Сера входит в состав и некоторых других специфических органических соединений: горчичных масел, которые содержатся в семенах крестоцветных (горчицы, рапса и др.); чесночных масел, образующихся в растениях семейства лилейных (в частности у лука и чеснока).

Наибольшее количество серы содержат растения семейства бобовых и крестоцветных, значительно меньше — зерновые культуры и картофель. Общий вынос серы с урожаями зерновых хлебов (20 ц с 1 га) и картофеля (200 ц с 1 га) — 7...15 кг, бобовых трав — до 20...30, корнеплодов — 30...40 и капусты — 50...80 кг.

Бо́льшая часть серы содержится в нетоварной части урожая, поэтому при рациональном использовании ее в хозяйстве значительное количество поглощенной растениями серы может быть снова возвращено в почву.

В почвах обычно содержится достаточное количество серы. Преобладающая часть ее (до 70...90%) находится в трудноусвояемой для растений органической форме, поэтому чем больше гумуса, тем больше общий запас серы в почве. Сера, содержащаяся в почвенном органическом веществе или в органических удобрениях и растительных остатках, запахиваемых в почву, становится доступной для питания растений только после их разложения и минерализации. При этом серобактерии окисляют серу до SO_4^{2-} и в почве образуются различные соли серной кислоты.

Количество доступных для питания растений минеральных соединений серы в почве обычно невелико. Некоторое количество серы, особенно в районах с развитой промышленностью, ежегодно поступает в почву из воздуха в виде сернистого газа (SO_2). При сжигании топлива на промышленных предприятиях SO_2 выбрасывается в воздух и затем с осадками попадает в почву. Кроме того, сера вносится с навозом и некоторыми минеральными удобрениями — сульфатом аммония, суль-

фатом калия, калимагнезией, а также с простым суперфосфатом, в состав которого входит более 40% гипса. Поэтому на большинстве почв сельскохозяйственные культуры обычно не испытывают недостатка серы. Однако на бедных гумусом дерново-подзолистых почвах, особенно если вносится мало навоза и содержащих серу минеральных удобрений, внесение этого элемента под бобовые, травы и другие культуры способствует повышению урожая.

Потребность растений в сере и необходимость дополнительного внесения в почву этого элемента будут увеличиваться с расширением производства и применения концентрированных минеральных удобрений, не содержащих серы, а также по мере общего увеличения количества применяемых минеральных удобрений и повышения в связи с этим выноса серы урожаем сельскохозяйственных культур.

Гипс, как удобрение, содержащее кальций и серу, применяют главным образом под бобовые травы (клевер и люцерну). Положительное действие гипса на эти культуры объясняется не только улучшением снабжения их кальцием и серой, но также увеличением доступности растениям калия почвы в результате его вытеснения из поглощенного состояния кальцием удобрения. Кроме того, при внесении гипса увеличивается концентрация кальция в почвенном растворе, поэтому клевер и люцерна лучше переносят кислую реакцию.

Под клевер и люцерну гипс вносят поверхностно с осени (в засушливых районах) или весной по отрастающим травам. Норму гипса берут сравнительно небольшую — от 3 до 5 ц на 1 га. Наиболее сильное действие его на урожай бобовых наблюдается на дерново-подзолистых глинистых и суглинистых почвах. На супесчаных дерново-подзолистых, серых лесных почвах и на черноземах прибавки урожая от внесения этого удобрения меньше. По данным полевых опытов, средняя прибавка урожая клеверного сена от внесения гипса на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах составляла 16,2 ц, на средних и легких суглинках — 11,1, на супесчаных — 7,2, на серых лесных землях и выщелоченных черноземах — 6,5 ц на 1 га. При внесении высоких норм простого суперфосфата эффект от применения гипса на клевере и люцерне снижается.

АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Все удобрения подразделяют по химическому составу на органические и минеральные, а в зависимости от происхождения и места получения различают промышленные (азотные, фосфорные, калийные, сложные и микроудобрения) и местные (навоз, торф, зола и др.) удобрения.

Минеральные удобрения содержат питательные вещества, как правило, в виде различных минеральных солей. В зависимости от того, какие в них находятся питательные вещества и сколько их, удобрения подразделяют на две группы. К простым, или односторонним, удобрениям относят азотные, фосфорные, калийные и отдельные микроудобрения (борные, молибденовые и др.). Комплексные, или многосторонние, удобрения содержат одновременно два или несколько основных питательных веществ.

РОЛЬ АЗОТА В ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ

Азот — один из основных элементов, необходимых для растений. Он входит в состав всех простых и сложных белков, которые являются главной составной частью цитоплазмы растительных клеток, и в состав нуклеиновых кислот (рибонуклеиновая — РНК и дезоксирибонуклеиновая — ДНК), играющих исключительно важную роль в обмене веществ в организме. Азот содержится в хлорофилле, фосфатидах, алкалоидах, ферментах и во многих других органических веществах растительных клеток.

Главным источником азота для питания растений служат соли азотной кислоты и соли аммония.

Поступившие в растения минеральные формы азота проходят сложный цикл превращений, конечным этапом которых является включение их в состав белковых молекул. Белки синтезируются из аминокислот, которые, в свою очередь, образуются при взаимодействии аммиака с кетогруппой соответствующих органических кислот (*аминирование*).

Непосредственному аминированию с помощью ферментов подвергаются кетокарбоновые кислоты — пировиноградная, щавелевоуксусная, α-кетоглутаровая и др., образующиеся в растении при распаде углеводов, в процессе анаэробного дыхания или на первой фазе аэробного дыхания. Прямое аминирование кетокислот аммиаком — основной путь синтеза аминокислот в растениях.

Следовательно, для синтеза аминокислот необходима восстановленная форма азота. Нитраты и нитриты неспособны вступать в реакцию с кетогруппами органических карбоновых кислот, и для образования соответствующих аминокислот они предварительно восстанавливаются в тканях растений до аммиака. Если растения содержат достаточное количество углеводов, то нитраты восстанавливаются до аммиака еще в корнях. Процесс ферментативного восстановления нитратов, происходящий в растениях благодаря окислению углеводов, идет через ряд промежуточных соединений и катализируется несколькими ферментами:

$$\underset{\text{нитрат}}{HNO_3} \longrightarrow \underset{\text{нитрит}}{HNO_2} \longrightarrow \underset{\text{гипонитрит}}{(HNO)_2} \longrightarrow \underset{\text{гидроксиламин}}{NH_2OH} \longrightarrow \underset{\text{аммиак}}{NH_3}$$

На первой стадии процесса нитраты под действием фермента нитратредуктазы восстанавливаются до нитритов:

$$HNO_3 + H_2 \longrightarrow HNO_2 + H_2O$$

Далее при помощи фермента нитритредуктазы нитрит восстанавливается до гипонитрита:

$$2HNO_2 + 2H_2 \longrightarrow H_2N_2O_2 + 2H_2O$$

Затем под действием фермента гипонитритредуктазы присоединяются еще два атома водорода и образуется гипроксиламин:

$$H_2N_2O_2 + 2H_2 \longrightarrow 2NH_2OH$$

Последующее восстановление гидроксиламина при участии фермента гидроксиламинредуктазы приводит к образованию аммиака:

$$NH_2OH + H_2 \longrightarrow NH_3 + H_2O$$

Ферменты, под влиянием которых нитраты восстанавливаются до аммиака, представляют собой металлофлавопротеиды. Для фермента, участвующего в восстановлении нитратов до нитритов, необходим молибден; для превращения нитрита в гипонитрит и гипонитрита в гидроксиламин — медь, железо и магний, а для перехода последнего в аммиак — марганец и магний. Из всех названных элементов особое значение для усиления процессов восстановления нитратов придается молибдену.

Нитратный азот способен накапливаться в растениях, не причиняя им вреда, в значительных количествах. Однако содержание нитратов в кормах, овощах и других растительных продуктах выше определенного предела оказывает вредное действие на организм животных и человека, потребляющих такие продукты.

Аммиак в свободном виде содержится в высших растениях обычно в незначительных количествах; чрезмерное накопление его, особенно при недостатке углеводов, ведет к отравлению растения.

При достаточном количестве углеводов аммиачный азот, поступивший в растения из почвы и образовавшийся при восстановлении нитратов, присоединяется к органическим кетокислотам (щавелевоуксусной, кетоглутаровой и фумаровой), образуя первичные аминокислоты — аспарагиновую и глутаминовую.

Реакция построения этих аминокислот протекает в две фазы. На первой фазе из аммиака и кетокислоты образуются иминокислота и вода, на второй иминокислота восстанавливается до аминокислоты. Так, щавелевоуксусная кислота, присоединяя аммиак и отщепляя воду, образует иминощавелевоуксусную кислоту, а последняя восстанавливается до аспарагиновой кислоты:

$$\underset{\text{щавелевоуксусная кислота}}{COOH\cdot CO\cdot CH_2\cdot COOH} \xrightarrow[-H_2O]{+NH_3} \underset{\text{иминощавелевоуксусная кислота}}{COOH\cdot C{=}NH\cdot CH_2\cdot COOH} + 2H \longrightarrow \underset{\text{аспарагиновая кислота}}{COOH\cdot CHNH_2\cdot CH_2\cdot COOH}$$

Подобным же образом из кетоглутаровой кислоты и аммиака образуется глутаминовая кислота:

$$\underset{\text{кетоглутаровая кислота}}{COOH\cdot CO\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot COOH} \xrightarrow[-H_2O]{+NH_3} \underset{\text{иминоглутаровая кислота}}{COOH\cdot C{=}NH\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot COOH} + 2H \longrightarrow \underset{\text{глутаминовая кислота}}{COOH\cdot CHNH_2\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot COOH}$$

Аспарагиновая кислота может образоваться также прямым присоединением аммиака к фумаровой кислоте:

$$\underset{\text{фумаровая кислота}}{COOH\cdot CH{=}CH\cdot COOH} \xrightleftharpoons[\text{аспартаза}]{+NH_3} \underset{\text{аспарагиновая кислота}}{COOH\cdot CH_2\cdot CHNH_2\cdot COOH}$$

Реакция образования аминокислот прямым аминированием кетокислот играет большую роль в метаболизме растительного организма. Она указывает на связь углеводного и белкового обменов. Аспарагиновая и глутаминовая аминокислоты способны передавать свои аминные группы другим кетокислотам путем реакций ферментативного переаминирования. Процесс переаминирования состоит в переносе аминогруппы аминокислоты (донатор) на кетокислоту (акцептор). Например, пировиноградная кислота, присоединяя аминную группу от аспарагиновой или глутаминовой кислоты, дает аланин. Глутаминовая и щавелевоуксусная кислоты в реакции переаминирования образуют аспарагиновую и α-кетоглутаровую кислоты, а аспарагиновая и α-кетоглутаровая — глутаминовую и щавелевоуксусную кислоты.

1. $\underset{\text{аспарагиновая кислота}}{COOH\cdot CH_2\cdot CHNH_2\cdot COOH} + \underset{\text{пировиноградная кислота}}{CH_3\cdot CO\cdot COOH} \xrightarrow{\text{аминотрансфераза}} \underset{\text{аланин}}{CH_3\cdot CHNH_2\cdot COOH} + \underset{\text{щавелевоуксусная кислота}}{COOH\cdot CH_2\cdot CO\cdot COOH}$

2. $\underset{\text{глутаминовая кислота}}{COOH\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot CHNH_2\cdot COOH} + \underset{\text{пировиноградная кислота}}{CH_3CO\cdot COOH} \xrightleftharpoons{\text{аминотрансфераза}} \underset{\text{аланин}}{CH_3\cdot CHNH_2\cdot COOH} + \underset{\text{α-кетоглутаровая кислота}}{COOH\cdot CH_2CH_2\cdot CO\cdot COOH}$

3. $\underset{\text{глутаминовая кислота}}{COOH\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot CHNH_2} + \underset{\text{щавелевоуксусная кислота}}{COOH} + COOH\cdot CO\cdot CH_2\cdot COOH \xrightleftharpoons{\text{аминотрансфераза}} \underset{\text{α-кетоглутаровая кислота}}{COOH\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot CO\cdot COOH} + \underset{\text{аспарагиновая кислота}}{COOH\cdot CHNH_2\cdot CH_2\cdot COOH}$

Реакцию переаминирования открыли в 1937 г. советские ученые А. Е. Браунштейн и М. Г. Крицман. Путем переноса аминогрупп аминокислот на кетокислоты может синтезироваться значительное число аминокислот, входящих в состав белка. В растениях наиболее легко подвергаются переаминированию глутаминовая и аспарагиновая кислоты, что указывает на большую роль этих соединений в процессах обмена веществ. Кроме того, источником аминогрупп для переаминирования с кетокислотами могут служить γ-аминомасляная кислота и амиды аспарагиновой и глутаминовой кислот — аспарагин и глутамин. Переаминирование имеет большое значение для синтеза белков, а также для *дезаминирования* аминокислот. Дезаминирование — отщепление аминогруппы от аминокислоты, в результате образуются аммиак и кетокислота. Кетокислота используется растением для переработки в углеводы, жиры и другие вещества; аммиак же снова вступает в реакцию прямого аминирования кетокислот с образованием соответствующих аминокислот. Кроме того, аспарагиновая и глутаминовая кислоты способны связать еще по одной молекуле аммиака, давая таким образом амиды аминодикарбоновых кислот (аспарагин и глутамин):

$$\underset{\text{аспарагиновая кислота}}{COOH \cdot CH_2 \cdot CHNH_2 \cdot COOH} + NH_3 - H_2O = \underset{\text{амид аспарагиновой кислоты (аспарагин)}}{CONH_2 \cdot CH_2 \cdot CHNH_2 \cdot COOH}$$

Точно так же образуется в растениях амид глутаминовой кислоты (глутамин). Аспарагин и глутамин могут накапливаться в значительных количествах в тканях, не оказывая вреда растениям.

Физиологическая роль названных амидов выяснена классическими работами Д. Н. Прянишникова. Установлено, что в результате образования аспарагина и глутамина происходит обезвреживание аммиака, накапливающегося в тканях высших растений при дезаминировании аминокислот или обильном аммиачном питании при недостатке у растений углеводов.

В некоторых растениях (хвощ, щавель, осоки) вследствие накопления больших количеств органических кислот аммиак обезвреживается не путем образования амидов, а в результате образования аммонийных солей соответствующих органических кислот:

$$\underset{\text{щавелевая кислота}}{\begin{matrix} COOH \\ | \\ COOH \end{matrix}} + NH_3 \longrightarrow \underset{\text{щавелевокислый аммоний}}{\begin{matrix} COONH_4 \\ | \\ COOH \end{matrix}}$$

Аспарагин и глутамин имеют также большое значение для осуществления реакции ферментативного переаминирования. В процессе переаминирования участвуют не только аспарагиновая и глутаминовая кислоты, но также аспарагин и глутамин.

Дикарбоновые аминокислоты в значительных количествах входят в состав растительных белков, поэтому превращения этих аминокислот и их амидов играют существенную роль в азотном обмене у растений.

Для синтеза белков из аминокислот необходима химическая энергия, получаемая в процессе дыхания растений и аккумулируемая в виде

макроэргических связей аденозинтрифосфата (АТФ). В синтезе белков большую роль играют нуклеиновые кислоты. Они являются как бы матрицей (каркасом), на которой фиксируются в определенной последовательности аминокислоты, вступая в пептидные связи и образуя бесконечное разнообразие белковых молекул.

Наряду с синтезом белков в растении идет и распад их на аминокислоты с отщеплением аммиака. Гидролиз белков катализируется ферментами — протеазами. В молодых растущих органах и в молодых растениях синтез белков превышает распад, а в старых преобладают процессы распада белков. По данным опытов с изотопом азота ^{15}N, в молодых растениях белковый азот обновляется значительно быстрее, чем в старых. Выделяющийся при распаде белков аммиак не накапливается в тканях растений, а используется для образования дикарбоновых аминокислот и их амидов (аспарагина и глутамина). Аминокислоты служат исходным материалом для биосинтеза белков и множества других азотных соединений.

Весь сложный цикл синтеза органических азотистых веществ в растениях начинается, как показано, с аммиака, и распад их завершается его образованием. Это послужило основанием Д. Н. Прянишникову сказать, что «аммиак есть альфа и омега в обмене азотистых веществ у растения». Поглощение растениями азота и его использование для синтеза белков и других органических азотистых веществ происходят в течение всей вегетации, но с неодинаковой интенсивностью в разные фазы роста и развития.

При прорастании семян запасные белковые вещества распадаются до аминокислот. При последующем окислении их в деятельных органах проростков азот отщепляется в форме аммиака, который идет на образование аминокислот (аспарагиновой и глутаминовой) и амидов (аспарагина и глутамина) и в конечном счете используется для синтеза белков и других азотистых соединений во вновь образующихся органах растения. В дальнейшем по мере образования корневой системы и фотосинтезирующей поверхности листьев синтез белка идет за счет азота, поглощаемого из внешней среды. В начальный период роста растения потребляют сравнительно небольшое количество азота. Однако недостаток его в этот период резко отрицательно сказывается на всем дальнейшем росте растений. Наиболее интенсивно поглощение растениями азота из почвы и его использование для синтеза аминокислот и белков происходят в период максимального роста и образования вегетативных органов — стеблей и листьев. В течение всей вегетации в молодых растущих органах преобладают процессы синтеза, а в более старых — процеесы распада белка.

В связи с неодинаковыми характером и интенсивностью азотного обмена в разных частях растения происходит перераспределение азота в растительном организме. Так, в физиологически устаревших частях, главным образом в листьях, происходят распад (гидролиз) белковых веществ и передвижение продуктов гидролиза в молодые растущие органы. В фазе формирования семян содержащиеся в листьях белковые вещества подвергаются интенсивному распаду, продукты которого, в основном аминокислоты, передвигаются в созревающие семена, где

вновь переходят в белки. Содержание азота в семенах поэтому увеличивается, а в вегетативных органах снижается.

В этот период потребление растениями азота из почвы ограничивается или вовсе прекращается. Общее содержание азота сильно варьирует в разных растениях и в различных частях одного и того же растения. В семенах содержится больше азота, чем в листьях и стеблях в конце вегетации, и основное количество его (до 90%) находится в составе белка (табл. 63).

63. Содержание азота в различных частях растений (в % на сухое вещество)

Растения	Зерно, корнеплод	Солома, ботва
Горох	3,6	1,4
Пшеница	2,5	0,6
Сахарная свекла	0,8	1,3

Растительные белки содержат в среднем около 16% азота, или $^1/_6$ от их массы. Качество зерна и другой сельскохозяйственной продукции часто оценивают по показателю «сырой белок», под которым понимается все количество азотистых соединений в растении, подавляющая доля которых в зерне приходится на белок. Содержание сырого белка рассчитывают умножением общего содержания азота на коэффициент 6,25.

В листьях и стеблях растений, а также в корнеплодах и клубнях содержание небелкового азота может быть весьма значительным. Так, в листовых овощах, корнях сахарной, кормовой и столовой свеклы, клубнях картофеля небелковые соединения азота в момент достижения товарной спелости составляют до половины от общего содержания этого элемента. Из вегетативных органов азотом богаче листья, особенно молодые, меньше его в стеблях и корнях. Бобовые растения во всех органах содержат больше азота, чем злаковые.

Условия азотного питания оказывают большое влияние на рост и развитие растений. При недостатке азота рост их резко ухудшается. Особенно сильно сказывается недостаток азота на развитии листьев: они бывают мелкие, имеют светло-зеленую окраску, преждевременно желтеют, стебли становятся тонкими и слабо ветвятся. Ухудшается также формирование и развитие репродуктивных органов и налив зерна.

При нормальном азотном питании растений повышается синтез белковых веществ, усиливается и дольше сохраняется жизнедеятельность организма, ускоряется рост и несколько замедляется старение листьев. Растения образуют мощные стебли и листья, имеющие интенсивно-зеленую окраску, хорошо растут и кустятся, улучшается формирование и развитие репродуктивных органов. В результате резко повышаются урожай и содержание белка в урожае. Однако одностороннее избыточное азотное питание, особенно во второй половине вегетации, задерживает созревание растений, они образуют большую вегетативную массу, но мало зерна или клубней и корнеплодов. Повышение белковости улучшает качество урожая, но не всякое увеличение содержания азотистых веществ повышает хозяйственную ценность культуры. Например, под влиянием избыточного питания азотом к концу вегетации в корнях сахарной свеклы накапливается много небелковых

его соединений, главным образом аминокислот, в результате чего снижается выход сахара при переработке корней.

Избыточное азотное питание может приводить также к накоплению вредных для людей и животных количеств нитратов в растениях.

Качество урожая зависит и от формы азота, используемого растениями. При аммиачном питании повышается восстановительная способность растительной клетки, больше образуется восстановленных органических соединений (например, эфирных масел в перечной мяте). При нитратном питании, наоборот, преобладает окислительная способность клеточного сока, больше образуется органических кислот, в частности лимонной кислоты в махорке (В. А. Владимиров).

Исследованиями Д. Н. Прянишникова и его учеников показано, что аммиачный и нитратный азот при определенном сочетании внешних и внутренних условий могут быть равноценными источниками азота для растения. Однако при некоторых условиях лучшим источником азота может быть NH_4^+, а при других — NO_3^-.

Отношение растений к аммиачному и нитратному азоту зависит от ряда факторов: реакции среды, наличия в ней сопутствующих катионов, анионов и зольных элементов (фосфора, серы, калия, микроэлементов), от концентрации в растворе кальция, магния, аммонийных и нитратных солей, а также от обеспеченности растений углеводами. При нейтральной реакции аммиачные соли усваиваются растениями лучше, а при кислой — хуже, чем нитратные. Большое влияние на поглощение растениями аммиачного или нитратного азота оказывает концентрация сопутствующих катионов и анионов. При аммиачном питании положительное действие на урожай оказывает увеличение в питательном субстрате концентрации кальция, магния и калия, а при нитратном питании важное значение имеет достаточное обеспечение растений фосфором и молибденом. При недостатке молибдена задерживается восстановление нитратов до аммиака и происходит накопление их в тканях растения. Усвоение аммиачного азота растениями в сильной степени зависит также от внутренних условий в самих растениях, от обеспеченности их углеводами. При недостатке углеводов мало образуется и органических кислот, в частности α-кетокислот, играющих роль акцепторов для связывания аммиака. Для развития листовой поверхности растению в начале жизни необходимо усиленное питание азотом. Но избыток аммиачного азота во время прорастания семян, бедных углеводами (например, свекла), или в фазе еще плохо ассимилирующих проростков может оказать отрицательное действие. Аммиачный азот в этом случае не полностью используется растением, накапливается в тканях, вызывая «аммиачное отравление». При нитратном питании этого не происходит. Растения, особенно в молодом возрасте и имеющие мало углеводов в семенах, хуже переносят повышенное содержание в растворе аммиачных солей, чем повышенную концентрацию нитратов.

Отрицательное влияние избыточной концентрации аммиачного азота в растворе наиболее вероятно при внесении азотных удобрений в рядки при посеве. Поэтому для припосевного внесения лучше нитратная, чем аммиачная форма удобрения.

СОДЕРЖАНИЕ АЗОТА В ПОЧВАХ И ДИНАМИКА ЕГО СОЕДИНЕНИЙ

Содержание азота в земной коре по данным А. П. Виноградова, $2{,}3 \cdot 10^{-2}$ весовых процента, а общие запасы его исчисляются десятками миллиардов тонн. Основная часть азота находится в почве в виде сложных органических соединений. Кроме того, часть азота земной коры находится в виде необменнопоглощенных ионов аммония и удерживается в кристаллической решетке аллюмосиликатных минералов. В пахотном слое (0...25 см) разных почв содержание азота колеблется в широких пределах (от 0,05 до 0,5%).

Общее содержание азота в почвах зависит от содержания в них органических веществ: больше всего азота в наиболее богатых гумусом мощных черноземах, а меньше — в бедных гумусом дерново-подзолистых почвах и сероземах.

Содержание азота в почве сильно различается также в пределах одной и той же почвенной зоны. Например, почвы Нечерноземной зоны европейской части страны содержат следующие средние количества общего азота: супесчаная — 0,05. . .0,07%; суглинистая — 0,10. . . 0,20, глинистая — 0,10.. . .0,23, торфянистая — 0,6. . .1,0%. Общий запас азота в пахотном слое одного гектара колеблется в разных почвах от 1,5 т в супесчаной дерново-подзолистой почве до 15 т в мощном черноземе (табл. 64). Однако обеспеченность сельскохозяйственных растений азотом зависит не столько от валового содержания его в почве, сколько от содержания усвояемых растениями минеральных соединений. Основная масса азота в почве, содержащаяся в различных органических соединениях (94. . .95%) или в форме аммония, необменно-фиксированного глинистыми минералами (3. . .5%), недоступна или труднодоступна растениям. Только малое количество азота (около 1% от общего) содержится в легко усвояемых растениями минеральных формах (NO_3^- и обменного NH_4^+). В связи с этим нормальное обеспечение растений азотом зависит от скорости минерализации азотистых органических веществ. Разложение органических азотистых соединений в почве в общем виде может быть представлено схемой:

белки, гуминовые вещества → аминокислоты, амиды → аммиак → → нитриты → нитраты.

Распад азотистых органических веществ почвы до аммиака называется *аммонификацией*. Аммонификация осуществляется обширными

64. Содержание азота в пахотном слое различных почв

Азот общий	Почва			
	дерново-подзолистая	серая лесная	выщелоченный чернозем	мощный чернозем
В %	0,05...0,20	0,20...0,35	0,30...0,45	0,40...0,50
В т на 1 га	1,5...6,0	6...10,5	9...13,5	12...15

Продолжение

Азот общий	Почва			
	обыкновенный чернозем	каштановая	серозем	краснозем
В %	0,25...0,45	0,15...0,25	0,10...0,20	0,20...0,30
В т на 1 га	7,5...13,5	4,5...7,5	3...6	6...9

группами аэробных и анаэробных микроорганизмов: бактерий, актиномицетов и плесневых грибов.

Под воздействием протеолитических ферментов, выделяемых этими микроорганизмами, белковые вещества гидролизуются до аминокислот. Последние легко усваиваются микроорганизмами и под действием ферментов микробных клеток (дезаминаз и дезамидаз) подвергаются процессам дезаминирования и дезамидирования. В результате от амино- и амидосоединений отщепляется аммиак и образуются различные органические кислоты, которые разлагаются дальше до простейших соединений — CO_2, H_2O, H_2, CH_4. Выделяющийся аммиак образует соли с соответствующими органическими и минеральными кислотами (угольная, азотная, муравьиная, уксусная и др.), которые получаются при минерализации органического вещества почвы:

$$2NH_3 + H_2CO_3 = (NH_4)_2CO_3$$
$$NH_3 + HNO_3 = NH_4NO_3$$

Аммоний поглощается почвенными коллоидами:

$$(\text{ППК})^{Ca}_{Ca} + (NH_4)_2CO_3 = (\text{ППК})^{NH_4}_{NH_4} + CaCO_3$$

Аммонификация происходит во всех почвах при разной реакции среды, в присутствии воздуха и без него, но в анаэробных условиях при сильнокислой и щелочной реакции она сильно замедляется. На скорость аммонификации оказывают действие также температура почвы, влажность и другие факторы. В анаэробных условиях азотистые органические вещества разлагаются до аммиака. В аэробных условиях соли аммония окисляются до нитратов.

Нитрификация осуществляется группой специфических бактерий, для которых это окисление является источником энергии. Впервые этот процесс был изучен С. Н. Виноградским. Он выделил чистые культуры возбудителей и выяснил сущность нитрификации. В окислении аммиачных солей до азотистой кислоты (первая фаза) принимают участие бактерии рода Nitrosomonas, Nitrosocystis и Nitrosospira, а до азотной кислоты (вторая фаза) — бактерии рода Nitrobacter. Нитрификация может идти по следующему уравнению:

$$2NH_3 + 3O_2 = 2HNO_2 + 2H_2O \text{ (первая фаза);}$$
$$2HNO_2 + O_2 = 2HNO_3 \text{ (вторая фаза).}$$

В основе нитрификации лежит, по-видимому, дегидрирование аммиака, осуществляемое дегидразой, и соединение азота с кислородом при посредстве соответствующих оксидаз. Установлено, что нитрификация является многоэтапным процессом. Аммоний вначале окисляется до гидроксиламина, а последний через ряд промежуточных продуктов до HNO_2, которая затем окисляется до HNO_3:

$$NH_3 \xrightarrow{(+H_2O)} NH_4OH \xrightarrow{(-2H)} \underset{\text{гидрокси-ламин}}{NH_2OH} \xrightarrow{(-2H)} HNO \xrightarrow{(+H_2O)} NH(OH)_2 \xrightarrow{(-2H)} HNO_2 \longrightarrow HNO_3$$

Образовавшаяся в почве в результате нитрификации азотная кислота нейтрализуется бикарбонатом кальция или магния или поглощенными основаниями почвы:

$$2HNO_3 + Ca(HCO_3)_2 = Ca(NO_3)_2 + 2H_2CO_3$$

$$2HNO_3 + \underset{Ca}{(ППК)} = \underset{Ca}{(ППК)}\overset{H}{} + Ca(NO_3)_2$$

При хорошем доступе воздуха, влажности почвы 60. . .70% капиллярной влагоемкости, температуре 25. . .32°С и pH 6,2. . .8,2 нитрификация протекает интенсивно и основная масса аммиачного азота быстро окисляется до нитратов. По данным А. Н. Лебедянцева, при достаточных запасах в почве азотистых органических веществ благодаря нитрификации может образоваться в год до 100 мг азотной кислоты на 1 кг почвы (300 кг на 1 га).

Интенсивность минерализации органического вещества в разных почвах неодинакова. В дерново-подзолистых почвах она протекает интенсивнее, чем в черноземах, где органическое вещество разлагается слабее.

Однако нитратов в черноземных почвах образуется больше, чем в дерново-подзолистых. Черноземы богаче органическим веществом, имеют мощный перегнойный горизонт и более благоприятные по сравнению с дерново-подзолистыми почвами условия для нитрификации (больше нитрифицирующих микроорганизмов, выше температура и нейтральная или близкая к ней реакция почвы). В дерново-подзолистых почвах перегноя мало, а условия для нитрификации менее благоприятны. При кислой реакции, плохой аэрации, избыточной влажности и низкой температуре почвы процессы минерализации протекают слабо и останавливаются на стадии образования аммиака. Процесс нитрификации вследствие неблагоприятных условий для деятельности нитрифицирующих бактерий бывает подавлен. Особенно медленно развивается процесс нитрификации ранней весной, так как в это время микробиологическая деятельность ослаблена вследствие низкой температуры почвы и анаэробных условий, вызванных насыщенностью водой почвы после ее оттаивания. По мере прогревания почвы количество нитратов возрастает и достигает максимума летом, а к осени снова убывает.

На скорость окисления аммиака до нитратов влияют также обработ-

ка почвы, известкование и удобрения. Накопления нитратов в почве, занятой растениями, особенно злаками, почти не происходит из-за слабого развития процессов нитрификации (вследствие уплотнения почвы) и поглощения нитратного азота корнями растений; содержание его в пахотном слое в этом случае невелико.

Обработка почв, особенно тяжелых, усиливает нитрификацию. В таком же направлении действует и известкование кислых почв. На бедных основаниями, плохо аэрируемых кислых торфянистых почвах, а также слабоокультуренных, обедненных кальцием кислых дерново-подзолистых почвах процессы нитрификации, как правило, развиваются слабо. При внесении извести снижается кислотность почвы, повышается жизнедеятельность нитрификаторов, почва обогащается кальцием, необходимым для связывания нитратов в форму $Ca(NO_3)_2$. Роль извести еще больше возрастает, если нитрификации подвергается не только аммиак, полученный в результате минерализации органических веществ, но и внесенный в почву с удобрениями в виде сульфата аммония и аммиачной селитры. Кроме нейтрализации азотной кислоты, кальций в последнем случае нужен еще и для связывания кислотных остатков из удобрений.

Органические и минеральные удобрения обогащают почву азотом и зольными элементами и значительно усиливают процессы минерализации в ней. С органическими удобрениями вносятся органические вещества, стимулирующие жизнедеятельность микроорганизмов, и разнообразная микрофлора (например, с навозом), ускоряющая разложение органического вещества почвы. Минеральные удобрения повышают интенсивность биологических процессов в почве, так как являются источником питания микробов азотом, фосфором, калием, кальцием и другими элементами.

Однако процесс нитрификации наряду с положительным значением играет и отрицательную роль, так как нитраты не только накапливаются в почве, но вследствие своей подвижности могут и вымываться из нее, а также подвергаться денитрификации с образованием газообразных форм азота (NO, N_2O и N_2), в результате чего также происходят потери азота из почвы.

Денитрификация — процесс восстановления нитратного азота до газообразных форм (NO, N_2O, N_2), в результате чего происходят потери азота из почвы, что крайне нежелательно для сельскохозяйственного производства. Осуществляется денитрификация обширной группой бактерий, носящей общее название денитрификаторов (Bact. denitrificans, Bact. stutzeri, Bact. fluorescens, Bact. pyocyaneum и др.). Этот процесс особенно интенсивно развивается в условиях, когда в почве отсутствует воздух, почва имеет щелочную реакцию и в избытке органическое вещество, богатое клетчаткой, глюкозой или другими углеводами. Денитрифицирующие бактерии быстро окисляют углеводы до CO_2, используя для этого кислород нитратов. Процесс восстановления нитратов носит эндотермический характер, т. е. реакция протекает с затратой энергии. Восстановление нитратов до нитритов происходит при участии фермента нитратредуктазы, а дальнейшее восстановление нитритов — с помощью нитритредуктазы. Реакция восстановления

HNO_3 до N_2O и N_2 идет по таким уравнениям:

$$C_6H_{12}O_6 + 6HNO_3 \longrightarrow 6CO_2 + 9H_2O + 3N_2O\ (+2289\ кДж)$$
$$5C_6H_{12}O_6 + 24HNO_3 \longrightarrow 30CO_2 + 42H_2O + 12N_2\ (+2394\ кДж\ на\ моль\ глюкозы)$$

Процесс дыхания за счет нитратов позволяет денитрификаторам развиваться в анаэробных условиях. При содержании в 1 г почвы одного миллиона Bact. stutzeri из 1 кг ее может выделиться в сутки 0,5 мг азота.

В настоящее время установлено, что восстановление нитратов денитрифицирующими бактериями идет через ряд промежуточных этапов:

$$\underset{\text{нитрат}}{HNO_3} \longrightarrow \underset{\text{нитрит}}{HNO_2} \longrightarrow \underset{\text{гипонитрит}}{(HNO)_2} \longrightarrow \underset{\text{закись азота}}{N_2O} \longrightarrow \underset{\text{молекулярный азот}}{N_2}$$

Молекулярный азот и закись азота являются основными газообразными продуктами биологической денитрификации, вследствие улетучивания которых происходят потери азота из почвы.

Исследования показали, что денитрификация в почвах имеет широкое распространение. Она происходит не только при высокой влажности и плохой аэрации почвы, но и при обычных условиях влажности и аэрации (если в почве имеются нитраты и легкоразлагающиеся органические вещества). В почвах не бывает полного аэробиозиса, ибо даже при хорошей структуре и оптимальной влажности аэрация может быть недостаточной внутри почвенных микроагрегатов, где создаются благоприятные условия для денитрификации. Существует тесная связь между денитрификацией и нитрификацией. Интенсивное образование нитратов в аэробных почвенных микрозонах вызывает обеднение их кислородом; в результате быстрого потребления микроорганизмами кислорода и выделения CO_2 они становятся анаэробными и здесь создаются условия для денитрификации.

Помимо биологической денитрификации, газообразные потери азота из почвы обусловлены также косвенной денитрификацией, или хемоденитрификацией, т.е. восстановлением нитритов, образующихся в ходе нитрификации и биологической денитрификации, в результате ряда химических реакций.

Микроорганизмам отводится в ней косвенная роль. Их участие ограничивается разложением органического азотистого вещества до аминокислот, аммиака и азотистой кислоты. Вступая между собой в реакцию, эти соединения восстанавливают свой азот до молекулярного:

$$\underset{\text{аминокислота}}{R-NH_2} + HNO_2 = \underset{\text{оксикислота}}{R-CH_2COOH} + H_2O + \uparrow N_2$$
$$NH_3 + HNO_2 \longrightarrow NH_4NO_2 \longrightarrow N_2 + 2H_2O$$

К образованию N_2 приводит также химическое взаимодействие таких промежуточных продуктов окисления при нитрификации, как гидроксиламин и азотистая кислота:

$$3NH_2OH + HNO_2 \longrightarrow 5H_2O + 2N_2$$

Восстановление нитратов до NO, N_2O и N_2 возможно и при реакции их с почвенным органическим веществом, сохраняющим фенольный

ные и хинонные группы, и при взаимодействии с ионами некоторых тяжелых металлов (Mn^{2+}, Fe^{2+}).

Кроме того, азотистая кислота очень нестойка, при кислой реакции (pH ниже 5) она легко разлагается с образованием азотной кислоты и окиси азота (NO), а последняя может улетучиваться из почвы:

$$3HNO_2 \longrightarrow 2NO + HNO_3 + H_2O$$

В почве одновременно с минерализацией органического азотсодержащего вещества, нитрификацией и денитрификацией происходят и вторичные процессы синтеза, когда минеральные соединения азота вновь переходят в органические, неусвояемые для растений. Эти процессы иммобилизации носят биологический характер. Микроорганизмы строят белок своих тел, используя углеводы и азот. В качестве азотной пищи им необходимы в первую очередь минеральные соединения азота почвы (или внесенных в нее азотных удобрений), которые они переводят в белок плазмы микробных клеток.

В результате биологического синтеза в почве азот не теряется, как в случае вымывания нитратов или денитрификации; он лишь переходит в недоступные растениям сложные органические вещества. При отмирании и последующем разложении микроорганизмов белковый азот их тел частично снова освобождается в минеральной форме (NH_3), а часть его в процессе гумификации микробного белка включается в состав образующихся в почве гумусовых веществ и на более длительный срок переходит в неусвояемую форму. Процессы мобилизации и иммобилизации азота протекают в почве одновременно, интенсивность их, соотношение между ними в значительной степени определяют азотный режим почвы и условия азотного питания растений.

КРУГОВОРОТ АЗОТА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Общий запас азота в почве и тем более содержание в ней минеральных соединений азота постоянно изменяются в связи с расходованием азота — с одной стороны, и его пополнением — с другой.

Расходование азота из почвы происходит в результате использования его растениями и выноса с урожаями, а также вследствие непроизводительных потерь его из почвы вследствие эрозии, вымывания и денитрификации.

При водной и ветровой эрозии вместе с частицами почвы уносятся и находящиеся в ней гумусовые вещества, что приводит к обеднению почвы гумусом и общим азотом. В результате эрозии теряются преимущественно недоступные для непосредственного питания растений органические соединения азота (гумусовые вещества и др.). Уменьшение содержания в почве минеральных форм азота происходит в результате процесса их иммобилизации — превращения NH_4^+ и NO_3^- в органическую форму (в белок тел микроорганизмов). Наибольшее отрицательное значение имеют безвозвратные потери усвояемого азота из почвы вследствие вымывания нитратов и их разрушения вследствие денитрификации.

Вымывание нитратов из почвы осадками и дренажными водами — распространенное явление. Нитратный азот (NO_3^-) не образует в почве каких-либо малорастворимых солей и не поглощается отрицательно заряженными почвенными коллоидами, поэтому нитраты находятся преимущественно в почвенном растворе. Приобретая в связи с этим высокую подвижность, они легко передвигаются в почве, причем происходит как вертикальная их миграция до грунтовых вод с нисходящим током воды, так и горизонтальная — с поверхностным и внутрипочвенным стоком, особенно рано весной и осенью. Размеры вымывания нитратов зависят от погодных условий, системы обработки почвы, а также от того, занято ли поле растительностью или находится под паром. В паровом поле в увлажненных районах обнаруживаются заметные потери нитратов. Если же почва покрыта растительностью, то нитраты предохраняются от вымывания вследствие поглощения корнями и уменьшения промывания в задернелой почве. Поэтому в период вегетации вымывание нитратов из почвы обычно незначительно, оно происходит в основном весной и осенью в отсутствие растений.

В условиях орошаемого земледелия при правильной системе поливов, когда нет смыкания почвенных вод с грунтовыми, можно избежать потерь азота от вымывания. Нитраты, опустившиеся с поливной водой в глубь почвы, при последующем испарении влаги снова поднимаются в верхние слои. Существенное значение для передвижения нитратов имеет механический состав почвы. Песчаные почвы промываются сильнее и больше теряют нитратов. Более связанные суглинистые почвы, особенно богатые органическим веществом, способны лучше поглощать и удерживать воду, а следовательно, и растворенный в ней нитратный азот.

Из таких почв, занятых растениями, потери нитратов за счет вымывания обычно незначительные, не превышают 3...5 кг $N — NO_3^-$ на 1 га. Однако из почв легкого механического состава, особенно в отсутствие растений, потери азота за счет вымывания нитратов могут достигать значительных размеров (20...30 кг на 1 га и более).

Отрицательной стороной вымывания нитратов является также загрязнение ими водных источников.

В основном потери азота из почвы происходят в газообразной форме в результате денитрификации. Денитрификации подвергаются как нитраты, образующиеся в самой почве, так и азот внесенных в нее удобрений после их нитрификации.

При определенных условиях непроизводительные потери азота в результате вымывания нитратов и денитрификации могут достигать значительных размеров. Поэтому если в целинных землях в результате биологического закрепления возможно сохранение или даже накопление общего азота, то в пахотных обычно происходит его постепенное уменьшение. Связано это не только с вымыванием минеральных соединений азота и денитрификацией, но и с выносом его из почвы урожаями сельскохозяйственных растений.

В настоящее время в нашей стране вносится в почву с навозом только около 20% азота от общего выноса его урожаями всех культур. Поэтому при длительном возделывании сельскохозяйственных куль-

тур без пополнения запаса азота в почве за счет других источников общее содержание азота в ней уменьшается и снижается ее плодородие.

Чтобы избежать обеднения почвы азотом и получать высокие, устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур, необходимо постоянно заботиться о пополнении запасов его в почве. Естественным источником пополнения запасов азота в почве является азот атмосферы. Над каждым гектаром земной поверхности в воздухе имеется около 80 тыс. т азота. Однако молекулярный азот воздуха недоступен для большинства растений (кроме бобовых). В природных условиях связывание молекулярного азота воздуха и пополнение запасов азота в почве происходит двумя путями. Небольшое количество связанного азота (до 3...5 кг на 1 га ежегодно) образуется в самой атмосфере под действием грозовых разрядов и в форме аммиака и нитратов поступает в почву с осадками. Большее значение имеет связывание (фиксация) азота воздуха азотфиксирующими микроорганизмами, свободноживущими в почве, и особенно клубеньковыми бактериями, живущими в симбиозе с бобовыми растениями (биологический синтез азота). Свободноживущие азотфиксирующие микроорганизмы (анаэробные — Clostridium pasteurianum, аэробные — Azotobacter chroococeum и др.) способны при благоприятных условиях ассимилировать в год до 5...10 кг азота на 1 га. Факторами, ограничивающими жизнедеятельность микробов, например азотобактера, могут быть: недостаток в почве усвояемых органических веществ, а также фосфора и кальция, кислая реакция, низкая температура, недостаток или избыток влаги в почве.

Значительно бо́льшие количества азота из воздуха поглощают клубеньковые бактерии (Rhizobium или Bacterium radicicola), которые живут в симбиозе с бобовыми растениями. При благоприятных условиях жизнедеятельности клубеньковых бактерий бобовые при хороших урожаях за вегетационный период накапливают 100...200 кг и больше азота на 1 га. Количество его зависит от вида и урожайности бобовых растений и от свойств почвы.

Клубеньковые бактерии хорошо развиваются в почвах с нейтральной или слабокислой реакцией (pH 6,0...7,0). Известкование кислых почв усиливает размножение клубеньковых бактерий, улучшает их жизнедеятельность и активность.

Активность клубеньковых бактерий во многом зависит от содержания в почве элементов пищи. Достаточная обеспеченность почвы органическим веществом, подвижным фосфором и калием, а также микроэлементами (молибденом и бором) усиливает образование клубеньков и повышает активность бактерий. Большое количество минеральных форм азота в почве, наоборот, снижает фиксацию молекулярного азота бобовыми растениями. При обильном питании бобовых азотом клубеньки образуются с запозданием и в меньшем количестве. В этом случае значение бобовой культуры как азотсобирателя снижается.

Активность клубеньковых бактерий усиливается с ростом и развитием бобового растения и достигает максимума к периоду цветения. Степень фиксации азота в большей мере зависит от величины клубеньков, чем от возраста растений. К осени, в конце вегетации, количество

бактерий в клубеньках уменьшается, клубеньки постепенно отмирают и бактерии снова попадают в почву.

Размеры накопления азота зависят от вида бобовых растений. Так, клевер может накапливать азота 150...160 кг, люпин — 160...170, люцерна — 250...300, соя — 100, вика, фасоль, горох — 70...80 кг на 1 га. Примерно $^1/_3$ связанного бобовыми азота содержится в корневых и послеукосных остатках и после их минерализации может использоваться другими растениями, следующими в севообороте после бобовых.

В среднем на 1 т сена бобовых трав (содержащую 25...30 кг азота) в корневых и послеукосных остатках содержится и поступает в почву 10...15 кг азота. Следовательно, вклад биологического азота в азотный баланс определяется площадью, занимаемой бобовыми, и их урожаем, от которого зависит количество азота, остающегося в почве с корневыми и послеукосными остатками.

Например, если площадь, занятая бобовыми травами, составляет 10% от общей посевной площади хозяйства, а урожай сена равен 4 т с 1 га, то ежегодное поступление в почву азота на 1 га посева бобовых составит 40...60 кг, а в среднем на 1 га всей посевной площади только 4...6 кг.

Бобовые культуры занимают сравнительно небольшие площади, и посевы их в севооборотах нельзя расширять безгранично. Количество биологически связанного азота недостаточно для существенного повышения урожая всех культур, оно далеко не компенсирует выноса азота растениями и потерь его из почвы за счет вымывания и денитрификации. Поэтому прогрессивное повышение урожаев сельскохозяйственных культур возможно лишь при сочетании культуры бобовых с полным использованием навоза и с широким применением минеральных азотных удобрений, получаемых путем искусственного синтеза из азота воздуха на химических заводах.

РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Промышленное производство минеральных азотных удобрений основано на получении синтетического аммиака из молекулярного азота и водорода. Азот получают пропусканием воздуха в генератор с горящим коксом, а источником водорода являются в основном богатые метаном (CH_4) природные газы и частично отходящие газы коксовых печей (содержащие 50% H_2).

Очищенные от примесей газообразные азот и водород (один объем N_2 и три объема H_2) подвергают в компрессоре постепенному сжатию под высоким давлением и затем вводят в контактную печь. При температуре 400...500°С и высоком давлении азот и водород в присутствии катализатора вступают в реакцию с образованием газообразного аммиака, который путем охлаждения переводят в жидкий:

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$$

Синтетический аммиак используется для производства аммонийных солей и азотной кислоты путем окисления NH_3 кислородом:

$$4NH_3 + 5O_2 \longrightarrow 4NO + 6H_2O$$
$$2NO + O_2 \longrightarrow 2NO_2$$
$$2NO_2 + H_2O = HNO_3 + HNO_2$$
$$3NO_2 + H_2O = 2HNO_3 + NO$$

Азотную кислоту используют для получения нитратных и аммиачно-нитратных удобрений.

Синтетический аммиак и азотная кислота — основные продукты промышленного производства минеральных азотных удобрений.

В настоящее время выпускаются следующие азотные удобрения:

нитратные — натриевая селитра, кальциевая селитра;

аммонийные и аммиачные — сульфат аммония, углеаммиакаты, безводный аммиак, аммиачная вода;

аммиачно-нитратные — аммиачная селитра, известково-аммиачная селитра, сульфат-нитрат аммония, жидкие аммиакаты;

амидные — мочевина, цианамид кальция.

Освоение и усовершенствование промышленного синтеза аммиака из атмосферного азота, позволившие получать более дешевые азотные удобрения, а также громадное значение этих удобрений в повышении урожаев явились причиной быстрого расширения их производства и применения.

Мировое потребление азотных удобрений в пересчете на азот в 1957...58 гг. составило 7,9 млн. т, а в 1978...79 гг. достигло 51,4 млн. т, т. е. за 20 лет увеличилось почти в 7 раз. Производство азотных удобрений в последние годы увеличивалось более быстрыми темпами, чем фосфорных и калийных. Удельный вес азота в мировом производстве минеральных удобрений непрерывно возрастает. Соотношение между N, P_2O_5 и K_2O изменяется в пользу азота.

В 1978...79 гг. соотношение между N, P_2O_5 и K_2O в мировом потреблении минеральных удобрений составило 1 : 0,57 : 0,53, т. е. азотных удобрений применялось почти столько же, сколько в сумме фосфорных и калийных. Несмотря на то что мировое потребление азота достигло огромной величины (в настоящее время более 50 млн. т), в среднем на 1 га пашни и на 1 га сельскохозяйственных угодий приходится еще небольшое количество азота — соответственно 30 и 10 кг.

В нашей стране поставки сельскому хозяйству азотных удобрений в пересчете на азот составили в 1950 г. 370 тыс. т, в 1960 г.— 770 тыс. т, в 1970 г.— 4605 тыс. т и в 1975 г.— 6780 тыс. т, т. е. за 25 лет увеличились в 18 раз. К 1985 г. намечается довести поставки азотных удобрений сельскому хозяйству до 11,3 млн. т азота, применение его в среднем на 1 га пашни достигнет 48 кг. Это позволит применять азотные удобрения не только под технические культуры, но и на больших площадях под зерновые и кормовые культуры. Наряду с резким увеличением производства и применения азотных удобрений изменяется их ассортимент и улучшается качество удобрения.

В 1960 г. в ассортименте азотных удобрений приходилось на долю аммиачной селитры 73%, около 18% на сульфат аммония и 9% на остальные виды удобрений.

В последующие годы снизился удельный вес сульфата аммония и аммиачной селитры и повысилась доля мочевины и сложных удобрений. В 1980 г. основным азотным удобрением оставалась аммиачная селитра (преимущественно гранулированная), но удельный вес ее в общем производстве азотных удобрений уменьшился до 39%. В то же время значительно возрос удельный вес мочевины (до 26%), жидкого аммиака и азота в сложных удобрениях (29%). Сульфат аммония и сульфат аммония-натрия составляют всего 6%, а натриевая и кальциевая селитры — меньше 0,2% общего производства азотных удобрений. Таким образом, в ассортименте азотных удобрений все больший удельный вес занимают концентрированные формы — аммиачная селитра, мочевина и сложные удобрения, а доля низкопроцентных удобрений — сульфата аммония, кальциевой и натриевой селитр — снижается.

НИТРАТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

К группе нитратных удобрений относят соли $NaNO_3$ и $Ca(NO_3)_2$. Долгое время единственным представителем этой группы была чилийская селитра, которую добывали из естественных залежей. С открытием способа связывания атмосферного азота появилась синтетическая селитра. В настоящее время азотную кислоту для нитратных удобрений получают окислением синтетического аммиака. В ассортименте азотных удобрений, применяемых в нашей стране, нитратные удобрения имеют очень небольшой удельный вес, однако начинать рассмотрение их свойств, превращений в почве и применения представляет интерес и с точки зрения лучшего понимания особенностей других, в том числе основных азотных удобрений — аммиачной селитры и мочевины.

Натриевая селитра (нитрат натрия, азотнокислый натрий) $NaNO_3$. Содержит 15...16% азота и 26% натрия. Получают ее на заводах при производстве азотной кислоты из аммиака путем щелочной абсорбции окислов азота. Непоглощенные водой в окислительных башнях нитрозные газы NO и NO_2 пропускают через поглотительные башни, орошаемые раствором соды или NaOH. В результате химического взаимодействия образуется смесь нитрата и нитрита натрия:

$$Na_2CO_3 + 2NO_2 = NaNO_3 + NaNO_2 + CO_2$$

Для перевода нитрита в нитрат смесь подкисляют слабой азотной кислотой:

$$3NaNO_2 + 2HNO_3 = 3NaNO_3 + 2NO + H_2O$$

NO возвращают в окислительные башни для окисления в NO_2. Подкисленный азотной кислотой раствор нейтрализуют, затем выпаривают и центрифугированием отделяют осадок $NaNO_3$ от маточного раствора. Получается мелкокристаллическая соль нитрата натрия белого или сероватого цвета. Натриевая селитра хорошо растворяется в воде. Обладает заметной гигроскопичностью, при повышенной влажности перекристаллизовывается в более крупные кристаллы. В сухом

состоянии при правильном хранении сохраняет рассыпчатость и удобна для внесения в почву.

Кальциевая селитра (нитрат кальция, азотнокислый кальций) $Ca(NO_3)_2$. Содержит 13...15% азота. Получается нейтрализацией 40...48%-ной азотной кислоты мелом или известью:

$$CaCO_3 + 2HNO_3 = Ca(NO_3)_2 + H_2O + CO_2$$

Азотную кислоту для производства кальциевой селитры получают окислением аммиака.

Кальциевая селитра весьма гигроскопична. При обычной температуре легко присоединяет влагу и переходит в гидратную форму. Наиболее стабильна при обычной температуре четырехводная соль $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (14,86% азота).

Кальциевую селитру из-за высокой гигроскопичности перевозят и хранят во влагонепроницаемых мешках, пропитанных особым составом. Для уменьшения гигроскопичности кристаллическую соль кальциевой селитры смешивают с гидрофобными добавками в количестве 0,5% массы соли (например, с парафинистым мазутом). Для улучшения физических свойств продукта к его концентрированному раствору в процессе производства добавляют 4...7% аммиачной селитры. Из-за низкого содержания азота $Ca(NO_3)_2$ перевозить на значительные расстояния невыгодно.

Кальциевая селитра была первым синтетическим минеральным азотным удобрением. Производство ее в промышленных масштабах было организовано в Норвегии, поэтому удобрение получило тогда название «норвежская селитра».

Взаимодействие натриевой и кальциевой селитр с почвой. Быстро растворяясь в почвенном растворе, селитры вступают в обменные реакции с почвенным поглощающим комплексом:

$$(ППК)^{Ca}_{Ca} + 2NaNO_3 \longrightarrow (ППК)^{Na}_{Na} + Ca(NO_3)_2$$

$$(ППК)^{H}_{H} + Ca(NO_3)_2 \longrightarrow (ППК)^{Ca}_{Ca} + 2HNO_3$$

Катионы Na^+ и Ca^{2+} поглощаются почвой, а анион NO_3^- образует с вытесненным из почвенного поглощающего комплекса катионом Ca^{2+} растворимую соль $Ca(NO_3)_2$ или с ионом H^+ азотную кислоту.

Нитратный азот не подвергается физико-химическому и химическому поглощению в почвах. Нитраты сохраняют высокую подвижность в почве и на легкодренируемых почвах в условиях влажного климата или при обильном орошении могут вымываться. Это следует учитывать при выборе сроков использования нитратных удобрений. В зонах с влажным климатом лучше вносить в составе основного удобрения аммиачные, а не нитратные удобрения. Натриевую и кальциевую селитры предпочтительнее применять весной под предпосевную культивацию и в подкормки растений во время их вегетации. Натриевая и кальциевая селитры — физиологически щелочные удобрения, так как растения в большом количестве используют азот, нежели натрий и кальций. Часть натрия и кальция будет оставаться в почве

и подщелачивать ее. Вследствие этого длительное применение нитрата натрия и кальция на кислых дерново-подзолистых почвах оказывает нейтрализующее действие.

Систематическое внесение селитр, особенно на малобуферных почвах, заметно снижает их кислотность.

Подтверждением этого являются результаты многолетнего опыта на Люберецком опытном поле, проведенного на супесчаной дерново-подзолистой почве. Длительное, в течение 18 лет, применение натриевой селитры сильно снизило по сравнению с контролем и особенно с физиологически кислым сульфатом аммония обменную и гидролитическую кислотность почвы, повысило сумму поглощенных оснований в 1,7 раза, увеличило степень насыщенности почвы основаниями (на контроле — 24,7; на варианте с $NaNO_3$—42,2%).

Применение натриевой и кальциевой селитр. Селитры можно применять на разных почвах под все сельскохозяйственные культуры. Некоторые культурные растения (особенно сахарная свекла и другие корнеплоды) лучше реагируют на внесение азотных удобрений, содержащих натрий. Более высокая эффективность $NaNO_3$ под эти культуры связана с положительным действием Na на отток углеводов из листьев в корни, в результате чего значительно повышается не только урожай, но и его качество. На дерново-подзолистых почвах селитры более эффективны, чем физиологически кислые аммиачные удобрения. Но на черноземных почвах они часто теряют свое преимущество, особенно по действию на урожай зерновых культур.

Натриевую и кальциевую селитры применяют в качестве предпосевного удобрения, рядкового и в подкормки под озимые и пропашные культуры. Особого предпочтения перед другими азотными удобрениями заслуживает натриевая селитра при внесении в рядки с семенами под сахарную свеклу и другие корнеплоды. Кальциевая селитра для внесения в рядки малопригодна из-за высокой ее гигроскопичности.

На дерново-подзолистых почвах первое место по эффективности занимает кальциевая селитра. При систематическом ее внесении происходит обогащение кальцием почвенного поглощающего комплекса и накопление бикарбоната кальция в почвенном растворе, в результате снижается кислотность и улучшаются физические свойства почвы. На черноземах для большинства культур она равноценна натриевой селитре и уступает ей лишь при внесении под сахарную свеклу, кормовые и столовые корнеплоды. Натриевую селитру не рекомендуется вносить на засоленных почвах и солонцах.

Селитры менее эффективны, чем аммиачные удобрения, при внесении в орошаемых районах под рис, хлопчатник и другие культуры.

АММИАЧНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Производство их значительно проще, чем нитратных удобрений. Здесь не требуется окислять аммиак в азотную кислоту. До открытия и усовершенствования способа получения синтетического аммиака сырьем для производства сульфата аммония служил каменный уголь, в котором содержится 0,5...1,5% азота. При его

коксовании часть азота выделяется в форме аммиака, который улавливают, промывая отходящие газы коксовых печей водой. К растворенному в кипящей воде аммиаку добавляют для полноты удаления NH_3 известковое молоко [суспензия $Ca(OH)_2$ в воде] и связывают серной кислотой.

К аммиачным удобрениям относят сульфат аммония, хлористый аммоний, углекислые соли аммония, жидкие аммиачные удобрения.

Твердые аммиачные удобрения

Сульфат аммония (сернокислый аммоний) $(NH_4)_2SO_4$. Содержит 20,5...21% азота. В мировом производстве азотных удобрений сульфат аммония составляет около 25%, в нашей стране на его долю приходится менее 6% всего количества выпускаемых азотных удобрений. Получается нейтрализацией серной кислоты аммиаком, выделенным из отходящих газов при коксовании углей (коксохимический сульфат аммония), или поглощением серной кислотой газообразного синтетического аммиака (синтетический сульфат аммония):

$$H_2SO_4 + NH_3 = (NH_4)_2SO_4$$

Образующийся в насыщенном растворе осадок $(NH_4)_2SO_4$ отделяют центрифугированием и высушивают. Благодаря низкой стоимости аммиака, получаемого из коксовых газов, коксохимический сульфат аммония стоит дешевле синтетического.

В СССР производится только коксохимический сульфат аммония. При производстве сульфата аммония серную кислоту можно заменить более дешевыми продуктами — природными минералами — гипсом ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) и мирабилитом, или глауберовой солью (кристаллогидрат $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$). Если для связывания аммиака применять сернокислый натрий, то, кроме сульфата аммония, будет получаться сода, которая также имеет большую ценность для химической промышленности:

$$Na_2SO_4 + 2NH_3 + 2CO_2 + 2H_2O = (NH_4)_2SO_4 + 2NaHCO_3$$

Сульфат аммония легко растворяется в воде. В сухом состоянии обладает хорошими физическими свойствами: мало слеживается при хранении, хорошо рассевается туковой сеялкой. Гигроскопичность удобрения невелика. Оно не расплывается на воздухе и сохраняет рассыпчатость.

По внешнему виду сульфат аммония — кристаллическая соль разной окраски. Синтетический сульфат аммония белого цвета, содержит 20,5...21% азота, 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_4CNS). Последний токсичен для растений и при повышенном содержании может оказывать на них вредное действие, особенно на почвах с малым количеством гумуса и кальция.

Органические примеси придают коксохимическому сульфату аммония серую, иногда синеватую и красноватую окраску. Сульфат аммония содержит 23...24% серы и является важным источником этого элемента для питания растений.

Сульфат аммония-натрия $(NH_4)_2SO_4 \cdot NaSO_4$. Содержит не менее 16% азота и до 2,5% органических примесей. Это удобрение является отходом производства капролактама. По внешнему виду это кристаллическая соль желтоватого цвета. Содержание Na_2SO_4 — 20...25%, а Na_2O — около 9%. В связи с содержанием натрия является хорошим удобрением для сахарной свеклы на черноземах и произвесткованных дерново-подзолистых почвах, а также для растений семейства крестоцветных, отзывчивых на серу и натрий.

Хлористый аммоний NH_4Cl. Содержит 24...25% азота. Побочный продукт при производстве соды:

$$NH_3 + CO_2 + H_2O + NaCl = NaHCO_3 + NH_4Cl$$

Хлористый аммоний — вещество, растворимое в воде, обладает хорошими физическими свойствами, малогигроскопично, при хранении не слеживается. Обладает высокой физиологической кислотностью и содержит много хлора (66,6%), который может снизить качество урожая таких культур, как картофель, табак, виноград. На дерново-подзолистых почвах хлор отрицательно действует также на лук, капусту, коноплю, лен. Для зерновых культур при обычных нормах азота хлористый аммоний иногда не уступает сульфату аммония.

Хлористый аммоний не следует вносить в повышенных нормах под культуры, чувствительные к хлору. Заделывать это удобрение надо заблаговременно, осенью, в этом случае ионы хлора не поглощаются почвой и легко вымываются из корнеобитаемого слоя атмосферными осадками.

Карбонат аммония $(NH_4)_2CO_3$. Получается насыщением аммиачной воды углекислотой с последующей отгонкой карбоната аммония при температуре 70...80°С или в результате взаимодействия газообразного аммиака и двуокиси углерода в присутствии паров воды. Карбонат аммония очень нестоек, на открытом воздухе разлагается с выделением аммиака и переходит в бикарбонат аммония. Технический продукт содержит 21...24% азота и представляет собой смесь карбоната аммония, бикарбоната аммония и карбамата аммония.

Бикарбонат аммония NH_4HCO_3 получают на основе адсорбции газообразного аммиака и углекислоты раствором карбоната аммония:

$$\underset{\text{раствор}}{(NH_4)_2CO_3} + H_2O + \underset{\text{газ}}{CO_2} = 2NH_4HCO_3$$

В осадок выпадает белый кристаллический бикарбонат аммония. Остающийся в растворе двууглекислый аммоний насыщают газообразным аммиаком [$NH_4HCO_3 + NH_3 = (NH_4)_2CO_3$]. Образующийся в растворе карбонат аммония вновь используют для производства бикарбоната аммония. Удобрение содержит около 17% азота. По действию на растения приближается к аммиачной селитре. Обладает несколько большей стойкостью по сравнению с карбонатом аммония, но все же

при хранении, перевозках и внесении не исключены потери аммиака. При разбросном внесении бикарбонат аммония следует заделывать в почву немедленно.

Взаимодействие сульфата аммония с почвой. Внесенный в почву сернокислый аммоний $(NH_4)_2SO_4$ быстро растворяется и немедленно вступает в обменные реакции с катионами твердой фазы почвы. Значительная часть катионов NH_4^+ из растворенного в почве удобрения входит в почвенный поглощающий комплекс, а в раствор переходит эквивалентное количество других катионов:

$$(\text{ППК})^{Ca}_{Ca} + (NH_4)_2SO_4 = (\text{ППК})^{NH_4}_{NH_4} + CaSO_4$$

Поглощенный аммоний хорошо усваивается растениями. В то же время, находясь в поглощенном состоянии, ион аммония становится менее подвижным. Вследствие этого устраняется опасность вымывания азота сульфата аммония при внесении его в сильно увлажненную почву.

Однако слабая подвижность в почве аммония может играть и отрицательную роль: аммиачный азот локализуется в почве в очагах его внесения. Поэтому при внесении сульфата аммония в подкормку или в рядки при посеве использование азота молодыми растениями может затрудняться. В начале роста и развития они еще не имеют сильно развитой корневой системы и корешок не всегда попадает в зону, обеспеченную азотной пищей.

Для внесения в рядки аммиачные удобрения менее пригодны также и потому, что интенсивное поступление аммиачного азота в молодые проростки растений может оказать на них отрицательное влияние из-за токсичности избытка аммиака.

Вследствие нитрификации азот сульфата аммония (и хлористого аммония) переходит в нитратную форму. Нитратный азот не поглощается коллоидами почвы, не образует нерастворимых соединений и находится в почвенном растворе, в результате создается наилучший контакт с деятельной корневой системой растений. По мере нитрификации аммиачного азота разница в подвижности азота нитратных и аммиачных удобрений сглаживается, но в первое время после внесения это различие выражено довольно резко. Поэтому для внесения в рядки и в подкормку предпочтительнее нитратная форма азота по сравнению с аммиачной. Переход аммиачного азота в нитратный совершается с различной скоростью, в зависимости от температуры, влажности, доступа воздуха и реакции почвы. Процесс биологического окисления азота сульфата аммония в почве (нитрификация) приводит к образованию азотной кислоты и к освобождению серной кислоты:

$$(NH_4)_2SO_4 + 4O_2 = 2HNO_3 + H_2SO_4 + 2H_2O$$

В почве эти кислоты нейтрализуются, вступая во взаимодействие с бикарбонатами почвенного раствора и катионами поглощающего

комплекса почвы:

$$2HNO_3 + Ca(HCO_3)_2 = Ca(NO_3)_2 + 2H_2CO_3$$
$$H_2SO_4 + Ca(HCO_3)_2 = CaSO_4 + 2H_2CO_3$$
$$(ППК)^{Ca}_{Ca} + 2HNO_3 = (ППК)^{Ca}_{H} + Ca(NO_3)_2$$
$$(ППК)^{Ca}_{Ca} + H_2SO_4 = (ППК)^{Ca}_{H} + CaSO_4$$

Нейтрализация минеральных кислот сопровождается разрушением бикарбонатов почвенного раствора и вытеснением оснований из поглощающего комплекса водородом. Это несколько ослабляет буферную способность почвы и повышает ее кислотность.

Изменение реакции почвы от внесения сульфата аммония и хлористого аммония вызывается и их физиологической кислотностью. Из $(NH_4)_2SO_4$ и NH_4Cl растения быстрее поглощают катион, чем анион, так как потребность их в азоте больше, чем в сере и хлоре. В почве накапливаются кислотные остатки и подкисляют ее.

На дерново-подзолистых почвах с небольшим количеством кальция и органического вещества подкисление почвы проявляется быстрее и заметнее по сравнению с черноземами, богатыми органическим веществом и кальцием, и тем более с сероземами, содержащими много карбоната кальция. Однократное внесение сульфата аммония может не повлиять на реакцию даже дерново-подзолистой почвы. При систематическом внесении сульфата аммония размеры подкисления ее очень заметны (табл. 65).

На делянках, удобряемых сернокислым аммонием, значительно повысились кислотность почвы и содержание подвижного алюминия и уменьшилась степень насыщенности почвы основаниями.

Длительное применение сульфата аммония влияет на свойства не только дерново-подзолистых почв, но и сильнобуферных черноземов. Так, по данным Мироновской опытной станции, при внесении в черноземную почву этого удобрения в течение 14 лет резко изменялась реакция среды. В варианте без удобрений pH солевой вытяжки из почвы равнялся 6,0, а в варианте с сернокислым аммонием — 4,9;

65. Влияние аммиачной селитры и сульфата аммония на кислотность почвы и состав поглощающего комплекса (данные полевого опыта продолжительностью 16 лет)

Варианты опыта	Обменная кислотность	Гидролитическая кислотность (Hr)	Сумма поглощенных оснований (S)	Емкость поглощения ($S+H$)	Степень насыщенности основаниями (V) (в %)	Подвижный Al (в мг на 100 г почвы)
	в м.-экв. на 100 г почвы					
Без удобрения	1,1	4,0	6,5	10,5	61,8	10,0
NH_4NO_3	1,0	4,1	6,7	10,8	61,6	8,7
$(NH_4)_2SO_4$	1,8	5,4	6,2	11,6	53,5	16,4

обменная кислотность почвы при этом возросла в 1,5, а гидролитическая кислотность — почти в 2,5 раза по сравнению с контролем.

Однако на этой почве даже при таком большом периоде использования физиологически кислого сульфата аммония отрицательного влияния на урожай сельскохозяйственных культур обнаружено не было. Для богатых гумусом черноземов, обладающих высоким потенциальным плодородием и большой буферностью, слабое подкисление может иметь в известных пределах даже положительное значение.

В каштановых почвах и сероземах Средней Азии даже при более длительном применении сульфата аммония не наблюдается никаких неблагоприятных изменений, так как кислотные остатки удобрения полностью нейтрализуются кальцием с образованием бикарбонатов. Поэтому нет оснований опасаться подкисления карбонатных почв при внесении физиологически кислых удобрений.

Приемы повышения эффективности аммонийных удобрений. Сульфат аммония (и хлористый аммоний) вносится преимущественно до посева в качестве основного удобрения, причем его можно вносить не только весной, но и заблаговременно с осени, не опасаясь вымывания азота.

Действие сульфата аммония зависит в первую очередь от степени кислотности и буферности почв и биологических особенностей сельскохозяйственных культур.

Систематическое применение сульфата аммония на малобуферных дерново-подзолистых почвах вызывает дальнейшее их подкисление. В результате ухудшаются условия роста растений и снижается эффективность удобрения. Для усиления действия сульфата аммония на урожай сельскохозяйственных культур необходимо кислые дерново-подзолистые почвы известковать, а на неизвесткованных почвах перед внесением в почву этого удобрения полезно нейтрализовать его молотым мелом, известняком, доломитом. Для устранения физиологической кислотности 1 ц сульфата аммония требуется 1,3 ц углекислой извести ($CaCO_3$). Систематическая заправка почвы навозом, повышая ее буферность, также снижает отрицательное действие этого удобрения на свойства почвы и имеет важное значение для более эффективного его применения. На дерново-подзолистых почвах хороший эффект это удобрение дает в сочетании с щелочными или нейтральными формами фосфорных удобрений (томасшлак, фосфоритная мука).

Эффективность фосфоритной муки на дерново-подзолистых почвах повышается, когда применяют высокие нормы сульфата аммония. Физиологическая кислотность его способствует растворению трехкальциевого фосфата до усвояемых растениями солей ортофосфорной кислоты. В данном случае сульфат аммония, помимо прямого, оказывает и косвенное действие, улучшая питание растений не только азотом, но и фосфором. Наличие кальция в почвенном растворе важно не только для нейтрализации остаточной кислотности азотного удобрения, но и для поддержания физиологической уравновешенности почвенного раствора.

На кислых почвах Нечерноземной зоны сульфат аммония часто оказывает более слабое влияние на урожай, чем селитры. На чернозе-

66. Действие азотных удобрений на слабовыщелоченном суглинистом черноземе (данные Сумской опытной станции)

Варианты опыта	Урожай ячменя (в ц с 1 га)		Прибавка урожая зерна (в %)
	зерна	соломы	
Без удобрений	20,0	22,5	—
$NaNO_3$	27,6	35,7	38
$(NH_4)_2SO_4$	28,3	36,0	41

67. Урожай сельскохозяйственных культур (в ц с 1 га) **на фоне разных азотных удобрений** (на 6-й и 7-й год после внесения)

Варианты опыта	Овес (зерно)	Картофель (клубни)	Свекла (корнеплоды)
Без азота	12,5	178,6	189,9
$(NH_4)_2SO_4$	15,2	200,8	163,2
$NaNO_3$	15,9	212,7	309,9

мах эффективность аммиачных и нитратных удобрений выравнивается (табл. 66).

Эффективность сульфата аммония зависит не только от свойств почвы, но и особенностей возделываемого растения. Культуры, менее чувствительные к кислой реакции почвы (овес, озимая рожь, лен, картофель), будут слабее реагировать на подкисляющее действие сернокислого аммония. Культуры же, которые лучше растут и развиваются на нейтральных или слабокислых почвах (большинство овощных, сахарная свекла, ячмень, конопля, яровая пшеница и др.), раньше начнут угнетаться при систематическом внесении сульфата аммония (табл. 67).

При резком повышении обменной кислотности почвы на делянках с сульфатом аммония урожай овса и картофеля почти не уступал урожаю на варианте с $NaNO_3$. В то же время урожай свеклы, культуры, чувствительной к подкислению реакции среды, значительно уменьшается при систематическом внесении сернокислого аммония. На почвах, насыщенных основаниями и имеющих высокую нейтрализующую способность — карбонатных черноземах и сероземах, эффективность сульфата аммония даже при систематическом применении не ниже, а нередко выше, чем нитратных удобрений.

Преимущество того или иного азотного удобрения зависит от особенностей растений. Картофель отзывается на внесение как сульфата аммония, так и кальциевой или натриевой селитры. Конопля лучше растет на фоне нитратных удобрений. Рис, возделываемый в условиях затопления водой, когда в почве из-за недостатка кислорода процессы нитрификации сильно угнетены, приспособлен к аммиачному питанию. Сахарная свекла на буферных нейтральных почвах одинаково реагирует на применение в составе основного удобрения как аммиачных, так и нитратных удобрений. При дополнительном же внесении азота в рядки при посеве или в подкормку лучшее действие оказывает селитра, особенно натриевая.

Для внесения подкормки озимой пшеницы и озимой ржи более подходят нитратные или аммиачно-нитратные удобрения, однако высокие прибавки урожая дает и сульфат аммония. В условиях орошения хорошие результаты получаются от внесения аммиачных азотных удобрений.

Жидкие аммиачные удобрения

Наряду с твердыми аммиачными удобрениями в сельском хозяйстве применяются жидкие азотные удобрения: безводный, или жидкий, аммиак и водный аммиак (аммиачная вода). Производство их значительно проще и дешевле, чем твердых солей. Себестоимость жидких удобрений, например безводного аммиака, на единицу азота составляет лишь 40% себестоимости аммиачной селитры.

Безводный аммиак (NH_3) — самое концентрированное безбалластное удобрение. Содержит 82,3% азота. Получается сжижением газообразного аммиака под давлением. По внешнему виду это бесцветная подвижная жидкость, плотность 0,61 при 20°С, температура кипения 34°С. При более высокой температуре быстро превращается в газ и объем его увеличивается. При хранении в открытых сосудах NH_3 быстро испаряется. Жидкий аммиак обладает высокой упругостью паров (при 10°С давление равно 5,2 кгс/см², а при 37,8°С — 13,8 кгс/см²). Чтобы избежать улетучивания аммиака, его хранят и перевозят в специальных стальных цистернах.

Внесенный в почву безводный аммиак превращается из жидкости в газ, который адсорбируется коллоидной фракцией и поглощается почвенной влагой, образуя гидроксид аммония. Взаимодействуя с анионами почвенного раствора, аммоний дает различные соли и, вступая в физико-химическое взаимодействие с почвенными коллоидами, поглощается твердой фазой почвы. Наряду с физико-химическими реакциями аммиак подвергается нитрификации. Скорость и степень поглощения аммиака почвой зависят от содержания в ней гумуса, ее механического состава и влажности, а также от способа и глубины заделки в нее удобрения. На тяжелых, богатых органическим веществом, хорошо обработанных и нормально увлажненных почвах аммиак поглощается лучше, чем на легких, бедных гумусом почвах. В песчаных и супесчаных почвах образование аммонийных солей из аммиака и адсорбция иона аммония происходят медленнее, чем в тяжелых по механическому составу почвах. В связи с этим на легких почвах удобрение продолжительное время сохраняется в виде NH_3 и способно улетучиваться. Из влажной почвы аммиак улетучивается значительно слабее, чем из сухой.

Аммиачная вода — раствор синтетического или коксохимического аммиака в воде. Выпускается 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/см² при 40°С), не разрушает черных металлов, замерзает только при очень низкой температуре (25%-ный аммиак при минус 56°С, а 20%-ный при минус 33°С). Поэтому ее можно хранить и перевозить в герметических резервуарах из обычной углеродистой стали, рассчитанных на невысокое давление (0,4 кгс/см²). В аммиачной воде азот находится в форме свободного

аммиака (NH_3) и аммония (NH_4OH). Константа равновесия между NH_3 и NH_4OH в водном растворе аммиака $[(NH_4^+ \cdot (OH^-)] : [NH_3 \times \times H_2O] = 10^{-5}$ показывает, что свободного аммиака в нем содержится значительно больше, чем аммония. Этим обусловлена возможность потерь азота во время перевозок, хранения и внесения удобрений вследствие улетучивания аммиака.

При внесении аммиачной воды в почву аммиак адсорбируется коллоидами и поэтому слабо передвигается в ней. С течением времени аммиачный азот нитрифицируется и приобретает большую подвижность, мигрируя с почвенным раствором. Использование аммиачной воды в качестве удобрения технически проще и безопаснее по сравнению с жидким аммиаком, но крупным 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 вблизи предприятий, производящих это удобрение.

Все жидкие азотные удобрения вносят специальными машинами, обеспечивающими немедленную заделку их на глубину не менее 10...12 см на тяжелых и 14...18 см на легких почвах. При такой заделке жидких удобрений аммиак не улетучивается из почвы. Некоторые его потери возможны только на сильно карбонатных почвах. 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 песчаных и супесчаных почвах. Жидкие азотные удобрения применяют под все сельскохозяйственные культуры в качестве допосевного (основного) удобрения. Вносить их можно не только весной перед посевом, но и заблаговременно с осени. Однако на легких песчаных и супесчаных почвах внесение высоких норм этих удобрений с осени сопряжено с возможностью потерь аммиака, так как часть аммония не поглощается почвой.

При высокой концентрации аммиака в зоне внесения временно подавляется жизнедеятельность почвенной микрофлоры и замедляется процесс нитрификации. В результате локального размещения аммиачного азота в почве внесение жидких азотных удобрений под культуры сплошного посева при широкой расстановке сошников машины (35...50 см) может вызвать пестроту в развитии растений. Растения, находящиеся ближе к месту заделки удобрения, будут лучше снабжаться азотом и лучше развиваться, чем те растения, которые удалены от места прохождения сошников. Поэтому вносить жидкие азотные удобрения перед посевом зерновых, льна и других культур узкорядного сева необходимо машинами с более узкой расстановкой сошников (20...25 см), а посев проводить перпендикулярно направлению внесения жидких азотных удобрений. При подкормке пропашных культур, чтобы не повредить молодые растения избыточной концентрацией аммиака, жидкие азотные удобрения вносят в середину междурядий или на расстоянии 15...20 см от рядков; для равномерного распределения аммиачного азота в почве большое значение имеют

последующие междурядные обработки почвы. По мере нитрификации аммиака образующиеся нитраты передвигаются с почвенной влагой и содержание усвояемого азота в почве выравнивается. Интенсивность нитрификации зависит от свойств почв (в черноземах и в произвесткованных дерново-подзолистых почвах она проходит быстрее, чем в кислых подзолистых почвах). Синтетический водный аммиак нитрифицируется быстрее, чем коксохимический.

Опыты с различными культурами по изучению эффективности безводного аммиака и аммиачной воды показали, что при правильном применении (специальными машинами) в равных по азоту нормах они равноценны по эффективности аммиачной селитре.

АММИАЧНО-НИТРАТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

К группе аммиачно-нитратных удобрений, содержащих азот в аммонийной и нитратной формах, относится наиболее распространенное азотное удобрение — аммиачная селитра.

Аммиачная селитра (нитрат аммония, азотнокислый аммоний) NH_4NO_3. Содержит 34,6% нитратного и аммиачного азота. Получается нейтрализацией 56...60%-ной азотной кислоты газообразным аммиаком:

$$HNO_3 + \underset{\text{газ}}{NH_3} = NH_4NO_3$$

Для выделения аммиачной селитры раствор упаривают до содержания 95...98% NH_4NO_3, затем подвергают перекристаллизации и высушиванию. Получается белое кристаллическое вещество с содержанием 98...99% NH_4NO_3. Примесью являются главным образом добавки, вносимые в азотнокислый аммоний для улучшения его физических свойств.

Нитрат аммония очень гигроскопичен, на воздухе сильно отсыревает и слеживается. Для уменьшения слеживаемости к нему добавляют небольшое количество кондиционирующих веществ (тонкоразмолотая фосфоритная или костяная мука, гипс, каолинит и др.), не разлагающих аммиачную селитру и способных поглощать значительное количество влаги. Эти добавки придают селитре желтый оттенок. Иногда в качестве добавок вводят красители. Физические свойства аммиачной селитры в значительной степени зависят от размеров и формы получаемых кристаллов. В настоящее время химическая промышленность производит аммиачную селитру в гранулированном виде (с шарообразной формой гранул диаметром 1...3 мм) и в виде чешуек (чешуйчатая селитра). Гранулированная аммиачная селитра обладает лучшими физическими свойствами, чем кристаллическая, она сохраняет хорошую сыпучесть и рассеваемость.

Качество аммиачной селитры должно отвечать следующим условиям: содержание азота не менее 34,6%, влажность не более 0,4%, реакция нейтральная или слабокислая, нерастворимых в воде примесей не более 0,1%. Удобрение упаковывают во влагонепроницаемые пятислойные бумажные мешки. Хранят его в сухом помещении. В про-

тивном случае даже гранулированная селитра слеживается, и перед внесением в почву для придания рассыпчатости ее приходится дробить и просеивать через решета с отверстиями 2...3 мм. Чтобы улучшить физические свойства аммиачной селитры, ее смешивают при хранении с преципитатом или фосфоритной мукой (для дерново-подзолистых почв). Непосредственно перед внесением в кислую почву аммиачную селитру можно смешивать также с 30...40% углекислого кальция. Получается малогигроскопичная смесь, удобная для машинного высева. Известь нейтрализует физиологическую кислотность этого удобрения.

Взаимодействие аммиачной селитры с почвой. Аммиачная селитра быстро и полностью растворяется почвенной влагой. Физиологическими опытами лаборатории Д. Н. Прянишникова установлено, что из раствора нитрата аммония растения быстрее поглощают катионы NH_4^+, чем анионы NO_3^-. Поэтому аммиачную селитру относят к группе физиологически кислых удобрений. Однако физиологическая кислотность ее значительно ниже, чем аммиачных удобрений, например сульфата аммония. После внесения в почву аммиачная селитра вступает в реакцию с почвенным поглощающим комплексом:

$$(\text{ППК})\begin{matrix}\text{Ca}\\\text{Ca}\end{matrix} + 2NH_4NO_3 = (\text{ППК})\begin{matrix}\text{NH}_4\\\text{NH}_4\\\text{Ca}\end{matrix} + Ca(NO_3)_2$$

В результате обменного поглощения аммоний адсорбируется коллоидами почвы, а анион NO_3^- образует в растворе соли с кальцием, магнием и другими ионами.

В почвах, насыщенных основаниями (чернозем, серозем), подкисления почвенного раствора не происходит даже при систематическом внесении высоких норм удобрения. Для этих почв аммиачная селитра — одна из лучших форм азотных удобрений. При недостатке в почве кальция (в кислых дерново-подзолистых почвах) внесение аммиачной селитры может вызвать некоторое подкисление почвенного раствора, а в случае неравномерной заделки удобрений — создавать очаги с повышенной кислотностью:

$$(\text{ППК})\begin{matrix}\text{H}\\\text{Ca}\end{matrix} + 3NH_4NO_3 = (\text{ППК})\begin{matrix}\text{NH}_4\\\text{NH}_4\\\text{NH}_4\end{matrix} + HNO_3 + Ca(NO_3)_2$$

Местное подкисление почвенного раствора носит временный характер: с поглощением нитратного азота растениями оно исчезает. Однако снижение pH почвенного раствора может ослабить начальный рост и развитие еще не окрепшего растительного организма, усилить растворение таких соединений, как гидроксид алюминия, который токсичен для растений. Нитрификация азотнокислого аммония в малобуферных почвах также вызывает временное подкисление почвы:

$$2NH_4NO_3 + 4O_2 = 4HNO_3 + 2H_2O$$

Влияние аммиачной селитры на кислотность и состав поглощенных катионов дерново-подзолистой суглинистой почвы значительно сла-

бее, чем сульфата аммония. Однако при длительном ее применении на малобуферных дерново-подзолистых почвах легкого механического состава подкисление может быть довольно значительным, в результате чего эффективность аммиачной селитры, особенно при внесении под культуры, чувствительные к повышенной кислотности, заметно снижается.

В аммиачной селитре половина азота содержится в форме аммония, который поглощается почвой, и половина — в форме нитратов, обладающих большой подвижностью в почвенном растворе.

При внесении одной и той же нормы азота аммиачной селитры и, например, натриевой селитры концентрация нитратов в почвенном растворе в первом случае будет ниже, чем во втором, а аммиачный азот нитрата аммония в форме NH_4^+ быстро поглотится почвенными коллоидами, поэтому опасность вымывания его в условиях обильного увлажнения меньше, чем нитрата натрия. Поглощенный аммоний остается доступным для питания растений. Однако в определенных условиях катион NH_4^+ может поглощаться почвами в необменной или труднообменной форме, слабо доступной растениям. Кроме того, аммонийный и нитратный азот селитры (а также других удобрений) после внесения в почву потребляется не только растениями, но также почвенными микроорганизмами, в результате чего часть его переходит в форму сложных органических соединений, недоступных для питания растений. После отмирания и разложения микроорганизмов содержащийся в них азот частично снова освобождается в минеральной форме и может использоваться растениями, а часть его при разложении белка микробов превращается в форму гумусовых веществ и на более длительный срок становится недоступной для растений.

Условия эффективного использования аммиачной селитры и способы ее внесения. Аммиачная селитра по эффективности нередко занимает первое место среди азотных удобрений. Ее с успехом можно применять под различные культуры на всех почвах нашей страны. Для повышения эффективности аммиачной селитры при систематическом внесении ее в малобуферные кислые дерново-подзолистые почвы большое значение имеет их известкование. Отрицательное влияние потенциальной кислотности аммиачной селитры может быть устранено также путем нейтрализации ее известью или доломитом (на 1 ц удобрения 1 ц $CaCO_3$). На действие удобрений большое влияние оказывают способы и техника внесения их в почву.

Различают допосевное (основное), припосевное (рядковое) внесение удобрений в почву и подкормку растений.

Наличие в аммиачной селитре половины азота в легкоподвижной нитратной форме и половины в менее подвижной аммиачной форме выгодно отличает ее от других азотных удобрений, позволяя широко дифференцировать способы, нормы и сроки использования ее в зависимости от свойств почвы, климата и вида удобряемых культур.

Аммиачную селитру применяют в качестве допосевного (основного) удобрения, вносят в рядки или в лунки при посеве и в подкормку в период вегетации.

В условиях влажного климата, особенно на легких по механиче-

скому составу почвах, где возможно вымывание нитратного азота, внесение аммиачной селитры с осени под зяблевую вспашку менее эффективно, чем весной под предпосевную культивацию. В менее увлажненных районах ее можно вносить и с осени, не опасаясь вымывания азота. Аммиачную селитру в небольших дозах (10...15 кг N) вместе с другими видами удобрений вносят также в рядки при посеве сахарной свеклы, в лунки при посадке картофеля, овощных и других культур. Аммиачная селитра — одно из лучших азотных удобрений для ранневесенней подкормки озимых. Она может применяться и для подкормки пропашных и овощных культур с обязательной заделкой в междурядья на глубину 10...15 см культиваторами-растениепитателями или при последующей междурядной обработке почвы.

УДОБРЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИЕ АЗОТ В АМИДНОЙ ФОРМЕ

Мочевина (карбамид) $CO(NH_2)_2$. Синтетическая мочевина содержит 46% азота, самое концентрированное из твердых азотных удобрений. Исходные продукты для производства синтетической мочевины — газообразный или жидкий аммиак и диоксид углерода (углекислый газ). Получается она в результате взаимодействия диоксида углерода с аммиаком при высоких давлении и температуре:

$$CO_2 + 2NH_3 = CO(NH_2)_2 + H_2O$$

По внешнему виду мочевина — белый кристаллический продукт, хорошо растворимый в воде. Гигроскопичность ее при температуре до 20°С сравнительно небольшая (близка к гигроскопичности сульфата аммония), но с повышением температуры заметно увеличивается. При хранении кристаллическая мочевина может слеживаться и рассеиваемость ее ухудшается. Промышленность выпускает мочевину для удобрения в гранулированном виде с размером гранул 1...3 мм. При грануляции для уменьшения слеживаемости гранулы покрывают небольшим количеством жировой добавки. Гранулированная мочевина обладает значительно лучшими физическими свойствами, практически не слеживается, сохраняет хорошую рассеваемость. В процессе грануляции под влиянием температуры в мочевине образуется биурет:

$$2CO(NH_2)_2 \longrightarrow (CONH_2)_2\,HN + NH_3$$

При высоком содержании (более 3%) биурет становится токсичным для растений и при внесении мочевины, содержащей более 3% биурета, непосредственно перед посевом угнетает развитие растений. В почве биурет полностью разлагается в течение 10...15 дней, поэтому при внесении мочевины за 1...2 месяца до посева, независимо от содержания в ней биурета, отрицательного действия его на молодые растения не наблюдается. В кристаллической мочевине содержание биурета не превышает 0,2...0,8%, а гранулированную мочевину выпускают в настоящее время с содержанием биурета не более 1,0%. При таком содержании биурет не оказывает вредного действия на развитие проростков растений независимо от срока внесения мочевины.

Эффективность гранулированной мочевины практически такая же, как и кристаллической, при всех сроках и способах внесения.

Взаимодействие мочевины с почвой. В почве мочевина полностью растворяется почвенной влагой и под действием фермента уреазы, выделяемого уробактериями, быстро аммонифицируется, превращаясь в углекислый аммоний:

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3$$

При благоприятных условиях на богатых гумусом почвах превращение мочевины в углекислый аммоний происходит за 2...3 дня, процесс аммонификации идет слабее на малоплодородных песчаных и болотных почвах.

Углекислый аммоний — соединение непрочное, на воздухе разлагается с образованием бикарбоната аммония и газообразного аммиака:

$$(NH_4)_2CO_3 \longrightarrow NH_4HCO_3 + NH_3$$

Поэтому при поверхностном внесении мочевины без заделки в почву и при отсутствии осадков могут быть частичные потери азота в виде аммиака. Эти потери азота сильнее выражены на почвах с нейтральной и щелочной реакцией. В почве углекислый аммоний подвергается гидролизу с образованием бикарбоната аммония и NH_4OH:

$$(NH_4)_2CO_3 + H_2O = NH_4HCO_3 + NH_4OH$$

Образующийся при внесении мочевины в почву аммоний поглощается ее коллоидной фракцией и постепенно усваивается растениями. Установлено, что мочевина может поглощаться корнями, а также листьями растений без предварительного превращения в углекислый аммоний. Однако сама мочевина, пока она не подвергалась аммонификации, может вымываться из почвы. По мере аммонификации мочевины в местах ее внесения в почву возможно временное подщелачивание почвы в результате гидролиза углекислого аммония. С течением времени аммоний подвергается нитрификации с образованием азотной кислоты:

$$2NH_3 + 3O_2 = 2HNO_2 + 2H_2O$$
$$2HNO_2 + O_2 = 2HNO_3$$

Нитрификация углекислого аммония протекает значительно быстрее, чем сульфата и особенно хлорида аммония. На стадии нитрификации аммония временное местное подщелачивание сменяется сдвигом реакции в сторону подкисления. Однако после усвоения азота мочевины растениями в почве не остается ни щелочных, ни кислотных остатков. Степень подкисления почвы от единицы азота мочевины примерно такая же, как от аммиачной селитры.

Применение мочевины. Мочевина применяется в качестве допосевного удобрения на всех почвах под различные сельскохозяйственные культуры. Полевые опыты показали, что мочевина при допосевном внесении во всех зонах страны на большинстве культур равноценна по эффективности аммиачной селитре, а на рисе и чае — сульфату аммония.

В зоне достаточного увлажнения на легких дерново-подзолистых почвах и при орошении на сероземах мочевина дает более высокие прибавки урожая некоторых культур (картофель, сахарная свекла, овощные), чем аммиачная селитра. Объясняется это тем, что амидный азот мочевины быстро превращается в аммиачный, а последний поглощается почвой и меньше вымывается в глубь почвы.

При использовании для ранневесенней подкормки озимых культур мочевина дает такой же высокий эффект, как и аммиачная селитра. Мочевину можно применять и для подкормки пропашных и овощных культур с немедленной заделкой в почву. При несвоевременной заделке возможны потери азота вследствие улетучивания аммиака, образующегося при разложении углекислого аммония, в который превращается мочевина. Ее можно использовать и для некорневой подкормки растений, но в этом случае целесообразно применять кристаллическую мочевину с меньшим содержанием биурета (0,2...0,3%).

В отличие от других форм азотных удобрений мочевина даже в повышенной концентрации (1%-ный раствор) не обжигает листья и вместе с тем хорошо используется растениями. Она может поглощаться клетками листьев в виде целой молекулы и усваиваться растениями не только путем предварительного разложения с образованием аммиака под действием фермента уреазы, но и прямым вовлечением в цикл превращений азотистых веществ, связанных с образованием диаминокислот. При внесении мочевины в рядки при посеве возможно замедление прорастания и появления всходов вследствие того, что при ее разложении образуется избыточное количество свободного аммиака в зоне развития корней.

Вследствие большого количества азота в мочевине ее необходимо равномерно распределять при внесении в почву. Для более равномерного рассева мочевину непосредственно перед внесением в почву тщательно смешивают с другими удобрениями. При внесении одной мочевины ее смешивают с сухим песком.

Гранулированная мочевина благодаря хорошим физическим свойствам и высокому содержанию азота является одним из лучших азотных удобрений, и ее производство непрерывно увеличивается.

Цианамид кальция $CaCN_2$ содержит 20...22% азота. В состав технического продукта входит 58...60% $CaCN_2$, 20...28% CaO, 9...12% угля и незначительные количества кремниевой кислоты, оксида железа, алюминия и карбида кальция.

По внешнему виду цианамид кальция — легкий тонкий черный или темно-серый порошок. При погрузках и рассеве сильно пылит. Попадая в глаза и дыхательные органы, вызывает воспаление слизистой оболочки, разъедает кожу, поэтому при работе с ним необходимо для защиты глаз и рук надевать очки и перчатки.

В почве цианамид кальция подвергается гидролизу и взаимодействует с почвенным поглощающим комплексом:

$$2CaCN_2 + 2H_2O = Ca(CNNH)_2 + Ca(OH)_2$$

$$(ППК)^{H}_{H} + Ca(CNNH)_2 = (ППК)Ca + 2H_2CN_2.$$

Образующийся цианамид (H_2CN_2) ядовит для растения, но он быстро переходит в мочевину:

$$H_2CN_2 + H_2O = CO(NH_2)_2$$

Мочевина под влиянием фермента уреазы переходит в углекислый аммоний, который в результате нитрификации дает азотную кислоту.

Цианамид кальция — щелочное удобрение, так как содержит значительное количество примеси CaO, которая подщелачивает почву. На кислых дерново-подзолистых почвах систематическое применение цианамида кальция заметно улучшает их свойства благодаря частичной нейтрализации кислотности и обогащению кальцием. Чтобы избежать вредного действия не разложившегося в почве цианамида на прорастающие семена или молодые всходы растений, его вносят заблаговременно: весной за 7. . .10 дней до посева или с осени под зябь. Цианамид нельзя применять в подкормки. Цианамид кальция производится в небольших количествах и как удобрение широко не применяется, а используется главным образом для предуборочного удаления листьев хлопчатника и других растений (дефолиация).

МЕДЛЕННОДЕЙСТВУЮЩИЕ УДОБРЕНИЯ

Все азотные удобрения (кроме $CaCN_2$), выпускаемые туковой промышленностью, хорошо растворимы в воде. Сильная растворимость и подвижность азотных удобрений в почве не всегда полезны. При внесении таких удобрений в больших нормах создаются избыточно вредная концентрация и высокое осмотическое давление почвенного раствора, резко ослабляющее развитие некоторых растений (лен, кукуруза), особенно в начале роста. В районах достаточного увлажнения, особенно на легких почвах, возможно вымывание внесенного азота в виде нитратов и загрязнение ими водных источников. В условиях орошаемого земледелия Средней Азии аммиачные и аммиачно-нитратные удобрения быстро нитрифицируются и нитратный азот с нисходящим током воды (при поливе) вымывается из корнеобитаемого слоя почвы или с восходящим током (после полива) выносится на ее поверхность. В результате быстрой нитрификации аммонийного азота удобрений и последующей денитрификации происходят значительные потери азота в газообразной форме.

В результате всего этого снижаются использование растениями азота из внесенных удобрений и их эффективность. В связи с этим в последние годы изучались способы получения слаборастворимых удобрений, азот которых медленно переходит в растворимую форму и постепенно используется растениями в течение вегетации.

Медленнодействующие синтетические удобрения получаются конденсацией мочевины с альдегидами: формальдегидом, ацетальдегидом, кротоновым и изомасляным альдегидом и др. При этом получают соответственно следующие удобрения: мочевино-формальдегидное 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), со-

держащая 31% азота, слаборастворимого в воде, мочевиноформацетальдегид (МФАА) и другие.

Труднорастворимые формы удобрений перспективны для районов с избыточным увлажнением и на поливных землях, особенно при внесении под хлопчатник, чай, цитрусовые, лугопастбищные травы, а также травостои на спортплощадках и газонах, под которые вносятся высокие нормы азота и обычно в несколько приемов.

При внесении в обычных нормах эти удобрения в первый год менее эффективны, чем мочевина. Однако при больших нормах внесения они не создают повышенной концентрации почвенного раствора, азот их почти не вымывается и меньше теряется в результате денитрификации, но по мере их разложения в течение длительного времени используется растениями. В этом случае обеспечивается питание азотом первой культуры и наблюдается значительное последействие удобрения на последующие культуры.

Под другие культуры, например, овощные и зерновые в Нечерноземной зоне, высокие нормы этих удобрений можно вносить один раз в год или два-три года, не опасаясь вымывания азота.

Недостатком медленнодействующих удобрений является высокая стоимость их по сравнению с обычными легкорастворимыми азотными удобрениями, причем разница в стоимости вряд ли может быть компенсирована экономией от одноразового внесения. Кроме того, скорость высвобождения азота из удобрения не всегда соответствует характеру поглощения этого элемента большинством культур в течение вегетации, чем и объясняется меньшая, чем мочевины, эффективность их в год внесения.

В ряде стран проводятся исследования по замедлению растворимости азотных удобрений путем покрытия их гранул тонкими пленками из органических (полимерных) или неорганических (элементарная сера) материалов. Из гранул этих удобрений происходят постепенное высвобождение азота и его усвоение растениями по мере окисления и растворения серного покрытия.

Как показывают опыты, применение мочевины, покрытой серой (ПМС), может быть перспективным под рис, а также на лугах и пастбищах длительного пользования, под овощные и бахчевые культуры, особенно в районах с большим количеством осадков и при орошении. На посевах зерновых культур ПМС не имеет преимущества перед растворимыми удобрениями. Ввиду высокой стоимости ПМС и расхода большого количества серы на ее изготовление применение этого удобрения в сельском хозяйстве весьма ограниченно.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОТА УДОБРЕНИЙ РАСТЕНИЯМИ И ЕГО ПРЕВРАЩЕНИЕ В ПОЧВЕ

Агрохимическими исследованиями методом меченых атомов установлено, что при внесении азотных удобрений растения усваивают в полевых условиях азота из почвы на 30...40% больше, чем в контрольных вариантах, а непосредственно из удобрения используется значительно меньше азота, чем считалось раньше (табл. 68).

68. Использование растениями азота почвы и удобрений (данные опытов кафедры агрохимии ТСХА)

Удобрения	Использовано из				Показатели баланса азота удобрений (в % от внесенного)	
	почвы		удобрения (в % от внесенного)			
	в % от общего выноса	в % от контроля	по разнице	изотопным методом	закрепилось в почве	потери
	Вегетационные опыты (среднее из 12 опытов)					
$(NH_4)_2SO_4$	49	143	74	60	19	20
$NaNO_3$	47	133	75	61	12	27
Среднее	48	138	74	60	—	—
	Полевые опыты (среднее из 11 опытов)					
$(NH_4)_2SO_4$	67	134	60	39	44	17
$Ca(NO_3)_2$	65	139	67	42	25	32
Среднее	66	136	64	41	—	—

Исследованиями кафедры агрохимии ТСХА и других научных учреждений показано, что в полевых условиях растения усваивают непосредственно из удобрения в среднем лишь 40% (с колебаниями от 30 до 50%) азота от внесенного, причем коэффициенты использования азота различных форм азотных удобрений существенно не различаются, за исключением экстремальных условий их применения. Разница в коэффициентах использования азота удобрений, определяемых разностным методом (60. . .70%), и действительным его использованием, установленным изотопным методом (30. . .50%), составляет в среднем 20. . .30% от внесенного. Эта разница характеризует дополнительное усвоение растениями азота почвы при внесении азотных удобрений, которое обусловлено усилением мобилизации азота из почвенного органического вещества. Дополнительным усвоением азота почвы в известной степени компенсируется неполное использование растениями азота непосредственно из внесенных удобрений. Поэтому коэффициенты использования азота, определенные разностным методом, обычно всегда выше, чем установленные с помощью ^{15}N, так как они включают не только использование растениями азота непосредственно из внесенного удобрения (которое равняется в среднем около 40%), но и дополнительное усвоение азота почвы.

Следовательно, для решения различных практических вопросов (расчетов баланса азота, норм азотных удобрений и т. д.) необходимо использовать коэффициенты, определенные разностным методом, которые характеризуют общий размер использования растениями азота при внесении азотных удобрений.

Соотношение в урожаях азота почвы и удобрений, его роль в питании растений могут сильно колебаться в зависимости от ряда факторов: нормы удобрения, свойств почвы, степени ее окультуренности, известкования, орошения. Так, в полевых опытах (табл. 68) доля азота почвы в общем выносе составила в среднем 66% с колебанием в разных опы-

тах от 20 до 70%, а азота удобрений — 34% с колебанием от 30 до 80%. Доля азота удобрений в общем выносе его урожаем увеличивается, а азота почвы — снижается на бедных гумусом слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах и при внесении высоких норм азотных удобрений.

Исследования с применением ^{15}N показали также, что значительное количество азота удобрений (в полевых условиях до 50. . .60%) не используется растениями в год внесения, часть его теряется из почвы, а часть закрепляется в ней в органической форме. Биологическое закрепление азота больше из аммиачных удобрений и мочевины (около 40% от внесенного), чем из нитратных (20%). Особенно резко оно возрастает при запашке в почву большого количества бедных азотом, но богатых клетчаткой органических веществ (пожнивных растительных остатков и соломы злаковых, соломистого навоза и др.). Закрепившийся в почве в органической форме азот удобрений медленно минерализуется и слабо используется последующими культурами (что и определяет незначительное последействие азотных удобрений): 2. . .3% от внесенного и 5. . .10% от закрепившегося в первый год последействия и соответственно 1. . .2 и 3. . .6% — во второй год и еще меньше в последующие годы, постепенно приближаясь со временем к степени усвоения азота почвенного гумуса.

В результате постепенной минерализации иммобилизованного азота и частичного усвоения его последующими культурами суммарные за 6. . .7 лет коэффициенты использования азота удобрений увеличиваются на 8. . .10% по сравнению с приведенными в таблице коэффициентами в год внесения.

Значительная часть внесенного азота удобрений теряется из почвы в газообразной форме (в виде N_2 и N_2O) в результате денитрификации. Газообразные потери азота больше из нитратных удобрений, чем из аммиачных и мочевины. В полевых условиях из почвы, находящейся под растительным покровом, эти потери в год внесения удобрений составляют в среднем 20% из аммиачных и 30% из нитратных удобрений. Из парующей почвы они резко возрастают, достигая 50. . .60% и более.

Газообразные потери азота удобрений из почвы, связанные с его нитрификацией и последующей денитрификацией, являются основной причиной снижения коэффициентов использования и эффективности азотных удобрений, так как вымывание азота удобрений в виде нитратов за период вегетации обычно незначительное (менее 1% от внесенного).

Для уменьшения потерь азота и повышения эффективности азотных удобрений важное значение имеет внесение их в оптимальные сроки и в оптимальных нормах и соотношениях с другими удобрениями в сочетании с рациональной системой обработки почвы, севооборотом и правильным режимом орошения.

Одним из путей снижения потерь азота почвы и удобрения вследствие денитрификации и вымывания нитратов, а также устранения опасности загрязнения нитратами водных источников и уменьшения их содержания в сельскохозяйственной продукции является применение ингибиторов нитрификации. Эти препараты (органические соединения

из класса хлорпиридинов и пиримидинов и др.) при внесении в почву в дозе 0,5. . .2 кг на 1 га вместе с аммиачными удобрениями тормозят нитрификацию аммонийных удобрений и мочевины в течение 1,5. . .2 месяцев и сохраняют минеральный азот почвы и удобрений в аммиачной форме. Подавляя нитрификацию азота удобрений, ингибиторы снижают в 1,5. . .2 раза его потери как в газообразной форме, так и от вымывания нитратов. Наиболее эффективно применение ингибиторов нитрификации в районах орошаемого земледелия, особенно под хлопчатник и рис, а также под другие культуры в зоне достаточного увлажнения или при орошении.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В РАЗНЫХ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Применение азотных удобрений имеет решающее значение в повышении урожаев сельскохозяйственных культур на большинстве почв нашей страны. Установлено, что каждая тонна азота минеральных удобрений дает дополнительно 10. . .15 т зерна, 20. . . 30 т сена луговых трав, 30. . .40 т корней сахарной свеклы, около 2 т льноволокна и 5. . .6 т хлопка-сырца. Азотные удобрения не только повышают урожай, но и улучшают его качество, увеличивая содержание белка в зерне и кормовых продуктах. Особенно эффективны азотные удобрения в обеспеченных влагой районах Нечерноземной зоны, на бедных азотом дерново-подзолистых почвах. Высокоэффективны азотные удобрения также на серых лесостепных почвах и выщелоченных черноземах западных областей (табл. 69).

На дерново-подзолистых и серых лесных почвах внесение фосфорных и калийных удобрений без одновременного внесения азотных удобрений, как правило, не дает существенного эффекта. На этих почвах около 60% общей прибавки урожая, получаемой от минеральных удобрений, падает на долю азотных удобрений. При движении с севера на юг и с запада на восток, т. е. в районах недостаточного увлажнения, эффективность азотных удобрений снижается.

69. Прибавка урожая картофеля от разных видов минеральных удобрений (данные ВИУА)

Почвы	Число опытов	Урожай без удобрений (в ц с 1 га)	Прибавки от внесения минеральных удобрений (в ц с 1 га)			
			полного минерального удобрения	азотных	фосфорных	калийных
Подзолистые супесчаные	23	117	60	35	13	16
Подзолистые суглинистые	8	154	69	39	18	28
Серые лесные	6	159	73	43	10	9
Выщелоченные черноземы	10	203	56	31	20	13

В степных южных районах на мощных, обыкновенных и южных черноземах вследствие большого содержания в этих почвах азота и недостатка влаги, и особенно на каштановых и светло-каштановых почвах засушливых областей юго-востока, прибавки урожая от азотных удобрений ниже, чем в обеспеченных влагой районах Нечерноземной и Лесостепной зон. Однако при проведении мероприятий, способствующих накоплению и сохранению влаги на полях (снегозадержание, своевременная зяблевая вспашка и др.), умеренные нормы азотных удобрений вполне эффективны и в этих районах. Эффективность азотных удобрений в степных районах юга и юго-востока значительно возрастает при орошении. Применение азотных удобрений является важнейшим условием получения высоких урожаев всех культур при орошении на сероземах и других почвах Средней Азии и Закавказья.

Азотные удобрения дают высокие прибавки урожая в увлажненных районах Северного Кавказа и в субтропических районах.

ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ОТДЕЛЬНЫЕ КУЛЬТУРЫ

Азотные удобрения вносят под все сельскохозяйственные культуры. Особое положение по отношению к этим удобрениям занимают бобовые растения: они используют молекулярный азот воздуха, фиксируемый клубеньковыми бактериями. Однако в начале роста, когда клубеньковые бактерии еще недостаточно развились, для бобовых требуется источник усвояемого азота в почве. Поэтому и они, особенно зерновые бобовые, положительно отзываются на внесение небольших норм азотных удобрений (30. . .40 кг на 1 га). На окультуренных почвах, особенно при внесении навоза под предшественник бобовых, они хорошо растут и без применения азотных удобрений.

Зерновые культуры сильно отзываются на внесение азотных удобрений, которые улучшают развитие вегетативных и репродуктивных органов, повышают энергию кущения, увеличивают урожай зерна и содержание белка в нем. Особенно резко возрастает урожай этих культур от внесения азотных удобрений в условиях орошения и в районах достаточного увлажнения.

Большинство зерновых колосовых поглощает азот в ранние периоды жизни. Так, озимая пшеница в фазе кущения усваивает половину азота, а ко времени колошения — $^2/_3$ всего необходимого ей количества этого элемента питания. Озимая рожь основную массу азота усваивает в раннем возрасте. Яровая пшеница по сравнению с озимой имеет более короткий период питания. Наиболее интенсивно она потребляет азот между фазой кущения и фазой молочной спелости. Ячмень имеет еще более короткий период питания, чем яровая пшеница.

Кукуруза, просо, гречиха, овес, рис характеризуются растянутым периодом питания, они поглощают азот и другие питательные вещества и в поздние фазы роста и развития: кукуруза — до фазы восковой спелости, просо — до фазы цветения и созревания.

Под *озимые культуры*, идущие по занятым парам, особенно после поздноубираемых предшественников, для создания благоприятных

условий роста в осенний период необходимо внести азотные удобрения в норме 30. . .60 кг до посева (под вспашку или предпосевную культивацию). При посеве озимых после клевера и по хорошо обработанным чистым парам внесение азотных удобрений до посева обычно не требуется. Для повышения урожая озимых зерновых исключительно большое значение имеет ранневесенняя подкормка их азотными удобрениями. Особенно высокоэффективна азотная подкормка озимых в Нечерноземной и Лесостепной зонах. Внесение 20. . .30 кг азота при ранневесенней подкормке повышает урожай зерна в этих зонах в среднем на 3. . .4 ц, а во многих случаях, при высокой агротехнике, прибавка урожая достигает 6. . .8 ц на 1 га (табл. 70).

Значительное действие азотная подкормка оказывает и на черноземных почвах. Так, на мощном слабосолонцеватом черноземе (Пензенская область) подкормка озимой ржи весной аммонийной селитрой в дозе 30 кг действующего вещества на 1 га повысила урожай на 25% (без подкормки урожай был 18,4 ц, с подкормкой — 23,0 ц с 1 га). По данным ВИУА, увеличение дозы азота в подкормку с 30 до 60 кг на 1 га сопровождается существенным увеличением прибавок урожая (с 5,3 до 7,4 ц на 1 га в среднем за два года), хотя вторые 30 кг азота оплачиваются урожаем меньше, чем одинарная доза. Высокая эффективность ранневесенней азотной подкормки объясняется тем, что озимые после перезимовки бывают сильно ослаблены, с ранней весны начинаются их усиленный рост и интенсивное потребление азота, а мобилизация азота почвы в это время из-за низкой температуры и высокой влажности почвы происходит очень слабо. В зависимости от высоты планируемого урожая доза азота в ранневесеннюю подкормку может колебаться от 30 до 90 кг на 1 га.

Наряду с ранневесенней подкормкой применяется подкормка азотными удобрениями озимой пшеницы (20. . .30 кг азота на 1 га) в более поздний срок (после колошения). В этом случае проводят опрыскивание пшеницы раствором мочевины или аммонийной селитры. Поздняя некорневая подкормка обычно не повышает урожай, но заметно улучшает его качество — увеличивается содержание белка и клейковины в зерне пшеницы.

70. Эффективность азотной подкормки озимых (по П. Г. Найдину)

Почвы	Урожай на контроле (в ц с 1 га)	Прибавка от подкормки (в ц на 1 га)	Число опытов
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	16,1	3,3	6
Дерново-подзолистые суглинистые	18,8	4,3	18
Серые лесные суглинистые	11,8	3,5	4
Выщелоченные черноземы УССР и западных областей Центральной черноземной зоны	20,1	2,6	3
Выщелоченные и мощные черноземы восточных областей европейской части РСФСР	28,4	1,0	6

Для *яровых зерновых культур* (пшеница, ячмень, овес, просо) средняя норма азотных удобрений 30. . .60 кг азота на 1 га. Вносят их с осени под зяблевую вспашку или (в увлажненных районах) под предпосевную культивацию. Из яровых зерновых в первую очередь удобряют азотом яровую пшеницу (если она не идет по пласту клевера или люцерны).

Под *кукурузу* в зависимости от плодородия почвы и предшественника вносят на 1 га от 60 до 90 кг азота, причем средние нормы применяют до посева, а при внесении высоких норм (90 кг и более) бóльшую часть вносят до посева и небольшую дозу (20. . .25 кг) дают в подкормку при первой междурядной обработке почвы. При возделывании яровых зерновых, особенно пшеницы, на черноземных и каштановых почвах при орошении вносят большие нормы азота — 60. . .90 кг на 1 га.

Для *риса* оптимальная норма азота 120. . .150 кг на 1 га, причем половину нормы вносят перед посевом под весеннюю перепашку или под культивацию и половину в одну-две подкормки.

Лучшие формы азотных удобрений — сульфат аммония и мочевина.

Хлопчатник требует гораздо больше азота, чем зерновые культуры. Больше всего растения хлопчатника потребляют его во второй половине вегетации — в период с конца фазы бутонизации до массового раскрытия коробочек. Следовательно, для удовлетворения потребности растений в азоте надо применять основное удобрение и подкормки.

Орошение хлопковых полей существенно меняет температурный и водный режимы почвы. Переходы от максимального насыщения почвы водой при поливах до высыхания в межполивные периоды оказывают сильное влияние на биохимические и химические процессы в почве. Создаются своеобразные условия для динамики, состава и концентрации почвенного раствора и миграции растворимых солей, изменяется использование растениями азотных удобрений. В хлопковых районах Средней Азии аммонийные соли интенсивно нитрифицируются, азот всех форм азотных удобрений становится одинаково подвижным. Для уменьшения подвижности и локализации азота в корнеобитаемом слое почвы рекомендуют совместное внесение органических и минеральных удобрений. Процессы аммонификации и нитрификации в этом случае растягиваются на более длительный срок. Для культуры с длинным периодом вегетации и с растянутым периодом потребления питательных веществ, какой является хлопчатник, это имеет существенное значение. Азотные удобрения под хлопчатник вносят в подкормку во время вегетации и часть удобрения заделывают перед посевом. Если применяют сравнительно невысокие нормы азота, то все количество удобрения вносят в подкормки во время вегетации, преимущественно в период бутонизации и цветения. При повышенных нормах азота около $^1/_3$ удобрения дают перед посевом, а остальное — в подкормки. Под хлопчатник, идущий по пласту и обороту пласта, азотные удобрения применяют только в подкормки. По мере удаления посева этой культуры от пласта норму азота увеличивают и часть ее используют как основное удобрение. Нормы азота под хлопчатник зависят от планируемой урожайности, уровня агротехники, почвенно-климатических условий района. В среднем

вносят 150. . .200 кг азота на 1 га. Из форм азотных удобрений предпочтительны аммиачная селитра, сульфат аммония и мочевина.

Лен-долгунец возделывают на дерново-подзолистых и серых лесных почвах. Критический период в азотном питании льна — период от фазы «елочки» до бутонизации. Слабая обеспеченность растений азотом в это время вызывает резкое снижение урожая и его качество. Лен размещают по пласту многолетних бобовых трав и по другим предшественникам.

При возделывании льна не по пласту многолетних трав средние нормы азота — 40...60 кг на 1 га — вносят перед посевом; при норме 70...90 кг часть ее (20...25 кг) можно использовать в подкормку льна в фазе «елочки». При размещении льна по пласту он хорошо обеспечивается азотом, поэтому азотные удобрения вносят перед посевом в небольшом количестве (20...30 кг азота). Основные формы азотных удобрений — аммонийная селитра и мочевина.

Конопля требует высоких норм минеральных удобрений, в первую очередь азотных. Оптимальная норма для большинства почв — 90...120 кг азота на 1 га, на черноземах — 60...90 кг на 1 га. На вновь освоенных торфяных почвах по мере минерализации азотсодержащих органических веществ норму азота снижают до 30 кг. При сочетании минеральных удобрений с навозом норму азота также уменьшают. Всю норму азотных удобрений под коноплю вносят весной под предпосевную культивацию.

Сахарная свекла в период прорастания семян требует умеренного питания азотом. Поступление повышенных его количеств извне, особенно в аммиачной форме, может ослабить всходы растений, не успевших еще развить листовой аппарат. В следующий период, когда растения усиленно развивают корни и ботву, потребность в азоте сильно возрастает. Наконец, в период накопления сахара значение этого элемента в питании растений снова уменьшается. В соответствии с биологическими особенностями сахарной свеклы и должна строиться система удобрения этой культуры. Основное удобрение вносят осенью под глубокую пахоту, рядковое в небольших дозах (8...10 кг азота на 1 га) одновременно с посевом семян вместе с фосфорными удобрениями.

В рядки лучше вносить натриевую селитру. Преимущество ее перед другими азотными удобрениями объясняется не только формой азота, но и положительным влиянием натрия.

При внесении 120...150 кг азота на 1 га небольшую часть (20...25 кг азота) можно внести в подкормку в ранние фазы развития этой культуры. Слишком поздние подкормки вызывают накопление в корнеплодах азотистых соединений, в частности небелкового азота, уменьшают содержание сахарозы, сильно затягивают вегетацию. При поливе положительное действие подкормок на урожай сахарной свеклы значительно возрастает.

Для получения урожая сахарной свеклы 300 ц с 1 га на неорошаемых землях и 500 ц на орошаемых в производственных условиях применяют следующие нормы азота (в кг на 1 га): в виде основного удобрения на черноземах — 60...90, на дерново-подзолистых — 90...120,

на орошаемых сероземах и каштановых почвах — 120...150 и в виде подкормки — 20...30.

Картофель интенсивно поглощает питательные вещества после начала цветения. В этот период растения имеют вполне развитую ботву, у них начинается усиленный рост клубней. При внесении азотных удобрений урожай картофеля значительно повышается. Более высокие прибавки получаются на дерново-подзолистых почвах, на серых лесных и выщелоченных черноземах эффективность азотных удобрений снижается.

При избытке азота после цветения период вегетации удлиняется, усиливается рост ботвы, клубни израстаются и образуются столоны второго и третьего порядков, снижается качество урожая.

Хорошей формой азотного удобрения под картофель являются аммиачная селитра и сульфат аммония в норме 60...90 кг азота на 1 га. Азотные удобрения вносят под картофель до посева. Часть нормы (15...20 кг азота) используют также местно, при посадке в лунки.

Табак очень отзывчив на азот. Для получения высокого урожая хорошего качества необходимо правильное питание этой культуры азотом. Качество табака, помимо содержания в нем никотина, зависит от количества белков и углеводов, содержания в листьях жиров, смол и эфирных масел, яблочной, лимонной и других органических кислот. Высокое содержание белковых веществ, так же как и значительное преобладание углеводов над белками, отрицательно влияет на качество табака.

Нитратная форма азота усиливает накопление лимонной и яблочной кислот, аммиачная форма способствует образованию более восстановленных продуктов, в частности эфирных масел.

Повышенный уровень азотного питания ведет к увеличению содержания никотина и белков, удлинению периода вегетации. Средняя норма азотного удобрения под табак 60...90 кг азота на 1 га. Основную долю ее (60...70%) вносят весной до посева. Остальное количество — местно, при посадке.

Махорка очень отзывчива на внесение азота. Учитывая, что для махорки необходимо сохранить высокое содержание никотина, под нее дают более высокие нормы азотных удобрений. Она сильно отзывается на органические удобрения. При сочетании органических удобрений с минеральными получают более высокие урожаи махорки.

Чайный куст. Азоту принадлежит важное значение в повышении урожая чайного листа. Удобрение чайного куста азотными туками повышает урожай на 40...50% и более.

Наилучшим для чайного куста является совместное применение органических и минеральных удобрений. Из форм минеральных туков рекомендуются аммиачная селитра, сульфат аммония и сульфат аммония-натрия в норме 150...200 кг азота на 1 га. Норма азотных удобрений зависит от свойств почвы, содержания в ней гумуса, а также от возраста культуры. Удобрения вносят в два срока: 60% ранней весной и 40% летом в междурядья в зону обрабатываемой полосы с заделкой на глубину 6...8 см. На молодых плантациях азот вносят весной

лентами на расстоянии 8...10 см от корневой шейки куста в норме 40...60 кг на 1 га.

Овощные культуры предъявляют высокие требования к азотному питанию в течение всей вегетации.

Наиболее интенсивный прирост урожая капусты наблюдается в июле — августе (84% общего урожая); в это время капуста поглощает много азота.

Морковь больше всего усваивает азота в конце августа — сентябре.

Поступление азота в огурцы возрастает постепенно, достигая максимума в период роста завязей. В дальнейшем поступление азота резко уменьшается.

Большое значение азотные удобрения имеют для повышения урожая томатов.

Нормы азотных удобрений для овощных, возделываемых в Нечерноземной зоне, 60...120 кг азота на 1 га при условии внесения 20...30 т навоза.

Плодовые и ягодные культуры наиболее отзывчивы на азотные удобрения. Высокая эффективность их проявляется как при отдельном внесении, так и в сочетании с фосфорно-калийными туками. Удобрение азотом способствует ускорению роста вегетативных органов, образованию плодовых почек, завязей, увеличению размера плодов и улучшению их качества.

Удобрения следует заделывать глубоко в почву, по возможности близко к основной массе мочковатых корней. Это достигается внесением удобрений в скважины и канавки или введением специальным шприцем на глубину 50 см и более. В период полного плодоношения плодовых (яблоня, груша, вишня и др.) обычная норма азота при ежегодном внесении 60...90 кг, для южных культур (слива, персик, фундук, маслина, хурма и др.) — 60...90 кг, иногда до 120 кг на 1 га. Для ягодных растений (земляника, смородина, крыжовник и др.) в зависимости от плодородия почвы норма азота 45...60 кг на 1 га.

Избыточное азотное питание плодовых и ягодных культур нежелательно, так как стимулирует вегетативный рост в ущерб плодоношению.

Кормовые злаковые травы чрезвычайно отзывчивы на азотные удобрения. Продуктивность сенокосных угодий и культурных пастбищ, удобренных азотом, значительно возрастает, повышаются урожай сена и его качество. Азотные удобрения при орошении вносят в норме от 120 до 240 кг азота на 1 га в три-пять подкормок перед поливом трав.

ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

РОЛЬ ФОСФОРА В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ

Окисленные соединения фосфора безусловно необходимы всем живым организмам. Без фосфорной кислоты не может существовать ни одна живая клетка. Нуклеопротеиды — важнейшее вещество клеточных ядер — содержат в своем составе фосфорную кислоту. Нуклеопротеиды — соединения белков с нуклеиновыми кислотами. Последние содержат фосфорную кислоту. Как и белковые вещества, нуклеиновые кислоты — высокополимерные соединения коллоидного характера. Различают рибонуклеиновую (РНК) и дезоксирибонуклеиновую (ДНК) кислоты. Структура их необычайно сложна, хотя они и состоят лишь из четырех основных компонентов — нуклеотидов. В структуре нуклеиновых кислот «записаны» наследственные особенности организма, поскольку по ним воспроизводятся синтез и структура белковых молекул у потомства. В свою очередь, и белки, в частности ферменты, оказывают влияние на синтез РНК и ДНК.

В нуклеиновых кислотах содержание фосфора составляет около 20% (в расчете на P_2O_5). Нуклеиновые кислоты имеются в каждой растительной клетке, во всех тканях и органах. Их содержание в листьях и стеблях достигает 0,1...1% сухой массы; в молодых листьях и в точках роста побегов их больше, чем в старых листьях или в стеблях. Особенно высоким содержанием нуклеиновых кислот отличаются зародыши семян, пыльца, кончики корней.

Фосфор содержится также в составе ряда других органических веществ растений, таких как фитин, лецитин, сахарофосфаты и др. Фитин (кальциево-магниево-калиевая соль инозитфосфорной кислоты) — эфирообразное соединение шестиатомного спирта инозита и шести молекул фосфорной кислоты; содержит 27,5% P_2O_5. Фитину принадлежит первое место среди других фосфорных соединений по содержанию в семенах и вегетативных органах некоторых сельскохозяйственных культур.

Особенно много фитина содержится в семенах, несколько меньше в молодых органах и тканях растений. Содержание фитина в семенах бобовых и масличных культур составляет 1...2% сухой массы, а в семенах злаков 0,5...1%. В семенах фитин служит запасным веществом, и фосфорная кислота, входящая в его состав, используется при их прорастании.

Лецитин — представитель группы фосфатидов, жироподобных веществ, встречающихся в цитоплазме всех деятельных клеток растения,

но накапливается он преимущественно в семенах. Лецитин содержит 1,37% P_2O_5 и является производным диглицеридфосфорной кислоты, магниевые и кальциевые соли которой обнаруживаются в листьях.

Фосфатиды играют очень важную биологическую роль, так как входят в состав фосфолипидных мембран, регулирующих проницаемость клеточных органелл и плазмалеммы для различных веществ.

Фосфорные эфиры сахаров, или сахарофосфаты,— группа фосфорных соединений, постоянно присутствующих во всех тканях растений. Эти соединения играют особенно существенную роль при дыхании, биосинтезе сложных углеводов (сахарозы, крахмала и др.) из более простых, в процессе фотосинтеза, при взаимных превращениях углеводов и т. д.

Сахарофосфаты обладают значительной лабильностью, большей реакционной способностью по сравнению со свободными сахарами благодаря присоединению фосфорной кислоты. Содержание сахарофосфатов изменяется в заметной степени в зависимости от возраста растений, условий их питания, а также других факторов, составляя от 0,1 до 1,0% сухой массы.

Таким образом, фосфор входит в состав многих органических биологически важных веществ в растениях, без которых жизнедеятельность организмов невозможна. Однако этим роль фосфора не исчерпывается. Для осуществления синтетических процессов, например, биосинтеза белков, жиров, крахмала, сахарозы, необходима затрата значительного количества энергии, которая доставляется так называемыми макроэргическими соединениями. Эти соединения имеют макроэргические связи; величина свободной энергии гидролиза их составляет 25...67 кДж на 1 моль, что намного больше, чем свободная энергия гидролиза обычных сложноэфирных связей (8...12 кДж на 1 моль).

В настоящее время известно большое число макроэргических соединений, в состав большинства которых входит фосфор, и макроэргические связи образуются при участии фосфорной кислоты.

Несмотря на значительное число макроэргических соединений в живых организмах, основная роль среди них принадлежит аденозинтрифосфорной кислоте (АТФ). Она является главным акцептором энергии, освобождающейся при расщеплении органических соединений в клетках, и основным переносчиком, поставщиком энергии, необходимой для осуществления синтетических процессов.

АТФ состоит из остатка азотистого основания аденина, соединенного с остатком углевода рибозы и с тремя остатками фосфорной кислоты. В ее составе имеются две макроэргические фосфатные связи. АТФ как переносчик энергии участвует в биосинтезе белков, жиров, крахмала, сахарозы, аспарагина и глутамина, ряда аминокислот и многих других соединений.

У молодых быстро растущих растений фосфор концентрируется преимущественно в меристематической ткани. Он легко передвигается внутри растения и перемещается из старых тканей в более молодые, т. е. реутилизируется (используется повторно). По мере созревания культур бо́льшая часть усвоенного растением фосфора сосредоточивается в семенах и плодах (в семенах злаков до 50%).

71. Формы фосфорнокислых соединений в растениях (в % 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	89,6	10,4
Клевер (сено)	0,554	0,050	0,300	0,050	0,084	0,484	0,070	87,0	13,0

Минеральные соли фосфорной кислоты не накапливаются в значительных количествах ни в вегетативных органах, ни тем более в семенах, если фосфорное питание растения протекает нормально. Однако избыток легкодоступного фосфора в почве или запоздалое внесение фосфорных удобрений, а также недостаток азота и других питательных веществ могут привести к увеличению содержания минеральных фосфатов в растении, не использованных в процессах синтеза органических фосфорсодержащих соединений.

В растениях резко преобладают органические соединения фосфора, и среди них фитин (табл. 71).

Представляет интерес распределение фосфора между клеточными структурами. На примере листьев клевера показано, что содержание фосфора (в % от общего его содержания) было в цитоплазме 50, в ядре 21, в пластидах 19, в митохондриях 10.

Довольно значительная доля фосфора (у озимой ржи 15,1%, у салата 22% от общего содержания в листе) приходится на хлоропласты, в которых сосредоточен фотосинтез.

ИСТОЧНИКИ ФОСФОРА ДЛЯ РАСТЕНИЙ

Главным источником фосфора для растений в природных условиях являются соли ортофосфорной кислоты. Однако установлено, что и пиро- и вообще полифосфаты после гидролиза также могут быть использованы всеми культурами. Метафосфаты усваиваются и без гидролиза, но в основной своей массе тоже подвергаются гидролизу, так как обычно представлены полимерами, например $(KPO_3)_4$.

Будучи трехосновной, ортофосфорная кислота может отдиссоциировать три аниона: $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} и PO_4^{3-}. Из них в условиях слабокислой реакции среды (pH), в которых растения чаще всего возделываются, наиболее распространенным является первый, но представлен и второй из перечисленных ионов, третий же практически не участвует в питании растений (табл. 72).

В почвенных условиях, когда pH раствора колеблется от 5 (дерново-подзолистые почвы) до 7 (черноземы), растения имеют в своем распоряжении главным образом $H_2PO_4^-$ и в меньшей степени HPO_4^{2-}. В почве

72. Соотношение (в %) недиссоциированных молекул H_3PO_4 и ёе анионов при различных значениях pH среды

Кислота, ионы	pH			
	5	6	7	8
H_3PO_4	0,10	0,01	—	—
$H_2PO_4^-$	97,99	83,68	33,90	4,88
HPO_4^{2-}	1,91	16,32	66,10	95,12
PO_4^{3-}	—	—	—	0,01

имеются только соли ортофосфорной кислоты, но в современных сложных удобрениях могут быть и соли мета-, пиро- и полифосфорных кислот. На доступности их растениям мы остановимся ниже (см. Комплексные удобрения).

Однако существует группа культур, отличающихся способностью усваивать фосфор и при наличии в среде только трехзамещенных фосфатов кальция или даже более сложных по составу и еще менее растворимых естественных фосфоритов. К таким культурам относятся люпин, гречиха, горчица, а также горох, донник, эспарцет и конопля, которые хотя и в меньшей степени, чем первые три, но все же усваивают фосфор из фосфорита.

Способность указанных растений питаться за счет труднорастворимых фосфатов объясняется прежде всего кислотностью корневых выделений. Давно было показано, что в пленке раствора, прилегающей к поверхности корневых волосков люпина, pH равно 4...5, а в аналогичной прикорневой зоне клевера pH равно 7. . .8. Исходя из этих показателей, можно объяснить, почему люпин растворяет фосфорит, а клевер — нет. Однако реакция клеточного сока внутри корней не коррелирует со способностью растений растворять фосфорит, ибо у большинства сельскохозяйственных культур pH клеточного сока колеблется в пределах 5...7, т. е. близок к нейтральной точке. Сильнокислая реакция клеточного сока присуща лишь щавелю, бегонии и ревеню. У них pH клеточного сока достигает 1,2...1,5.

Ф. В. Чириков обратил внимание на весовое соотношение CaO и P_2O_5 в фазе цветения у растений, способных питаться за счет труднорастворимых фосфатов и лишенных этой способности. Оказалось, что у люпина, гречихи и горчицы этот показатель выше 1,3, у злаков же это соотношение ниже 1,3. Таким образом, у растений первого типа более интенсивное удаление кальция из внешнего раствора усиливает переход в раствор фосфорной кислоты фосфорита, что полнее обеспечивает потребности культуры в фосфат-ионах за счет фосфоритной муки. Растения второго типа, поглощающие мало кальция, сдерживают тем самым и растворение фосфорита, вследствие чего такие культуры, а их большинство, не удовлетворяют своих потребностей в фосфорной кислоте из фосфоритов и вообще из труднорастворимых фосфатов.

Но из приведенного правила имеются и исключения. Так, у льна-долгунца соотношение $CaO : P_2O_5 = 1,8$ и с возрастом оно еще больше

возрастает, тем не менее это растение не может питаться фосфором из фосфорита. То же приходится констатировать и для могара. Следовательно, соотношение $CaO : P_2O_5$ в золе растения нельзя считать единственным условием питания культуры за счет труднорастворимых источников фосфора.

Важная роль принадлежит и внешним условиям: сопутствующим удобрениям (точнее, их физиологической кислотности) и потенциальной кислотности почвы.

Еще меньшей доступностью растениям отличаются средние и особенно основные соли трехвалентных катионов и ортофосфорной кислоты, составляющие значительную долю фосфатов в кислых почвах [$AlPO_4$, $Al_2(OH)_3PO_4$, $FePO_4$, $Fe_2(OH)_3PO_4$ и др.].

Могут ли высшие растения усваивать органические фосфаты? Итоги экспериментальных работ по усвоению растениями фосфора из органических соединений показывают, что нет оснований считать их непосредственно доступными растениям в заметном количестве без предварительного отщепления минеральных фосфатов ферментами микроорганизмов или корневых систем.

Внешние симптомы фосфорного голодания растений проявляются в сине-зеленой окраске листьев, нередко с пурпурным или бронзовым оттенком (свидетельство задержки синтеза белка и накопления сахаров). Часто листья мельчают и развиваются более узкими, края их загибаются кверху (картофель). Окраска их темнее, чем у нормально питающихся фосфором. У табака при фосфорном голодании листья располагаются под прямым углом к стеблю, пластинка их как бы вытягивается, становится длиннее и уже.

При недостатке фосфора приостанавливается рост культур, задерживается созревание урожая.

Следует, однако, отметить, что избыток фосфора ведет к плохому использованию его растением, так как в этом случае много фосфатов находится в минеральной форме, особенно в вегетативных органах (в семенах до 90% фосфата бывает в органических соединениях). При избытке фосфора растения созревают преждевременно, не успев синтезировать хороший урожай.

Фосфора в растениях содержится гораздо больше в зерне и вообще в товарной продукции урожая, нежели в соломе и другой нетоварной массе, представленной вегетативными органами. Исключением является картофель.

Содержание фосфора в растениях, в почве и удобрениях принято выражать в пересчете на его пятиокись — P_2O_5 (табл. 73).

Абсолютный вынос фосфора с товарным урожаем всегда выше, нежели с нетоварным (это будет показано в дальнейшем изложении).

Влияние фосфора на жизнедеятельность растений весьма многообразно. Хорошее фосфорное питание не только значительно повышает урожай сельскохозяйственных культур, но и заметно улучшает его качество. У хлебов увеличивается доля зерна в общей массе, зерно становится более богатым крахмалом, а иногда и белками. В плодах и корнеплодах накапливается больше углеводов. Прядильные культуры имеют более длинное, более прочное и более тонкое волокно.

73. Содержание фосфора в основных органах некоторых культурных растений

Культура	Содержание P_2O_5 (в %)		Примечание
	в зерне, клубнях	в соломе, ботве	
Озимая пшеница	0,85...1	0,2	При уборке (14,3% влаги в зерне и 16% в соломе)
Горох	0,9...1,1	0,35	То же
Картофель	0,14	0,16	В свежем состоянии, перед уборкой (75% влаги в клубнях и 77% в ботве)

В противоположность азоту фосфор ускоряет развитие культур, что позволяет в южных районах страны уменьшить опасность попадания зерновых под суховей, а в северных — яровых хлебов под заморозки (ранней осенью). Повышение содержания растворимых углеводов в клеточном соке понижает точку замерзания растений, что приводит к усилению зимостойкости озимых культур и многолетних бобовых трав под влиянием фосфорных удобрений, вносимых с осени. Увеличивается также прочность соломины и стойкость к полеганию у хлебов.

ХИМИЧЕСКОЕ СВЯЗЫВАНИЕ ПОЧВАМИ ФОСФАТОВ

Способность почв к поглощению фосфорной кислоты настолько велика, что для полного ее насыщения необходимо внести от 5 до 10 т P_2O_5 на 1 га. Напомним, что валовое содержание P_2O_5 в пахотном слое достигает лишь 3...6 т на 1 га. Из этого видно, что задача насыщения почвы фосфатами нереальна не только по экономическим соображениям, но даже чисто технически. Между тем около 40 лет назад под влиянием преувеличенных тогда опасений связывания красноземом вносимых фосфорных удобрений «намертво», т. е. перевода в совершенно недоступные растениям соединения, всерьез предлагалось запахивать на 1 га сразу 3 т этого вещества и тем сделать возможным эффективное действие последующих, уже нормальных норм суперфосфата на чайных плантациях.

Агрохимики уже в то время предлагали иной выход: вносить на кислых почвах фосфоритную муку вместо суперфосфата, чтобы использовать почвенную кислотность для разложения фосфорита. В случае применения суперфосфата указывалось на важность его локального внесения, что исключает взаимодействие удобрения с большой массой почвы, а следовательно, и уменьшает химическое связывание фосфорной кислоты.

Время показало правоту агрохимии: внесение фосфоритов на сильнокислых почвах чайных плантаций оказалось равноценным внесению суперфосфата. В случае же использования суперфосфата его по необходимости вносят в междурядья, без перемешивания с большим

количеством почвы. Выяснилась также необычайная длительность последействия ранее внесенных фосфорных удобрений и на красноземах и субтропических подзолистых почвах, это разъяснило неосновательность опасений «мертвого» связывания фосфатов даже на таких почвах, богатых полуторными окислами.

В еще большей степени такие опасения преувеличены применительно к другим типам почв, особенно в отношении тех из них, реакция (pH) которых находится в интервале от слабокислой до слабощелочной. Водорастворимые соли фосфорной кислоты, попадая в такие почвы с удобрениями, превращаются через некоторое время в результате химического связывания в двухзамещенные фосфаты кальция и магния ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, $MgHPO_4$) и долгое время остаются в этом виде, доступном для всех культур. В последующем начинается постепенное замещение оставшегося в двухзамещенной соли иона водорода кальцием или магнием с образованием трехзамещенных фосфатов этих металлов $Ca_3(PO_4)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$ и более основных фосфатов. Но и эти соли, пока они находятся в свежеосажденном аморфном состоянии, сохраняют свойства заметно растворяться в слабых кислотах, а значит и остаются в частично усвояемом для растений виде. Только по мере «старения» трехзамещенные и более основные соли фосфорной кислоты становятся недоступными для большинства культурных растений.

Хуже обстоит дело в кислых почвах, где, как уже отмечалось, могут за счет водорастворимых фосфатов кальция появляться фосфаты железа и алюминия. Но с этой опасной тенденцией можно бороться известкованием таких почв, что влечет за собой обратный переход фосфатов полуторных окислов в фосфорнокислые соли кальция и магния, причем действие извести и в этом отношении отличается большой продолжительностью и не исчерпывается даже десятком лет.

Анализы выщелоченных черноземов Мироновской (Киевской области) и Сумской опытных станций после длительного внесения суперфосфата показали, что около половины ранее примененных фосфатов находилось в виде солей, извлекаемых дистиллированной водой, насыщенной CO_2; нет сомнения, что это легкоусвояемые для всех культур формы фосфора.

Нередко слабое последействие фосфорных удобрений может быть объяснено не прочным связыванием почвами ионов фосфорной кислоты, а недостатком для растений азота и калия. Применение этих удобрений сразу же усиливает последействие фосфатов.

Известно также, что при длительном систематическом применении фосфорных удобрений в повышенных нормах (т. е. в несколько раз превосходящих потребление фосфора урожаями) в почве могут накапливаться столь значительные количества усвояемых фосфатов, что перестают действовать вновь вносимые фосфорные удобрения.

Разумеется, на подобных участках и полях нет нужды в дальнейшем применять фосфаты до тех пор, пока культуры смогут питаться за счет последействия накопившихся в почве резервов легкодоступного фосфора благодаря многолетнему внесению его с удобрениями.

Вскрытие сущности зафосфачивания почв позволяет сделать два вывода: во-первых, оно лишний раз доказывает отсутствие закрепления

в почве фосфатов «намертво» в значительном количестве; во-вторых, оно хорошо иллюстрирует роль агрохимических анализов почвы в целях обоснования разумного применения удобрений. Без таких анализов невозможно было бы выделить участки поля с различным содержанием усвояемого фосфора, а отсюда и правильно наметить нормы фосфора. Длительное применение фосфорных удобрений в Ротамстеде привело к тому, что последействие их продолжается уже 50 лет.

На фосфаты в почве оказывают влияние органические вещества, влажность и температура (помимо рассмотренного уже выше влияния природы глинистых минералов, полуторных окислов и реакции среды). Установлено, что гуматы натрия увеличивают подвижность в почве фосфатов кальция, однако влияние их не распространяется на фосфаты полуторных окислов. Отмечено также, что добавление гумуса (извлеченного из торфа) повышало действие монофосфата кальция на красноземе в вегетационном опыте с овсом. По-видимому, здесь имеет место адсорбционное поглощение органических анионов на почвенных коллоидальных частицах (в том числе полуторных окислов) с положительным зарядом, что мешает связыванию ими фосфатного аниона и тем самым увеличивает его доступность растению. Это связано с тем, что многие органические кислоты (винная, лимонная, малеиновая, малоновая, молочная, щавелевая) связывают в кислой среде катионы алюминия и железа, мешая им переводить фосфат-ионы в труднорастворимую и плохо доступную растениям форму.

Практический вывод из этих фактов также известен. Он заключается в применении смеси перегноя с суперфосфатом (или полным минеральным удобрением), что нередко существенно повышает эффективность фосфора и других питательных веществ. Следует отметить, что влияние перегноя многостороннее: он способствует уменьшению химического связывания фосфат-ионов почвенными частицами (и особенно полуторными окислами,), будучи адсорбентом, повышает буферность почвы в тех очагах, где оказался перегной, смягчая вред физиологической кислотности аммиачных и калийных солей; наконец, сам перегной является источником питательных элементов для растений (азота, фосфора, серы и пр.), если нормы его внесения достаточны.

Изучая динамику фосфатов почвы при изменении влажности, А. Н. Лебедянцев открыл, что высушивание черноземной почвы приводит к резкому повышению в ней подвижности фосфорнокислых солей, что положительно сказывается на плодородии. Разъясняя это явление, В. А. Францесон показал, что при быстром смачивании высушенной почвы происходит энергичное разрушение почвенных агрегатов. Не исключено, что благодаря обнажению при этом новых, внутренних поверхностей переходят в раствор ранее скрытые соединения фосфора. Результатом такой «распаковки» почвенных агрегатов является и повышение подвижности органического вещества почвы.

В хозяйственных условиях пересыхание почв случается независимо от воли земледельца, а в связи с сухими и засушливыми периодами. При этом подмечено, что после засушливого года урожайность нередко повышается. Трудно пока утверждать, что это следствие только улучшения фосфатного режима почвы. Высушивание почвы усиливает в

ряде случаев подвижность ее фосфатов и поглощение фосфорнокислых солей. Так, мощный чернозем Воронежской области при доведении его до воздушно-сухого состояния поглощал из слабого раствора монофосфата кальция в 4...5 раз больше фосфорной кислоты, чем во влажном состоянии. Возможно, это связано с тем, что все почвы поглощают фосфатов больше из более концентрированных растворов. Если это так, то в практике применения жидких фосфорсодержащих удобрений следует ожидать более полного поглощения почвами фосфорной кислоты. Важен и механический состав: частицы крупнее 0,01 мм почти не поглощают фосфаты.

Более слабая по сравнению с азотом и калием доступность растениям фосфора даже из растворимых удобрений и подвижных запасов почвы (от 10 до 15%) обусловлена рядом причин. Главнейшими из них можно считать следующие: крайне слабую диффузию фосфатионов в почве (вследствие энергичного химического, физико-химического и биологического связывания их ее компонентами); недостаточный охват усваивающей корневой системой всего объема почвы (по данным некоторых ученых, в контакте с корнями находится лишь $^1/_{250}$ объема почвы); часто низкий уровень влажности почвы, затрудняющий и без того слабую диффузию в ней фосфатов.

С глинистыми разновидностями почв фосфаты образуют менее растворимые формы, нежели с легкими суглинками. Отсюда и неодинаковый эффект равных норм P_2O_5 на разных почвах, хотя при оптимальном увлажнении диффузия фосфорнокислых солей может быть более заметной в глинистых почвах, чем в песчаных.

В опытах многократно отмечено, что условия фосфорного питания растений складываются более благоприятно (особенно на кислых почвах) при очаговом размещении фосфорных удобрений в почве. Очаги создаются ленточным размещением гранулированных удобрений.

Установлено, что в ходе взаимодействия суперфосфата с почвой образуется до 30 соединений фосфорной кислоты, сильно различающихся по устойчивости, растворимости и доступности растениям.

АНИОНЫ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ, ОБМЕННОПОГЛОЩЕННЫЕ ПОЧВАМИ

Входящие в состав почв глинистые минералы адсорбируют фосфат-анионы сильнее всего в кислой среде. Так, иллит (минерал из группы гидрослюд) при pH 4,5 адсорбировал 9 м.-экв. этих анионов на 100 г, а каолинит — при pH 4...7,7 м.-экв. Бентонит при pH 4 адсорбировал 9,7 м.-экв. $H_2PO_4^-$. Как известно, по обменному поглощению катионов монтмориллонитовая группа глинистых минералов, к которой принадлежит бентонит, резко превосходит каолинитовую группу. Но этого не видно по обменному поглощению аниона фосфорной кислоты. Объясняют эту аномалию тем, что у минералов группы монтмориллонита гиббситовый слой с обеих сторон блокирован кремнекислородными тетраэдрами, в то время как у минералов каолинитовой группы этот слой прикрыт тетраэдрическим лишь с одной стороны. Ионы $H_2PO_4^-$ могут поглощаться глинистыми минералами в

обмен на OH^--группы гиббситового слоя. Возможно, однако, что преобладает адсорбция этих анионов по типу потенциалопределяющих ионов.

Считают возможным и образование тетраэдров $[PO_2(OH)_2]^-$, которые удерживаются на поверхности кристалла глинистого минерала или даже обмениваются на кремнекислородные тетраэдры SiO_4. Существует концепция, согласно которой наряду с химическим связыванием фосфат-ионов гидратами полуторных окислов происходит и обмен гидроксильных групп этих окислов в коллоидальном состоянии на $H_2PO_4^-$; схематически реакция идет следующим образом:

$$\begin{array}{l|l} \text{коллоид} & OH^- \\ \text{Al/Fe оксидов} & OH^- \\ & OH^- \end{array} + H_2PO_4^- \longrightarrow \begin{array}{l} \text{коллоид} \\ \text{Al/Fe оксидов} \end{array} \left| \begin{array}{l} OH^- \\ OH^- \\ H_2PO_4^- \end{array} \right. + OH^-$$

Отмечалось также, что анионы фосфорной кислоты, помимо адсорбции на положительно заряженных коллоидных частицах почвы, могут в качестве ацидоидов вступать в соединения с амфолитоидами почвы, которые при pH среды ниже их изоэлектрической точки будут нести положительный заряд и являться базоидами. Подобный тип связывания хорошо выражен у красноземов; однако такое поглощение фосфатов надо отнести уже к химическому типу.

Вполне закономерно, что если глинистые минералы, составляющие минеральную часть почвы, обладают свойством поглощать и обменивать анионы фосфорной кислоты в довольно значительном количестве, то и сама почва должна быть способна к такому обмену. Пользуясь методом вытеснения адсорбционно-связанной почвами фосфорной кислоты фтористым аммонием (0,03 н.), растворенным в соляной кислоте (0,1 н.), А. Г. Марковский установил на примере ряда почв СССР, что из вносимых фосфорных удобрений они обменно адсорбируют заметное количество фосфат-ионов. Даже после длительного взаимодействия растворимых фосфатов с почвами реактив Дикмана и Брея извлекает до 70% введенной фосфорной кислоты, причем 30...75% ее от этого количества оказывается адсорбированной обменно. Но с течением времени химическое связывание начинает преобладать.

Большую роль сыграло применение радиоизотопного метода. Как показано В. Б. Замятиной (1954), внесение в окультуренную дерново-подзолистую почву фосфата, меченного ^{32}P, приводит к быстрому изотопному обмену. Уже через 1 ч этот обмен протекает на 80%, причем 25% минеральных соединений фосфора почвы оказывались спустя этот отрезок времени мечеными и 89% из них было обменнопоглощенными. Результат изложенного исследования позволяет считать, что в изотопный обмен вовлекается более всего подвижная часть фосфора почвы — адсорбционно-связанная.

В. М. Клечковским установлено, что не только в нейтральном черноземе, но и в кислых подзолистой и красноземной почвах значительные количества введенного аниона фосфорной кислоты закрепляются в обменной форме и что этот ион может быть снова вытеснен в раствор при обработке почвы солевым раствором.

И. П. Сердобольским подтверждено наличие обменного поглощения фосфат-ионов у обыкновенного чернозема Каменной степи, оподзоленного суглинка из Долгопрудного; но краснозем обладает этой способностью лишь в слабой степени. На двух названных почвах обменное поглощение достигало от 2...3 до 20...35% введенного фосфора, в зависимости от условий опыта (испытывались дозы до 200 мг P_2O_5 на 100 г почвы). Отмечено, что из концентрированных растворов обменная адсорбция была выражена сильнее.

Таким образом, факт обменного поглощения в почвах фосфатных анионов не подлежит сомнению. Это имеет большое значение для питания растений, так как по своей доступности выращиваемым культурам адсорбированные ионы фосфорной кислоты приближаются, как показано опытами, к водорастворимым фосфатам. Однако водорастворимых фосфатов в почвах очень мало, и без поглощения адсорбированных почвой анионов фосфорной кислоты питание растений не было бы достаточным для хорошего роста и достижения высоких урожаев. Следует напомнить, что анионы бикарбоната и органических кислот хорошо вытесняют в раствор фосфатные анионы, адсорбированные твердой фазой почвы. Десорбция обменносвязанных почвами (в том числе торфянистыми) анионов фосфорной кислоты наиболее полно идет при участии анионов: HCO_3^-, лимонной, щавелевой кислот и с помощью гуматов натрия.

Способность растений питаться за счет адсорбированных почвой фосфат-ионов не вызывает сомнений уже потому, что они постоянно выделяют через корни (благодаря дыханию) углекислый газ, который при растворении в воде образует угольную кислоту, диссоциирующую на ионы H^+ и HCO_3^-; последний и обменивается с коллоидами почвы на $H_2PO_4^-$. Кроме того, растениям присущ и экзоосмос органических кислот (яблочной, лимонной и пр.). В самой почве находят немного растворимых гумусовых веществ; входящие в их состав гуминовая и другие кислоты также могут поглощаться почвой с вытеснением фосфатов в раствор. Органические и минеральные кислоты образуются в почве также при разложении микроорганизмами корневых и пожнивных остатков, внесенных органических удобрений и т. д. Следовательно, в почве не может быть недостатка в агентах десорбции фосфатов, что и предопределяет высокую доступность последних растениям.

Однако поскольку обменноадсорбированные фосфат-ионы в почве постепенно переходят в химически осажденные, то фосфорные удобрения надо вносить так, чтобы сохранить их возможно дольше в усвояемом для растений виде (водорастворимое состояние, обменная адсорбция). Обменное поглощение фосфатов полуторными окислами менее долговечно, чем у минералов глины. В связи с переходом гидратов полуторных окислов из аморфного в кристаллическое состояние замечается уменьшение адсорбционного связывания ими фосфорной кислоты и увеличение химического осаждения; этот переход сильнее выражен у гидрата окисла алюминия и слабее — у железа. Растворимые кремнекислые соли, наоборот, усиливают подвижность фосфатов:

$$K_2SiO_3 + CaHPO_4 = CaSiO_3 + K_2HPO_4$$

ПОСТУПЛЕНИЕ ФОСФАТОВ В РАСТЕНИЯ И ВЫНОС ФОСФОРА УРОЖАЕМ

Исследования показали, что растения приспособились к питанию из крайне разведенных растворов. Независимо от природы испытанных растений в опытах минимальная концентрация P_2O_5, при которой кукуруза, овес, пшеница, горох, горчица и гречиха еще могли питаться этим веществом, составляла от 0,01 до 0,03 мг на 1 л.

Разумеется, что растение может удовлетворить свою потребность в фосфоре лишь при наличии весьма большого объема подобного раствора, но этого как раз и не бывает в полевых условиях. Если исходить из массы пахотного слоя почвы на площади 1 га в 3 тыс. т и принять влагоемкость ее в 50% (считая, что вся эта влага доступна корням, хотя последнее невозможно), то при содержании 0,03 мг P_2O_5 в 1 л общее ее количество составит в таком слое почвы лишь 45 г. Допуская, что за время вегетации влажность почвы будет поддерживаться неизменной, а содержание фосфора возобновится 100 раз, мы получим только 4,5 кг P_2O_5 на 1 га. Между тем даже средний урожай зерновых требует не менее 20 кг P_2O_5 на 1 га. Вот почему при содержании 0,03... 0,17 мг/л P_2O_5 во внешнем растворе коэффициент концентрации ее в растении должен достигнуть 4967...552 соответственно.

Нежелательно и излишне высокое содержание фосфора во внешнем растворе. В водных культурах 20-дневные проростки овса не только не поглощали, а даже выделяли ранее поступивший фосфор наружу, если его имелось в питательном растворе более 5 мг/л Р (11,45 мг P_2O_5).

Давно замечено, что в первые периоды роста сельскохозяйственные культуры поглощают фосфаты интенсивнее, чем в последующем. Растение создает резерв этого вещества, перераспределяя его затем между органами в зависимости от потребности их в фосфатах для синтеза органических веществ (конституционных и запасных). В физиологических опытах с ячменем даже полное исключение фосфора из состава питательного раствора после пятинедельного периода роста не отражалось отрицательно ни на его урожае, ни на качестве зерна. Формирование последнего шло за счет миграции фосфатов из вегетативных органов в репродуктивные. В аналогичном эксперименте с яровой пшеницей снятие ее с фосфатного питания сразу же по выколашивании также не причиняло никакого ущерба растению.

Однако все растения крайне чувствительны к фосфатному голоданию в самом раннем возрасте, когда усваивающая способность их неразвитой еще корневой системы весьма слабая. Опытами кафедры агрохимии ТСХА установлено, что если пшеница развивается в раннем возрасте без внесения в почву фосфорного удобрения, а в дальнейшем (после фазы кущения) растение получает его, то это приводит (по сравнению с нормальным фосфатным питанием) не только к недобору зерна, но и к снижению содержания в нем белка с одновременным резким повышением содержания минеральных (неиспользованных) солей фосфорной кислоты как в соломе, так и в зерне. Недостаток фосфатов задерживает образование органических кислот из углеводов, что тормо-

зит связывание поступающего через корни аммиачного азота. Следовательно, фосфорное голодание приводит к слабому использованию растениями азота и других питательных элементов.

Фосфорное голодание растений в ранний период их роста приводит к такой депрессии, что ее невозможно полностью преодолеть даже нормальным последующим питанием. Более того, при голодании в начале своего развития культуры реагируют отрицательно на обильное фосфатное питание в дальнейшем, как это отмечено на хлопчатнике в Узбекистане.

Даже крупносемянные культуры (кукуруза, хлопчатник) сравнительно быстро после всходов исчерпывают запасы фосфора, и если его не добавлено с припосевным удобрением в легкоусвояемой форме, а в почве имеются только нерастворимые в воде соли фосфорной кислоты, то проростки могут замедлить свой рост или даже обнаружить внешние симптомы фосфатного голода. Хлопчатник полностью расходует свои запасы фосфора в семенах на протяжении первых 10...20 дней роста, а кукуруза — в течение первых двух недель. Именно в это время они иногда обнаруживает признаки фосфатной недостаточности, несмотря на наличие больших резервов доступного фосфора в почве. Симптомы фосфорного голодания не появляются, если на некотором расстоянии от семян в почве окажется небольшое количество легкоусвояемой фосфорнокислой соли, внесенной с припосевным удобрением. Обычно с этой целью при посеве кукурузы вносят немного гранулированного суперфосфата (7,5...10 кг P_2O_5 на 1 га, для других зерновых культур — 15 кг, для картофеля — 20 кг P_2O_5 на 1 га).

Содержание P_2O_5 в тканях растений кукурузы составляет 0,30... 0,35%; если оно падает до 0,20%, то листья принимают пурпурную окраску, что в сочетании с замедленным ростом является внешним выражением фосфатного голодания растения; в более поздних фазах развития проявляется задержка в созревании.

Потребность в дополнительном снабжении хорошо усвояемым фосфором еще острее может проявляться у мелкосемянных культур с их весьма скромным запасом фосфатов, обычно недостаточным для энергичного роста. Методом меченых атомов удалось количественно разграничить поглощение растениями фосфора из меченых удобрений и из почвы (табл. 74, 75).

Как видно из таблицы 74, примерно до 4-недельного возраста молодые растения пшеницы берут больше фосфора из удобрения, а в дальнейшем (с более развитой корневой системой) — из почвы. Данные таб-

74. Усвоение фосфора пшеницей из удобрения и почвы

Источник фосфора	Поглощение фосфора (в мг на одно растение)			
	Возраст (недели)			
	2	4	6	8
$NH_4H_2^{32}PO_4$	0,24	1,15	2,11	2,36
Почва	0,06	0,69	3,25	6,27

75. Усвоение P_2O_5 овсом из суперфосфата (^{32}P) и почвы (^{31}P) по фазам развития

Источник фосфора	Фазы роста			
	кущение	выход в трубку	выбрасывание метелки	созревание
	Усвоено P_2O_5 (в мг на одно растение)			
Почва	0,30	1,74	3,25	3,65
В % от всего	20,70	41,70	48,20	56,20
Удобрение	1,15	2,44	3,50	2,84
В % от всего	79,30	58,30	51,80	43,80

лицы позволяют вычислить и темп поглощения фосфора пшеницей: со второй до четвертой недели содержание P_2O_5 в растении возросло в 6,1 раза, четвертой по шестую — в 3,2 раза и с шестой по восьмую — в 1,7 раза. Таким образом, темп накопления P_2O_5 в растении убывает с возрастом.

В опыте в овсом (табл. 75) растения были доведены до созревания. Ясно видно, что с возрастом овса роль почвы в снабжении его фосфором увеличивается.

Работы с применением радиоизотопа фосфора позволили установить высокую скорость передвижения фосфатов как из внешней среды в растение, так и внутри его. Эта скорость в 100 раз и больше превосходит возможные темпы диффузии и осмоса.

С помощью радиозотопа убедительно демонстрируется и неравномерное распределение поступившего фосфора между органами и тканями растения. Активно растущие клетки меристематической ткани корней и листьев получают его в сотни и даже тысячи раз больше, чем те образования, деление клеток которых уже прекратилось.

Развивающееся растение обильно снабжает фосфором молодые листья, причем если приток его извне прекратился, то идет усиленное передвижение фосфатов из старых листьев к молодым. Вследствие этой ярко выраженной реутилизации фосфора следует брать для диагностических анализов на его содержание не молодые листья, а старые.

В первые 10 дней молодые растения кукурузы поглощают легкоусвояемые фосфаты преимущественно из прилегающего к корням слоя почвы толщиной лишь около 1 мм, а в последующие 100 дней — из слоя примерно 5 мм. Большое значение имеет общая концентрация почвенного раствора, а значит и его осмотическое давление: при его повышении усвоение фосфора снижается. Неоднократно было констатировано, что по аммонийному питанию в растениях накапливается фосфора больше, чем по нитратному.

В фазе образования и особенно созревание репродуктивных органов отмечается энергичное передвижение к ним фосфатов из вегетативных частей растения (из соломины и листьев — в колос, из ветвей и стебля — в плоды и т. д.) (табл. 76).

76. Распределение P_2O_5 в кукурузе (в % к массе сухих веществ)

Фазы роста	Междоузлия (снизу)					Метелка	Початок	Стержень	Зерно
	1	3	5	7	9				
Выбрасывание метелки	0,407	0,498	0,672	0,820	0,815	1,91	—	—	—
Полная спелость	0,076	0,124	0,158	0,225	0,239	—	0,644	0,017	0,664

Как видно из данных таблицы, у кукурузы содержание P_2O_5 в стебле увеличивается снизу вверх, т. е. от первого междоузлия к девятому. В период созревания вегетативные органы сильно обедняются фосфатами, которые сосредоточиваются в початке. В фазе выбрасывания метелки фосфора больше всего в ней, а при созревании больше всего фосфора в зерне.

Лен-долгунец поглощает максимальное количество фосфора во время цветения; пшеница — от выхода в трубку до выколашивания; картофель — в июле; сахарная свекла более энергично берет фосфор в листья, но его поступление в корнеплод сильно растянуто (убыль P_2O_5 к концу вегетации в составе ботвы объяснятся ее постепенным отмиранием в тот период, когда еще продолжает расти корнеплод); хлопчатник поглощает $^9/_{10}$ фосфора после цветения.

Сведения о динамике поглощения фосфора определенной культурой позволяют в известной мере принимать меры к устранению недостатка этого питательного вещества в ходе вегетации.

Хотя абсолютное количество фосфора в составе растений на определенной площади, например 1 га, продолжает возрастать до полного созревания культуры, процентное содержание его систематически уменьшается с возрастом растения.

Уменьшение относительного содержания фосфора в урожае означает более быстрое накопление массы органических веществ, в которой распределяется поглощенное ранее и поглощаемое в дальнейшем замедленными темпами количество этого питательного элемента. Но это относится ко всей органической массе урожая, без подразделения ее на товарную и нетоварную. Выше указывалось на передвижение фосфора в период образования семян из вегетативных органов в репродуктивные. Поэтому в семенах не обнаруживается столь резкого уменьшения относительного содержания фосфора по мере созревания, как в соломе (табл. 77).

77. Содержание P_2O_5 (в % к сухому веществу) **в зерне и соломе ячменя в различные периоды**

Даты анализа	Содержание P_2O_5	
	в зерне	в соломе
29 мая	—	0,85
17 июня	1,05	0,56
3 июля	0,90	0,35
27 июля	0,96	0,17

Итак, фосфор, как и азот, концентрируется в товарной части урожая, что должно обязательно учитываться в практике применения фосфорных удобрений. Обычно только малая доля товарной продукции урожая используется непосредственно в хозяйстве. Нетоварная же

продукция почти целиком остается на его территории и в значительной части идет либо на корм, либо в подстилку животным, поэтому в составе навоза возвращается в почву. Но навоз не в состоянии вернуть почве азот и фосфаты, взятые из почвы товарной массой урожая, реализованной за пределами хозяйства. И поскольку цель социалистического сельского хозяйства, если ее выражать в самом общем виде, состоит в максимальном росте производства товарной продукции, то на любой почве рано или поздно наступает момент, когда без добавления азота и фосфора извне, с удобрениями, урожай не может быть систематически возрастающим.

При учете баланса фосфора в хозяйстве приходится в его расходную статью включать не только вынос с урожаем товарной продукции, но и отчуждение с продуктами животноводства. Каждый литр молока, продаваемый с ферм колхозов и совхозов, заключает в своем составе в среднем 0,9 г P_2O_5. 100 молочных коров, дающих по 5000 кг молока, отчуждают с товарной продукцией столько фосфора, что для возмещения его хозяйство должно вносить в почву не менее 7 т 20%-ного суперфосфата. Но это еще не все, ведь использование растениями фосфора в первые 2 года обычно не превышает 25...30% внесенного с удобрением. Следовательно, полная и действенная компенсация будет достигнута только при внесении в 3...4 раза большего количества фосфора этого удобрения, чем отчуждено в составе животноводческой продукции.

Поддержание фосфатного питания растений на должном уровне диктуется не только требованиями растениеводства, но и нуждами животноводства. Низкое содержание фосфатов в кормах делает их неполноценными, что заставляет вводить в рацион скота минеральные соли фосфорной кислоты.

К счастью, в расходе фосфора почти отсутствует его выщелачивание из почвы в грунтовые воды (в отличие от ощутимых потерь из почв азота, серы, кальция и других элементов питания растений).

Более чем столетние наблюдения Ротамстедской опытной станции, исследования в Советском Союзе и в других странах показывают, что вымывания солей фосфорной кислоты из тяжелых почв практически не происходит, но легкие почвы все же теряют этим путем немного солей фосфора. Даже систематическое внесение фосфорных удобрений, обогащающее фосфатами пахотный слой суглинистой почвы, почти не сказывается на их содержании в подпахотных горизонтах.

Примерное потребление фосфора растениями удобно выражать в килограммах P_2O_5 на 1 ц товарной части урожая. Но так как зерно невозможно вырастить без соломы, корнеплоды без листьев, то к этой цифре надо прибавлять и потребление фосфора той нетоварной массой урожая, которая приходится на 1 ц товарной продукции. По обобщенным данным, эти цифры для нескольких культур приведены в таблице 78.

Следует подчеркнуть, что эти показатели относятся к так называемому хозяйственному выносу фосфора с убранным урожаем.

Действие фосфора на растения во многих отношениях противоположно влиянию на них азота. Нормальное питание фосфором несколько ускоряет развитие культур, обусловливая их более раннее созревание.

78. Содержание фосфора в урожае

Культура	Вид товарной продукции	Вынос P_2O_5 (в кг) на 1 ц товарного урожая с соответствующим количеством нетоварной массы
Озимая рожь, овес, ячмень	Зерно	Около 1,0
Озимая пшеница	»	1...1,35
Яровая пшеница	»	1...1,2
Кукуруза	»	0,7...0,9
Горох	»	Около 1,55
Подсолнечник	Семена	До 2,6
Лен-долгунец	Волокно	Около 2,6
Конопля	»	До 6,2
Хлопчатник	Волокно-сырец	До 1,5
Огурцы	Плоды	До 0,14
Табак	Листья	Около 1,5
Томаты	Плоды	До 0,11
Сахарная свекла	Корнеплоды	До 0,18
Капуста	Кочаны	Около 0,10
Картофель	Клубни	До 0,15
Лук	Луковицы	До 0,12
Красный клевер	Сено	Около 0,55
Чайный лист (зеленый)	Листья	0,4...0,5

Под влиянием фосфорных удобрений усиливаются холодостойкость и засухоустойчивость растений, а также сопротивляемость их полеганию. Весьма существенно и повышение качества урожая под воздействием фосфатов. Прежде всего в составе общего урожая быстрее растет доля зерна, чем доля соломы. Улучшается также химический состав растительной продукции: возрастает содержание белков и сахаров, а также крахмала в зерновых и овощных культурах. У прядильных растений при достаточной обеспеченности их усвояемым фосфором изменяются в лучшую сторону прочность, длина и тонина волокна.

Отрицательные последствия избыточного поступления фосфатов в растения выражаются в преждевременном созревании, что сокращает сбор товарной продукции и вызывает накопление в урожае излишне высокого содержания минеральных фосфатов, не использованных в синтетических реакциях, и преждевременном увядании листьев.

СОДЕРЖАНИЕ И ФОРМЫ ФОСФОРА В ПОЧВАХ

В составе земной коры содержание фосфора составляет 0,12 весового процента, или около $1 \cdot 10^{15}$ т.

Запасы фосфора в необрабатываемых почвах зависят от содержания его в материнской породе, так как иного притока его не существует. Положение изменяется при внесении фосфорных удобрений, которые используются растениями далеко не полностью, и это обусловливает постепенное накопление усвояемых фосфатов в пахотном слое культурных почв. Если принять в качестве среднего содержания фосфора в

почве (0...20 см) 0,4%, то в почвенном покрове Земли его будет $1 \cdot 10^{10}$ т. Концентрация фосфора в почвенном растворе колеблется от 0,1 до 1 мг на 1 л, но последняя величина бывает очень редко.

Кристаллические изверженные горные породы содержат около 0,275% P_2O_5, но возникшие после их разрушения, переноса водой и отложения из нее осадочные породы, на которых чаще всего потом образуются почвы, имеют в своем составе в среднем 0,14% P_2O_5. В песчаных породах содержание фосфора выражается лишь сотыми долями процента. Следовательно, на протяжении длительных геологических периодов фосфор терялся в ходе возникновения осадочных пород. Он откладывался из воды в форме желваков или пластов, содержащих фосфорит, в то время как изверженный минерал, богатый фосфором апатит, подвергался измельчению и частично оставался в почвообразующих материнских породах.

Развитие почвообразовательного процесса связано с постепенным переносом корневой системой фосфатов из нижележащих горизонтов в верхние. Поэтому общее содержание P_2O_5 в профиле почвы обычно резко убывает с глубиной. Но этого естественного процесса обогащения фосфатами пахотного слоя недостаточно для удовлетворения потребностей сельскохозяйственных культур при высокой их урожайности и длительном возделывании.

Во всякой почве имеются минеральные и органические соединения фосфорной кислоты. Как правило, преобладают минеральные фосфаты. Это видно из следующих относительных цифр. Если общее содержание P_2O_5 принять за 100, то в пахотном слое доля минеральных фосфатов составит у сильноподзоленной суглинистой почвы 73, среднеподзоленной 69, серой лесной 56, в мощном черноземе 65, каштановой почве 75 и в сероземе 86%.

В почве с нейтральной реакцией основные запасы минеральных фосфатов представлены тонкоизмельченным апатитом. Кислые почвы содержат преимущественно фосфаты железа и алюминия, доступность которых растениям ниже, чем фосфор апатитов. Но при известковании кислых почв часть фосфатов полуторных окислов превращается в фосфаты кальция, что и сказывается положительно на фосфорном питании растений. Растворимые фосфаты, внесенные в кислую почву после ее известкования, более доступны растениям, нежели примененные до известкования.

Органические соединения фосфора в почве содержатся в гумусе (от 0,8 до 2,5% P_2O_5 к его массе в зависимости от типа почвы; бо́льшая цифра относится к серым лесным) и фитатах. При этом кальциевые и магниевые соли фитина содержатся в нейтральных почвах, а фитаты алюми[ния] [же]леза — в кислых. Фитаты составляют до половины орга[нич]ора в почвах. Органические фосфаты занимают от 14% [до] 44% в серых лесных почвах лесостепи всего почв[ен]тальные типы почв занимают промежуточное поло[же]одержание гумуса в почве, тем богаче она и орга[нич]и. Органические фосфаты в почве минерализуются [Ча]сть фосфора в почве (как и азота) находится [ор]ганизмов. Но она невелика. При наличии

даже 5 млрд. бактерий в каждом грамме почвы количество связанной ими P_2O_5 в пересчете на весь пахотный слой не превышает 24 кг на 1 га. По расчетам, масса сухого вещества микроорганизмов составляет 0,5...1% от массы гумуса в бедных органическим веществом подзолистых почвах и сероземах. Для богатых гумусом черноземов эта величина значительно ниже — около 0,1%.

В прослойке почвы, непосредственно прилегающей к корневой системе (ризосфера) люцерны на орошаемых сероземах Средней Азии, численность бактерий может достигать 20 млрд. в 1 г. Тогда в пересчете на 100 г такой почвы содержание P_2O_5 в массе микроорганизмов приближается к 3,2 мг. Но прослойка почвы, составляющая ризосферу, занимает лишь небольшую часть от массы всей почвы в корнеобитаемом слое.

Необходимо отметить, что фосфаты, входящие в состав живой плазмы, не могут играть существенной роли в питании высших растений, пока из-за неблагоприятных условий обитания микроорганизмы не отомрут. Фосфор все время будет передаваться дочерним поколениям при делении клетки материнской особи. Это подтверждено опытами, в которых парамеции метили ^{32}P и установили, что 16 потомков одной клетки в четвертом поколении потеряли во внешнюю среду только 3,9% первоначально содержавшегося в материнской особи фосфора.

Фосфорнокислые соли всех одновалентных катионов (любых ступеней замещения) хорошо растворяются в воде и поэтому легко усваиваются корневой системой. То же можно сказать и об однозамещенных фосфатах кальция и магния. При этом дигидрат $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ гораздо более растворим, чем безводный $CaHPO_4$. Однако из-за быстрого поглощения почвой анионов фосфорной кислоты как химически (образование нерастворимых в воде солей), так и обменно (почвенными коллоидами с положительным зарядом) водорастворимых соединений фосфора в почве бывает крайне мало, — редко более 1 мг на 1 кг сухой почвы. Этого недостаточно для удовлетворительного фосфорного питания большинства культур, причем не потому, что корни не способны поглощать фосфат-ионы из сильно разбавленных растворов.

При содержании 1 мг P_2O_5 в 1 кг почвы этого вещества в пахотном слое (0...20 см) на гектаре будет только 3 кг (масса пахотного слоя обычно принимается равной 3 млн. кг на 1 га), а средний урожай зерновых забирает из почвы не менее 20 кг P_2O_5 с 1 га (технические культуры — гораздо больше). Эти цифры говорят о том, что наличный запас водорастворимых солей, содержащих фосфор, в почве недостаточен для того, чтобы обеспечить средний урожай даже в том случае, если на протяжении вегетационного периода количество растворяющихся в воде фосфатов возобновится несколько раз за счет почвенных запасов.

Однако растения усваивают не только водорастворимые, но и растворяющиеся в слабых кислотах фосфорнокислые соли. Слабые кислоты (угольная и органические: лимонная, яблочная и др.) выделяются корнями. Они и растворяют некоторую часть фосфатов почвы, нерастворимых в воде. В еще большем масштабе кислоты выделяются в почву микроорганизмами (образование азотной кислоты при нитрификации, серной — при окислении восстановленной серы белков и аминокислот,

фосфорной — в ходе минерализации органических веществ, содержащих фосфорную кислоту). Сверх того микроорганизмы выделяют углекислоту и органические кислоты благодаря дыханию и обмену веществ.

В слабых кислотах (или слабых растворах сильных кислот) растворяются двухзамещенные фосфорнокислые соли двухвалентных катионов (кальция и магния), что делает их доступными растениям. Переходу их в растворимую форму способствует самая распространенная в почве кислота — угольная.

Трехзамещенные соли двухвалентных катионов нерастворимы в воде и малорастворимы в слабых кислотах. Поэтому они не могут быть источником фосфора для большинства сельскохозяйственных культур. Исключение составляют люпин, гречиха, горчица и в более слабой степени — горох, конопля, донник и эспарцет, которые усваивают фосфор из трехзамещенных фосфатов почвы и фосфоритов. Особое положение названных культур объясняется двумя их свойствами: более значительным выделением кислот через корни и преобладанием их в составе кальция над фосфором. Обе причины обусловливают лучшее разложение труднорастворимых фосфатов с переходом их в более растворимые соли, которые и поглощаются корневой системой.

На почвах с достаточным уровнем потенциальной кислотности (не менее 2...2,5 м.-экв. на 100 г) и другие растения могут удовлетворительно питаться за счет вносимого фосфорита. Но в этих случаях фосфорит растворяют уже не корневые выделения, а почва.

Следует заметить, что по современным представлениям в почве почти не бывает условий для образования трехкальциевого фосфата. Гораздо вероятнее возникновение еще менее растворимых соединений: октакальцийфосфата $Ca_4H(PO_4)_3 \cdot 3H_2O$ и даже гидроксилапатита $Ca_5(OH)(PO_4)_3$. В кислых почвах возможно образование фосфатов полуторных окислов и на основе их стренгита $Fe(OH)_2H_2PO_4$ и варисцита $Al(OH)_2 \cdot H_2PO_4$. Минимальные величины растворимости фосфатов железа и алюминия находятся при pH почвы 2,2 и 3,7 соответственно, а трехзамещенных фосфатов кальция и магния при pH почвы 6,5 и 10. Таким образом, не удивительно, что слабокислая реакция почвы (pH около 6) наиболее благоприятна для питания растений фосфором. В торфяных болотах на некоторой глубине благодаря восстановительным условиям может накапливаться фосфат закисного железа — вивианит $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$, отличающийся хорошей доступностью растениям.

При минерализации в почве органических веществ, бедных фосфатами, содержание в ней легкорастворимых минеральных солей фосфорной кислоты может не только не повыситься, но даже уменьшиться. Впервые это отметил Л. А. Иванов еще в 1905 г. В его опытах по компостированию веществ такого типа (богатых клетчаткой) с добавлением фосфата натрия (и особенно в сочетании с сульфатом аммония) приходилось сталкиваться с полным исчезновением минерального фосфора. Позднее было установлено, что если в почве минерализуется вещество, содержащее менее 0,2...0,3% P_2O_5, то высвобождения доступных растениям минеральных соединений фосфора вообще не происходит; они полностью связываются микроорганизмами.

Использование растениями органических фосфатов почвы повышается до известных пределов с увеличением ее температуры, что несомненно является следствием усиления процессов микробиологического разложения гумуса и других органических соединений. В экспериментах было показано, что если вегетационные сосуды погружались в водяные бани с температурами 20 и 35°С, то в первом случае лучше использовались минеральные, а во втором — органические фосфаты.

В почве открыты бактерии, частично разлагающие труднорастворимые минеральные фосфаты с переводом их в более легко растворимые. Этому же способствуют и химические реакции, связанные с выделением кислот в почвенный раствор как корнями, так и микробами.

Оценка доступности растениям фосфора из почвы. Легкоусвояемых фосфатов в большинстве почв очень мало. Например, в мощном черноземе из Воронежской области, который содержит 0,144% P_2O_5 (4230 т на 1 га в пахотном слое), растворимая в 2%-ной уксусной кислоте часть ее составляла только 21 кг на 1 га. Подзолистая суглинистая почва Московской области, имеющая 0,146% P_2O_5 (4380 т на 1 га в пахотном слое), содержала на 1 га лишь 6 кг уксуснорастворимой P_2O_5. Эти данные свидетельствуют, что без внесения фосфорных удобрений удовлетворительного урожая добиться трудно на обоих типах почвы, и особенно на подзолистой, что и подтверждает практика.

Наиболее доступны растениям водорастворимые соли фосфорной кислоты, но их в почвах обычно бывает так мало, что содержание их, как правило, не может служить достоверным критерием для суждения о степени обеспеченности культур фосфором. Разумеется, последнее вовсе не означает, что наличие этих солей в почве не надо принимать во внимание. Выше уже указывалось на способность всех растений усваивать фосфор из очень разбавленных растворов. И поскольку между твердой фазой и почвенным раствором существует известное равновесие, то поглощенные корнями водорастворимые соли фосфорной кислоты постепенно восстанавливаются до прежнего невысокого уровня и растения снова могут их усваивать. К сожалению, в большинстве почв этого источника фосфора оказывается недостаточно, и без внесения фосфорных удобрений возделываемые культуры испытывают фосфатный голод или во всяком случае недостаток фосфора для обеспечения хорошего урожая.

Для суждения о степени обеспеченности растений фосфором на практике большее значение приобрели слабокислотные вытяжки из почвы, позволяющие извлечь из нее не только водорастворимые соли фосфора, но и часть фосфатов, хотя и не растворяющихся в воде, однако являющихся резервом доступного растениям фосфора. Для получения вытяжек используются кислоты: 1...2%-ная лимонная, 2...3%-ная уксусная, 0,2 н. соляная, 0,002 н. серная (с добавлением сульфата аммония для поддержания pH на постоянном уровне — около 3); хорошим реактивом для извлечения из почвы усвояемых фосфатов является также дистиллированная вода, насыщенная углекислотой.

Общая оценка лабораторных методов определения доступного растениям фосфора в почве состоит в том, что все они дают относительные показатели, которыми можно пользоваться лишь в связи с данными до-

79. Содержание P_2O_5, извлекаемой в различных вытяжках

Образцы почвы	Содержание P_2O_5 в мг на 100 г воздушно-сухой почвы при определении ее в вытяжках		
	дистиллированной водой, насыщенной CO_2	0,5 н. уксусной кислотой	0,5 н. соляной кислотой
1	0,77	2,87	15,00
2	1,87	6,20	63,10

стоверных полевых опытов на данном типе почвы и с той же культурой.

Быстрота выполнения, дешевизна и достаточная точность анализа почвы на содержание усвояемых фосфатов в ней химическими методами обусловили внедрение этих методов в практику агрохимслужбы, где их используют в сочетании с полевыми опытами. Показания химических методов оформляют в виде картограмм и рекомендаций колхозам и совхозам.

Возвращаясь к химическим методам, отметим, что лимонная кислота извлекает фосфаты железа, а их немало в кислых подзолистых почвах. В свете этих данных уксусная кислота является более подходящим реактивом для определения усвояемых фосфатов в кислых почвах, чем лимонная.

Содержание усвояемых фосфатов — динамичный показатель, изменяющийся под влиянием свойств почвы, интенсивности земледелия и других причин. Для иллюстрации приводим результат анализа двух образцов дерново-подзолистой окультуренной почвы опытной станции Тимирязевской сельскохозяйственной академии (табл. 79).

Как видно из результатов анализа, вторая почва богаче фосфатами, чем первая. Сколько же их будет в пахотном слое на 1 га? Это легко подсчитать: 1 мг P_2O_5 на 100 г отвечает 30 кг его в слое почвы 0...20 см на 1 га. В первой почве найдено 22,1 кг легкоусвояемой P_2O_5, во второй — 56, 1 на 1 га.

Растения не поглощают всю усвояемую фосфорную кислоту почвы по ряду причин, в частности, уже хотя бы потому, что корневая система не в состоянии охватить всю поверхность почвенных частиц, составляющую в сумме многие десятки тысяч квадратных метров на 1 га. Вследствие этого в первой почве легкоусвояемых фосфатов явно недостаточно для удовлетворительного урожая.

Указанные в таблице 79 реактивы рекомендованы Ф. В. Чириковым (1947), который считал, что в дистиллированной воде, насыщенной углекислым газом, растворяются имеющиеся в почве фосфаты щелочных катионов (всех степеней замещения), одно- и двухзамещенные фосфаты кальция и магния и частично—трехзамещенные фосфорнокислые соли этих двух катионов (причем более полно растворим трифосфат магния). Соли, переходящие в этот растворитель, поступают в растение наиболее свободно.

Второй реактив извлекает трифосфат кальция, частично фосфорит,

апатит, фосфаты алюминия, соли спирто- и сахарофосфорных кислот. Эти соединения нельзя уже отнести к хорошо усвояемым для всех культур. И хотя их содержится в обеих почвах гораздо больше, чем фосфатов, извлекаемых дистиллированной водой, насыщенной CO_2, к оценке полученных результатов надо подходить осторожнее. В сопоставлении с данными полевого опыта нашли, что если 0,5 н. раствор уксусной кислоты извлекает из почвы менее 5 мг P_2O_5 на 100 г, то растения на ней слабо обеспечены фосфором. Исходя из этого можно признать, что первая почва не содержит достаточного количества усвояемых фосфатов для нормального урожая и фосфорные удобрения придется вносить в повышенной дозе. Вторая же почва содержит среднее количество усвояемого фосфора, и на ней можно ограничиться средней дозой фосфорного удобрения. Только при содержании в уксуснокислой вытяжке свыше 10 мг P_2O_5 на 100 г почва хорошо обеспечивает культуры усвояемыми фосфатами.

Что касается третьей группы фосфатов, переходящих в раствор 0,5 н. соляной кислоты, то они уже не причисляются к усвояемым; в эту вытяжку переходят фосфорит, апатит, фосфаты алюминия и железа, а также фитаты. Практического значения определение фосфатов третьей группы не имеют. Результаты его дают лишь представление о резервах для постепенного превращения в усвояемые фосфаты.

Определяемые разными методами количества так называемой подвижной P_2O_5 в почвах дают представление как бы о фосфорной емкости почвы, но не говоря еще о фосфатном потенциале исследуемой почвы. Этот потенциал понижается при усвоении P_2O_5 растениями и повышается при паровании почвы или внесении фосфорного удобрения.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Сырье для производства фосфорных удобрений

Из множества минералов, имеющих в своем составе фосфор, только изверженный апатит и осадочные фосфориты являются сырьем для производства фосфорных удобрений.

Апатит — изверженный минерал, широко распространенный в дисперсном состоянии в материнских породах, на которых возникли почвы. Но залежи его крайне редки. Самое крупное 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.

Фосфориты образовались при минерализации скелетов животных, населявших Землю в отдаленные геологические эпохи, а также осаждением фосфорной кислоты кальцием из воды.

Залежи фосфоритов встречаются на земном шаре часто, но в Западной Европе они небольшие и непригодны для разработки. Почти нет их в странах Азии, кроме Китая (Юньнань). Богатейшие месторождения фосфоритов имеются в ряде стран Северной Африки. На Американском континенте залежи этой породы найдены во Флориде, в Теннесси и других штатах.

К сожалению, бо́льшая часть наших фосфоритов содержит мало фосфора и богата полуторными окислами, что затрудняет их переработку на суперфосфат. Ценное месторождение фосфорита в СССР открыто в 1937 г. в горах Каратау (Южный Казахстан); оно находится сравнительно недалеко от районов интенсивного потребления фосфорных удобрений — республик Средней Азии, культивирующих хлопчатник при орошении. Крупные месторождения фосфоритов имеются в Кингисеппском районе Ленинградской области и на территории Эстонской ССР.

Апатит — кристаллический, фосфориты же встречаются как аморфные, так и кристаллические. Аморфные легче поддаются разложению, поэтому они представляют большой интерес при непосредственном использовании на удобрение, без химической переработки.

Несмотря на различное происхождение апатитов и фосфоритов, в химическом строении их много общего. Они являются трехзамещенными кальциевыми солями ортофосфорной кислоты, которые сопровождаются фтористым кальцием, другими соединениями этого катиона и различными примесями. Кристаллы апатита отличаются высокой прочностью; удаление фтора химически или термически разрушает строение кристаллической решетки апатита.

Эмпирическая формула апатита $Ca_5(PO_4)_3F$ или $[Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot CaF_2$; фторид кальция может замещаться его хлоридом, карбонатом, гидроксилом. Соответственно различают фтор-апатит, хлор-апатит, карбонат-апатит и гидроксил-апатит.

Помимо фосфатных минералов, фосфориты содержат много примесей; полуторные окислы, песок, глину. Хибинский апатит залегает в виде апатитонефелиновой породы; нефелин — алюмосиликат состава $(K, Na)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + nSiO_2$. Фосфориты бывают желваковые (распространены шире) — в виде окатанных камней и пластовые (встречаются реже), представляющие слитную массу. Пластовым фосфоритом является каратауский: мощность его пласта достигает 7 м против 0,8...1,5 м в других месторождениях. Он превосходит другие фосфориты и по качеству: содержит от 29,6 до 35,6% P_2O_5 и лишь 2...2,5% полуторных окислов (вместо 4...11% в прочих залежах). Есть, однако, одно нежелательное свойство и у фосфорита Каратау — повышенное содержание магния, которое затрудняет переработку. Получается продукция с повышенной гигроскопичностью; для преодоления ее необходимы специальные технологические приемы. Другие месторождения содержат меньше фосфора и больше полуторных окислов.

Месторождение	Содержание (в %)	
	P_2O_5	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$
Актюбинское	Около 18	3,4
Вятско-Камское . . .	23...27	5...10
Егорьевское	16...25	5...6 и более
Кролевецкое	Около 18	3,5
Щигровское	16...17	3,5

Больше фосфора в глинистых фосфоритах, к которым относят вятско-камские, вурнарские, егорьевские, кинешемские, кролевецкие. Песчанистые, за исключением глауконитовых, содержат меньше фос-

фора, к последним относят донецкие, моршанские, сеценские. Глауконит — алюмоферрисиликат состава $K_2O \cdot 4R_2O_3 \cdot 10SiO_2 \cdot nH_2O$, оксида калия в нем до 8%. В глауконитовых фосфоритах калия 1...4%; по количеству фосфора они занимают среднее положение между глинистыми и песчанистыми.

Полуторные окислы в фосфатном сырье нежелательны, так как они вызывают дополнительный расход кислоты при переработке и приводят к ретроградации растворимых солей фосфорной кислоты (переход их в менее растворимую форму). Хорошее сырье для производства фосфорных удобрений дает Хибинское месторождение апатитов. Тонкоизмельченную породу взмучивают в воде, добавляют реагент — олеиновую кислоту с керосином и растворимым стеклом (1 кг на 1 т породы). При интенсивном продувании воздуха через пульпу частицы апатита всплывают в виде пены и сливаются, а нефелин остается внизу и уносится током воды. Обогащенный, отделенный от нефелина апатитовый концентрат содержит 39...40% P_2O_5 и считается лучшим в мире сырьем для производства растворимых фосфорных удобрений. Нефелин также применяют в народном хозяйстве. На кислых почвах его используют как калийное удобрение.

Общий запас фосфора на Земле в разведанных месторождениях апатита и фосфорита достигает $1 \cdot 10^9$ т, но только небольшая часть их имеет промышленное значение. При современном масштабе добычи фосфатного сырья, превысившей 28 млн. т P_2O_5 в год, его хватило бы на 3 тыс. лет. Нельзя, однако, упускать из виду, что темпы добычи быстро возрастают, а способы извлечения совершенствуются. В этом смысле перспективен термический метод, позволяющий получать элементарный фосфор и на его основе высококонцентрированные полифосфорные кислоты и затем их соли. В настоящее время преобладает экстракционный метод (разложение апатита или фосфорита серной кислотой или смесями ее с азотной или фосфорной). Недостатками экстракционной фосфорной кислоты являются загрязненность ее и конечного продукта многочисленными примесями и невысокая концентрация производимых удобрений. Перспективен выпуск элементного (красного) фосфора, который при дополнении его оксидом меди (1% от массы Р) постепенно окисляется в почве до ортофосфорной кислоты (H_3PO_4), легко усвояемой растениями *. Разумеется, элементный фосфор вовсе лишен балласта и является наиболее высокотранспортабельным продуктом (229% P_2O_5).

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ, СОСТАВ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

Все виды фосфорных удобрений, являющиеся кальциевыми солями фосфорной кислоты, делят на три группы: 1) растворимые в воде однозамещенные; 2) полурастворимые двухзамещенные (нерастворимые в воде, но растворяющиеся в слабых кислотах и поэ-

* Испытание для этих целей по предложению А. В. Петербургского колчеданного огарка дало хорошие результаты.

тому доступные растениям) и 3) трехзамещенные нерастворимые в воде и плохо растворимые в слабых кислотах, фосфаты которых неусвояемы для подавляющего большинства культур, если эти соединения не разлагаются под действием кислотности почвы с появлением более легкорастворимых солей. Цель переработки фосфатного сырья состоит в переводе его фосфатов в усвояемую для растений форму.

Наибольшим распространением во всем мире пользуется первая группа фосфорных удобрений, в которую входит суперфосфат.

Одназамещенные фосфаты

Суперфосфат. При действии серной кислотой надлежащей концентрации (57% и больше) на тонкоизмельченное фосфатное сырье получают смесь монофосфата кальция и безводного сульфата кальция, фтористый водород улетучивается и улавливается:

$$[Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot CaF_2 + 7H_2SO_4 + 3H_2O = 3Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 7CaSO_4 + 2HF.$$

На 1 т сырья расходуют около 1 т кислоты и получают до 2 т готовой продукции. Вследствие этого содержание фосфора в удобрении оказывается примерно вдвое ниже, чем в исходном материале. В этом главная причина непригодности низкопроцентных фосфоритов для переработки на суперфосфат. Из апатитового концентрата производят суперфосфат с содержанием не менее 19% цитратнорастворимой P_2O_5. В высшем сорте ее содержится даже 19,5%. Продукция, получаемая в итоге переработки каратауского фосфорита, содержит лишь 14% усвояемой P_2O_5.

Наряду с основной реакцией между трехкальциевым фосфатом и серной кислотой происходят и другие. Так, в местах, где из-за несовершенства перемешивания образуется некоторый избыток серной кислоты, трехкальциевый фосфат разлагается полностью с образованием фосфорной кислоты, сульфата кальция и фтористого водорода:

$$[Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot CaF_2 + 10H_2SO_4 = 6H_3PO_4 + 10CaSO_4 + 2HF.$$

Свободная фосфорная кислота присутствует вследствие указанной реакции в значительном количестве: 5% в высшем и в первом сортах и до 5,5% в каратауском продукте. Фосфорная кислота обусловливает повышенную кислотность суперфосфата и его гигроскопичность (по стандарту содержание влаги в удобрении не должно превышать 12. . . 15%). Для устранения кислотности суперфосфат нейтрализуют, добавляя аммиак, известь или фосфорит.

Естественно, что в тех местах реагирующей массы, где из-за неполного перемешивания получается недостаток серной кислоты, образуется двухзамещенный фосфат кальция (преципитат), который доступен растениям, потому что он растворим в слабых кислотах:

$$[Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot CaF_2 + 4H_2SO_4 + 12H_2O = 6CaHPO_4 \cdot 2H_2O + 4CaSO_4 + 2HF$$

Таким образом, в состав суперфосфата входят следующие усвояемые растениями соединения: монофосфат кальция, дифосфат кальция и свободная фосфорная кислота. Монофосфат и фосфорная кислота в

сумме дают от 75 до 90% P_2O_5. Следовательно, дифосфат занимает не более 25...10% P_2O_5 усвояемых фосфатов. Небольшая часть трехкальциевого фосфата остается неразложившейся, а некоторое количество фосфорной кислоты связывается железом и алюминием (1% оксида железа связывает 2% P_2O_5, а 1% оксида алюминия — 1% P_2O_5). Свободная фосфорная кислота в суперфосфате мешает образованию гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), поэтому сульфат кальция остается безводным или присоединяет одну лишь молекулу воды на две молекулы $CaSO_4$. Он составляет до 40% массы удобрения.

Порошковидный суперфосфат темно-серого (из фосфорита) или светло-серого (из апатита) цвета, с характерным запахом фосфорной кислоты. При внесении в нейтральные насыщенные основаниями почвы монофосфат сравнительно быстро превращается в дифосфат кальция: $Ca(H_2PO_4)_2 + Ca(HCO_3)_2 = 2CaHPO_4 \cdot 2H_2O + 2CO_2$.

В присутствии карбонатов превращение частично идет дальше: $Ca(H_2PO_4)_2 + 2Ca(HCO_3)_2 = Ca_3(PO_4)_2 + 4H_2O + 4CO_2$.

При таких условиях возможно появление в почве даже гидроксилапатита и фторапатита. Химическое поглощение фосфорной кислоты суперфосфата в нейтральных почвах с образованием двух и трехзамещенных фосфатов кальция обусловливает малую подвижность фосфора удобрения, внесенного в почву. В то же время свежеосажденные трехзамещенные фосфаты кальция характеризуются значительной растворимостью в слабых кислотах и доступностью растениям. В почвах кислых, богатых полуторными окислами, могут образоваться слаборастворимые и поэтому трудноусвояемые растениями фосфаты железа и алюминия: $Ca(H_2PO_4)_2 + 2Al(OH)_3 = 2AlPO_4 + Ca(OH)_2 + 4H_2O$.

Во всех почвах часть анионов фосфорной кислоты адсорбируется положительно заряженными коллоидными частицами (в обмен на другие анионы, преимущественно HCO_3^-) и в этом состоянии остается доступной растениям. Микроорганизмы почвы также связывают некоторое количество фосфатов, переводя их в состав плазмы клеток.

Для уменьшения химического поглощения фосфат-ионов из порошковидного суперфосфата на кислых почвах нежелательно смешивать его с большой массой почвы. Тем самым меньше фосфатов перейдет в трудноусвояемое состояние. Первоначально это было доказано опытами при очаговом внесении суперфосфата.

Снижение химического связывания фосфора суперфосфата за счет уменьшения площади его соприкосновения с почвой достигается при гранулировании удобрений.

Гранулированный суперфосфат. Для производства его достаточно готовый порошковидный продукт несколько увлажнить и высушить во вращающемся барабане. Образуются гранулы разной величины. Пригодными считаются те, которые имеют диаметр от 1 до 4 мм. Более крупные гранулы размалывают и вместе с мелкими («ретур») направляют на повторное гранулирование с новой партией порошковидного продукта. Ретур играет роль центров образования новых гранул. Стоимость гранулированного суперфосфата выше, чем порошковидного, но действие гранулированного удобрения намного превосходит эффективность порошковидного, особенно при внесении

вблизи семян — при посеве, вблизи рассады и клубней — при посадке. Этот способ — наиболее рациональное использование гранулированного суперфосфата.

Отметим, что втрое меньшее количество его, внесенное локально, дает тот же эффект, что и в три раза бóльшая норма порошковидного суперфосфата, равномерно распределенная перед вспашкой почвы или ее культивацией; в обоих случаях речь идет о равных площадях удобряемой культуры. Гранулированный суперфосфат готовят из лучшего сырья, он содержит меньше влаги (1...4%) и отличается бóльшим количеством усвояемой P_2O_5 —19,5...22% (против 14...19,5% в порошковидном), меньшей кислотностью — 1...2,5% (вместо 5...5,5% в порошковидном) и лучшими физическими свойствами, что обеспечивает хорошую рассеваемость удобрения. Но вследствие нейтрализации содержание водорастворимой P_2O_5 уменьшается. При соблюдении ряда предосторожностей его можно вносить даже в смеси с высеваемыми семенами.

Концентрированный суперфосфат (двойной и тройной). Наличие 40% сульфата кальция в простом суперфосфате делает его малотранспортабельным удобрением. Нельзя считать, что гипс для всех почв и культур служит только балластом. Для солонцеватых почв, улучшаемых гипсом, дерново-подзолистых и особенно супесчаных почв с присущим им малым содержанием сульфатов и вообще серы все удобрения, включающие сульфат-ионы, являются более эффективными, чем лишенные их. Для некоторых культур, например бобовых и крестоцветных, потребляющих много серы, гипс в суперфосфате может быть полезным. Но для большинства других почв и культур гипс почти бесполезен. Отсюда и возникло стремление избавиться от него при изготовлении суперфосфата.

Технология производства концентрированного суперфосфата включает две фазы. Сначала обрабатывают фосфорит (можно низкопроцентный) кислотой для извлечения свободной фосфорной кислоты. (Реакция с серной кислотой при более широком соотношении кислоты и фосфорита, чем в случае приготовления простого суперфосфата, была показана выше, см. с. 248.) Затем, отделив фильтрованием H_3PO_4 от гипса, обрабатывают ею новую порцию высокопроцентного фосфатного сырья; получают концентрированный суперфосфат, т. е. монофосфат кальция с небольшим количеством примесей, содержащихся в сырье:

$$[Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot CaF_2 + 14H_3PO_4 + 10H_2O = 10Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 2HF$$

Этот способ получения фосфорной кислоты называется экстракционным.

Разработан и внедряется более совершенный способ получения фосфорной кислоты — возгонка фосфора из низкопроцентных фосфоритов при температуре 1400...1600°С в электропечах или в доменных печах с коксом или антрацитом. Выделившийся элементный фосфор собирают под водой, потом сжигают в присутствии воздуха и образовавшуюся пятиокись фосфора соединяют с водой: $P_2O_5 + 3H_2O = 2H_3PO_4$.

Получаемая фосфорная кислота может быть использована не только для производства концентрированного суперфосфата, но и других

ценных удобрений. Еще в 40-х годах в Кировске (Хибины) был получен при разложении апатитового концентрата фосфорной кислотой суперфосфат, содержащий 50% P_2O_5 в усвояемой (в том числе и водорастворимой) форме.

Простой и концентрированный суперфосфаты, взятые в эквивалентной дозе по фосфору, действуют на урожай примерно одинаково. Поэтому преимущество концентрированного удобрения заключается в уменьшении затрат на упаковку, перевозки, хранение и внесение в почву.

Для локального внесения следует применять концентрированный суперфосфат в гранулированном виде.

При разложении апатитового концентрата смесью серной и фосфорной кислот получают обогащенный суперфосфат, содержащий 23,5... 24,5% усвояемой P_2O_5. Его применяют так же, как и другие разновидности этого удобрения.

Чтобы определить количество усвояемой P_2O_5 в суперфосфате, из навески его при анализе последовательно делают две вытяжки: водную и щелочным раствором лимоннокислого аммония; второй из реактивов растворяет дифосфат кальция и частично фосфаты алюминия и железа, которые при этом неверно относят к усвояемым. Поэтому чем богаче фосфатное сырье полуторными окислами, тем менее достоверные результаты дает этот метод оценки суперфосфата. В некоторых странах для определения усвояемой фосфорной кислоты в суперфосфате используют нейтральный раствор лимоннокислого аммония. Недостаток его в том, что он растворяет не только дифосфат, но и трифосфат кальция, хотя последний и не включают в группу усвояемых. Из сказанного видно, что понятие «усвояемый» фосфор условно, тем более, что усвояемый по отношению к пшенице и гречихе или конопле, люпину и горчице означает далеко не одно и то же, так как последние могут питаться и труднорастворимыми солями, чего нельзя ожидать от злаков.

Двухзамещенные фосфаты

Преципитат. Выше указывалось на доступность растениям фосфора из двухзамещенных фосфатов кальция и магния. В мировой практике двухзамещенный фосфат кальция давно получил распространение, хотя и во много раз меньшее, нежели суперфосфат. Объясняется это тем, что суперфосфат можно использовать и локально, и как основное удобрение, а при необходимости — даже в подкормку (с обязательной заделкой в почву на достаточную глубину).

Преципитат же пригоден преимущественно для основного удобрения, распределяемого обычно равномерно по поверхности поля и запахиваемого на необходимую глубину. Питаться фосфором основного удобрения растение начинает после того, как разовьет сильную корневую систему, пронизывающую нижнюю часть пахотного слоя почвы. Локальное же удобрение служит пищей молодым проросткам с еще слабо развившейся корневой системой, неспособной к усвоению малорастворимых солей.

В качестве основного удобрения преципитат на большинстве почв так же эффективен, как и суперфосфат. На кислых почвах он может даже превосходить суперфосфат по действию на урожай, потому что суперфосфат на кислых почвах подвержен ретроградации и превращается в фосфаты полуторных окислов в большей степени, чем преципитат. Получают преципитат нейтрализацией фосфорной кислоты известковым молоком (суспензией гидрата окиси кальция): $H_3PO_4 + Ca(OH_2) = CaHPO_4 \cdot 2H_2O$.

Содержание P_2O_5 в преципитате, в зависимости от качества исходного сырья, от 25...27 до 30...35%. Она растворяется в лимоннокислом аммонии и доступна растениям. Вносят это удобрение в тех же нормах, что и суперфосфат. Преципитат обладает хорошими физическими свойствами: не слеживается, хорошо рассевается. По внешнему виду — белый или светло-серый порошок. В преципитате определяют цитратнорастворимую, т. е. извлекаемую щелочным раствором лимоннокислого аммония, P_2O_5.

Обесфторенный фосфат. Суперфосфатная промышленность — главный потребитель серной кислоты во всем мире, между тем серы и минералов пиритов — сырья для производства H_2SO_4 — не хватает. В связи с этим техническая мысль работает над проблемой бескислотного разложения фосфоритов и апатитов при выработке фосфорных удобрений. Большие успехи достигнуты в области термической переработки. Особенно перспективно изготовление так называемого обесфторенного фосфата.

Сущность процесса сводится к прокаливанию при 1400...1450 °С апатита (с добавлением 2...3% кремнезема) или каратауского фосфорита (с прибавлением извести) в присутствии водяных паров. В этих условиях разрушается кристаллическая решетка апатита и фтор удаляется на 90%. Получаются различного состава фосфариты, растворимые в слабых кислотах. При переработке апатита удобрение содержит 30...32% P_2O_5, а при прокаливании фосфорита — 20...22%; 70...92% этих фосфатов растворимы в 2%-ной лимонной кислоте. Установлено, что в равных нормах по P_2O_5 суперфосфат и обесфторенный фосфат при основном внесении дают близкий эффект. Обесфторенный фосфат применяется и для минеральной подкормки животных, когда в кормах содержится недостаточно P_2O_5.

Томасшлак — побочный продукт при переработке железных руд, богатых фосфором, по способу Томаса. Сущность процесса состоит в следующем. В конверторы, где плавится металл, добавляют обожженный известняк, с которым образовавшийся при плавке фосфорный ангидрид вступает в реакцию с образованием тетракальциевого фосфата $4CaO \cdot P_2O_5$ (или $Ca_4P_2O_9$). Шлак при этом всплывает. После отделения и охлаждения его размалывают. Полученный продукт содержит наряду с тетракальциевым фосфатом и труднорастворимые фосфаты, которые не имеют значения для питания растений. Кроме того, в удобрении много кремнекислого кальция, есть соединения железа, алюминия, ванадия, магния, марганца, молибдена и других элементов, в том числе и микроэлементов. Замечено, что применение этого удобрения уменьшает потребность в микроудобрениях. Состав томасшлака подвержен

большим колебаниям. Нестандартность состава томасшлака видна также из того, что содержание в нем лимоннорастворимой P_2O_5 колеблется от 7...8 до 16...20%. Томасшлак — темный тяжелый порошок, используется только как основное удобрение. Лучше действует на кислых почвах, так как имеет щелочную реакцию.

В томасшлаке, фосфатшлаке и обесфторенном фосфате определяют P_2O_5, растворимую в 2%-ной лимонной кислоте; эту форму фосфатов принято называть лимоннорастворимой. В раствор переходят моно-, ди- и тетрафосфаты кальция, а также силикофосфаты, входящие в томасшлак, фосфатшлак и другие термофосфаты ($Ca_5P_2 \cdot SiO_{12}$ или $Ca_4P_2O_9 \cdot CaSiO_3$).

Мартеновский фосфатшлак. При получении стали из чугуна в мартеновском производстве также добавляют известь для связывания фосфора. Отходом является шлак, более бедный фосфором, чем томасшлак; его назвали фосфатшлаком. Он содержит двойную соль тетрафосфата кальция и силиката кальция, железо, марганец, магний и другие вещества. Содержание P_2O_5 от 8 до 12%. Почти вся она растворима в лимонной кислоте. Реакция удобрения сильнощелочная. Из-за низкого содержания питательного вещества фосфатшлак применяют вблизи от места получения; он более подходит для кислых и слабокислых почв. Фосфатшлак вносят только в качестве основного удобрения. На него хорошо отзывается сахарная свекла.

Трехзамещенные фосфаты

Фосфоритная мука. Получается размолом фосфорита до состояния тонкой муки. Фосфор содержится в виде гидроксил-апатита, карбонат-апатита, фтор-апатита и находится в форме $Ca_3(PO_4)_2$. Эти соединения нерастворимы в воде, слабых кислотах и слабодоступны для большинства культур. Почва начинает разлагать фосфорит при потенциальной кислотности не менее 2,5 м.-экв. на 100 г почвы. Чем эта величина выше, тем сильнее действие фосфоритной муки, если содержание подвижных фосфатов в почве недостаточно для питания культур. Важна и общая величина поглотительной способности почвы ($T = S + H$ м.-экв. на 100 г), знание которой позволяет судить, насколько заметно проявляется ненасыщенность почвы основаниями, т. е. как велика доля H от способности данной почвы к обменному поглощению катионов. Необходимо учитывать еще и степень насыщенности почвы основаниями. Если величина ее ниже 70, вероятность эффективного действия фосфоритной муки весьма велика. Применять фосфоритную муку разумно только в том случае, когда уверенно можно ожидать определенной пользы от ее внесения. Это приходится подчеркивать потому, что в зоне кислых подзолистых и дерново-подзолистых почв встречаются поля и участки, на которых фосфорит не дает эффекта из-за недостаточного уровня потенциальной кислотности или по другим причинам (например, вследствие высокой степени насыщенности основаниями, содержания повышенных количеств усвояемых фосфатов).

Еще в конце прошлого столетия опыты, проведенные А. Н. Энгельгардтом, показали большое значение фосфоритной муки в качестве удобрения для подзолистых почв.

80. Влияние тонины размола фосфорита на урожай озимой ржи

Прибавка урожая зерна	От суперфосфата	От фосфоритной муки (с диаметром частиц в мм)		
		меньше 0,08	0,08...0,17	0,17...0,5
В ц на 1 га	4,1	3,6	2,9	1,8
В %	26	23	18	12

Д. Н. Прянишников подсчитал, что внесение фосфоритной муки повышенными нормами (фосфоритование) в Советском Союзе может быть проведено на 80 млн. га почв. Уже из этого видна громадная народнохозяйственная значимость применения у нас этого удобрения.

В опытах Д. Н. Прянишникова по изучению влияния природы и свойств фосфоритов на их применение в виде удобрения более эффективными оказались аморфные фосфориты, легче поддающиеся разложению, чем кристаллические. Еще важнее тонина размола фосфорита: чем меньше диаметр его частиц, тем больше их удельная поверхность, а следовательно, возможность более тесного контакта с почвенными коллоидами, несущими на поверхности водородные ионы. И кислоты, которые находятся в почвенном растворе, скорее взаимодействуют с мельчайшими частицами фосфоритной муки и переводят ее фосфаты в растворимые формы. Многолетние опыты Долгопрудной агрохимической станции показали, что при равной норме (45 кг P_2O_5 на 1 га) фосфорит тонкого размола приближается по влиянию на урожай зерна озимой ржи к суперфосфату (табл. 80).

В лаборатории Д. Н. Прянишникова выяснили и роль сопутствующих фосфориту удобрений в усилении его доступности растениям: физиологически кислые удобрения (аммиачные соли и в меньшей мере — калийные, кроме золы, цементной пыли и нефелина) усиливают разложение фосфоритной муки в почве; напротив, физиологически щелочные (селитры) несколько ослабляют этот процесс. Известкование почв перед внесением фосфорита нежелательно, поскольку известь нейтрализует кислотность почвенного раствора и наиболее подвижную часть потенциальной кислотности (обменную) твердой фазы почвы. Тем самым ограничивается и затягивается на больший срок взаимодействие фосфорита с почвой. Наблюдения показали, что при наличии карбоната кальция в фосфорите его трифосфат не разлагается почвой до тех пор, пока не растворится углекислая известь. Однако после внесения фосфоритной муки, когда реакция ее с почвой уже частично произойдет, известкование кислых почв умеренной дозой не противопоказано. Дело в том, что в экономически рациональных нормах фосфорит не может заменить известкования. Поэтому на сильнокислых почвах кислотность, угнетая растения, лишает их условий для усвоения фосфатов, перешедших в растворимые соединения при взаимодействии фосфоритной муки с почвой.

На Долгопрудной агрохимической станции изменение форм кислотности почвы и степени насыщенности ее основаниями даже при вне-

81. Влияние возрастающих норм фосфоритной муки на свойства почвы

Показатели	Норма P_2O_5 (в кг на 1 га) в фосфоритной муке				
	0	45	135	270	540
pH водной вытяжки	5,7	5,5	5,6	5,8	5,8
Потенциальная кислотность (в м.-экв. на 100 г почвы):					
обменная	0,42	0,41	0,25	0,16	0,16
гидролитическая	2,93	2,95	2,78	2,58	2,50
Степень насыщенности основаниями (в %)	66	68	75	78	79

сении очень высоких норм фосфоритной муки было малозаметным и спустя 10 лет, когда уже немалая часть ее успела разложиться (табл. 81).

Если иметь в виду, что в практике более 90...135 кг P_2O_5 в фосфорите не применяют, то станет очевидным незначительность в изменении кислотности почвы под влиянием этого удобрения.

Хорошо разлагает фосфорит кислый торф. В лаборатории Д. Н. Прянишникова установлено, что при широком соотношении верхового торфа и фосфорита (100 : 1) фосфаты последнего переходят полностью в водорастворимые соединения. Но в полном его разложении нет необходимости. Достаточно, если он превратится в двухзамещенный фосфат кальция, поэтому торфофосфоритные компосты можно готовить при отношении торфа к фосфориту 95 : 5, 90 : 10. Для таких компостов годен не только верховой торф, но и низинный, который также нередко обладает достаточно высокой потенциальной кислотностью, чтобы разложить фосфорит; к тому же он гораздо богаче азотом и зольными элементами, чем верховой. Высокое действие характерно и для навозофосфоритных компостов.

Опытами Д. Н. Прянишникова установлено, что разные растения неодинаково реагируют на удобрение фосфоритной мукой. Большинство культур может использовать ее только при соответствующей кислотности почвы. К таким культурам относятся злаки, лен, свекла, картофель, горох, клевер, вика. При этом озимая рожь, клевер, горох усваивают фосфоритную муку несколько лучше, чем остальные культуры. Другая группа культур может хорошо усваивать фосфоритную муку при слабокислой и даже нейтральной реакции. Это люпин, гречиха, эспарцет, горчица. Указанные культуры обладают также и повышенной способностью усваивать фосфор из почвы.

Фосфоритная мука занимает первое место среди фосфорных удобрений по длительности положительного влияния на урожай. Следовательно, нет необходимости повторять фосфоритование кислых и слабокислых почв чаще одного раза за ротацию даже самого длинного севооборота. Но вносить суперфосфат при посеве необходимо под все культуры. При таком сочетании нерастворимого и растворимого удобрений достигаются и экономия, и хорошее удовлетворение потребностей растений. Надо только заботиться о достаточном уровне питания другими

элементами (азот, калий), при недостатке которых одним фосфором нельзя поправить дело. Нередки случаи, когда к тому же не хватает и некоторых микроэлементов.

В фосфоритной муке содержание общей P_2O_5 должно составлять в высшем сорте 25, первом 22 и втором 19%; влаги независимо от сорта не более 3%; тонина размола — остаток на сите с ячейками 0,18 мм — не свыше 20%.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

Припосевное внесение суперфосфата

В настоящее время баланс фосфора в почве в среднем по стране положительный (с минеральными и органическими удобрениями вносится около 20 кг P_2O_5 на 1 га, что превышает средний вынос ее с урожаем), однако в большинстве районов фосфора с урожаем ряда культур расходуется больше, чем поступает с удобрениями. В лучшем положении находятся хлопчатник, сахарная свекла, картофель, лен, чай и некоторые другие технические растения. На средние показатели положительного баланса оказывают влияние повышенные нормы применяемого фосфора в Нечерноземной зоне европейской части СССР, включая РСФСР, Прибалтику, Белоруссию, Полесье Украины.

В Северном Казахстане, Западной Сибири, на юго-востоке европейской части РСФСР баланс по фосфору остается дефицитным. Для создания урожая в этих районах не менее чем на 80% используется фосфор почвы.

При рядковом внесении гранулированного суперфосфата в смеси с семенами урожай зерна у озимых хлебов повышался на 3 ц на 1 га (среднее из 169 опытов). Яровая пшеница (среднее из 89 опытов) давала от этого же приема 2,3 ц с 1 га дополнительного зерна. Важна и техника рядкового удобрения. Например, при удалении меченого гранулированного суперфосфата на расстояние более 5 см от семян овса или гречихи поступление фосфат-ионов в проростки задерживается. Укрупнение гранул удобрения также сопровождается снижением поглощения молодыми растениями фосфора, внесенного локально.

Доза P_2O_5 для припосевного внесения зависит от особенностей культур и составляет 7,5...20 кг на 1 га. Все растения отзывчивы на этот прием использования суперфосфата, но некоторые из них сильно угнетаются при непосредственном контакте семян с удобрениями (кукуруза, подсолнечник, хлопчатник). Поэтому прослойка почвы для них необходима, и дозы фосфора могут быть минимальными (7,5... 10 кг на 1 га).

Зерновые хлеба менее чувствительны и положительно реагируют на гранулированный суперфосфат даже при смешении его с семенами перед высевом обычной рядовой сеялкой (около 10 кг на 1 га P_2O_5). Подобным же образом ведут себя лен, конопля, овощные растения. При посеве комбинированной сеялкой сахарной свеклы и посадке картофелесажалкой клубней картофеля вносят до 20 кг P_2O_5 гранулированного

суперфосфата (в смеси с азотным, а иногда с азотным и калийным удобрениями).

При высеве семян и гранулированного суперфосфата рядовой сеялкой необходимо соблюдать следующие условия: семена и удобрение должны быть сухими (это предохраняет от растворения составных частей суперфосфата и влияния их на семена еще до попадания в почву), гранулы должны обладать достаточной механической прочностью, не размалываться в высевающем аппарате и не забивать его, и, наконец, суперфосфат должен быть нейтральным или слабокислым.

Кислый суперфосфат даже при кратковременном контакте с семенами (2 ч) снижает всхожесть озимой ржи, ячменя, яровой пшеницы, льна и столовой свеклы. При минимальной кислотности удобрения (1%) его можно смешивать в 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 высева смеси. Каждая гранула фосфорнокислой соли диаметром 1,5 мм и больше создает в почве очаг ее повышенной концентрации для молодых растений. Установлено, что через два месяца после заделки гранулированного суперфосфата в почву в очагах сохранялось в доступной форме от 20...25 до 68...83% внесенного фосфора; первые цифры относятся к красноземам, вторые — к черноземам, дерново-подзолистые почвы занимают среднее положение.

Обобщив данные опытов, полученные при испытании гранулированного суперфосфата, ученые пришли к заключению, что 15 кг P_2O_5 гранулированного суперфосфата, заделанного в рядки, дают ту же прибавку урожая различных культур, что и 45 кг P_2O_5 на 1 га порошковидного суперфосфата, применяемого вразброс. Высоких и устойчивых урожаев всех культур невозможно добиться без внесения еще и основного удобрения, используемого всегда в более высокой норме и заделываемого при вспашке почвы.

Основное внесение фосфорных удобрений

Если задача локального внесения суперфосфата — усилить первоначальный рост растений, то цель основного удобрения — устранить дефицит фосфора при питании их на протяжении большей части вегетационного периода. Этот дефицит возникает вследствие того, что переход в почве естественных запасов фосфатов из неусвояемого в доступное растениям состояние совершается под влиянием различных факторов очень медленно и в недостаточном количестве.

Правильное обоснование основного удобрения исходит из следующих факторов: 1) срок внесения, 2) глубина заделки, 3) форма (растворимость), 4) норма и 5) сочетание с другими питательными веществами.

Для почв с реакцией, близкой к нейтральной, срок внесения растворимых солей фосфорной кислоты не имеет существенного значения, так как потерь их от выщелачивания не наблюдается, а химическое связывание ограничивается образованием дифосфата кальция, который доступен растениям. Внесение суперфосфата в черноземную почву за

557 суток до посева не снижало его действия на урожай культур с различными физиологическими особенностями (кукуруза, овес, просо, клевер).

В кислых почвах наряду с образованием двухзамещенного фосфата кальция появляются также фосфаты алюминия и железа, доступность которых растениям очень низка. Учитывая это, следует избегать длительного взаимодействия суперфосфата с кислой почвой в отсутствие растений.

Первостепенное значение имеет глубина заделки основного фосфорного удобрения, так как в почве анионы фосфорной кислоты передвигаются очень слабо.

Поверхностное распределение суперфосфата на пастбище даже в высокой норме (450 кг P_2O_5 на 1 га) не привело в опытах с ^{32}P к проникновению фосфора глубже чем на 2,5 см. С возрастом растений доля фосфора, взятого из удобрений, уменьшается. В частности, это наблюдалось в опыте с кукурузой. При ее посеве суперфосфат был внесен на 5 см глубже семян и на такое же расстояние в сторону от них.

	Начало развития	Выбрасывание метелки	Созревание
Взято P_2O_5 из удобрений (в % от общего содержания в растениях)	45...95	11...33	7...13

В начале роста почти весь фосфор в растениях был представлен поглощенным из удобрений, а к фазе созревания он составлял лишь около 0,1, а 0,9 растения взяли из почвы. Даже в условиях вегетационного опыта, где корневая система пронизывает весь объем почвы, глубина заделки фосфора оказывает сильное влияние на доступность его растению. Только при заделке на глубину 10 см и более удобрение имело решающее значение в фосфатном питании растений.

В поле глубина внесения в почву основного фосфорного удобрения оказывает еще большее влияние на использование его растениями, особенно в зоне недостаточного увлажнения. И воду, и питательные вещества растения поглощают корневыми волосками, однако последние не развиваются в сухой почве или быстро погибают в ней. А именно верхняя часть пахотного слоя пересыхает за лето не один раз даже в зоне достаточного увлажнения. В такие периоды мелко заделанное фосфорное удобрение будет неусвояемо для корней. Роль глубокой заделки суперфосфата отметил К. А. Тимирязев, проводивший опыты в засушливом 1867 г. в Симбирской губернии. Он заметил, что суперфосфат повышает устойчивость зерновых культур к засухе. Впоследствии это неоднократно подтверждалось другими учеными.

Даже в условиях орошения фосфаты в почве передвигаются незначительно: по четырехлетним наблюдениям в Виргинии (США), при поверхностном внесении 112...224 кг P_2O_5 на 1 га в виде суперфосфата на пылевато-суглинистую почву фосфат-ионы перемещались только на 5 см. Без орошения водорастворимые соли калия и кальция и фосфорной кислоты в тяжелых почвах передвигались на 0,5...1,5 см и лишь в легких почвах более глубоко. Мелко заделанные в почву удоб-

82. Влияние локального внесения фосфорных удобрений на коэффициент использования фосфора (данные Белорусской СХА)

Культуры	Прибавки от $N_{60}P_{60}K_{60}$ (в ц на 1 га)		Расчетный коэффициент использования фосфора (в %) (первый год) *)	
	вразброс	локально	вразброс	локально
Картофель	119,0	166,0	29,3	50,2
Озимая пшеница	7,1	11,9	13,7	23,1
Озимая рожь	4,4	7,4	9,4	14,1
Овес	5,7	8,8	8,2	13,8

*) Поскольку точно определить усвоение P_2O_5 из удобрения и почвы можно только изотопным методом, расчет является лишь приблизительным. Учитывается усвоение P_2O_5 растением на контроле и по удобренному фону, считая, что фосфор почвы в обоих случаях усваивается корнями одинаково. На самом же деле удобренные культуры усваивают фосфор почвы лучше, чем неудобренные.

рения перемешиваются с более мощным слоем при последующей перепашке. Но этим оказывается положительное действие на последующие культуры, хозяйство же заинтересовано, чтобы фосфор повышал урожай и того растения, под которое он внесен, что недостижимо при неглубоком размещении суперфосфата (например, под борону). Глубина вспашки почвы под конкретную культуру определяет и глубину заделки основного фосфорного удобрения. Нормы его зависят от плодородия почвы, запланированного урожая первой культуры, предшественника, сопутствующих удобрений и колеблются от 30...45 кг до 90...120 кг P_2O_5 на 1 га. Высокие нормы применяют под плодовые и технические культуры, особенно на малоплодородных почвах; средние — под кукурузу, картофель, овощные и кормовые растения, меньшие — под зерновые хлеба и зернобобовые.

Установлено, что коэффициент использования фосфора удобрений первой культурой составляет 5...15% и в благоприятных условиях может достигнуть 25%. Более высокий коэффициент использования — 21. . .40% — наблюдается на лугах и пастбищах.

Одним из приемов, повышающих эффективность использования растениями фосфора из удобрений, является внесение его в запас.

Эффективность фосфорных удобрений значительно повышается при их локальном внесении (табл. 82).

Влияние предшественника сказывается прежде всего на обеспеченности удобряемой культуры азотом. Растения, высеваемые после бобо-

83. Эффективность суперфосфата в севообороте с клевером при равных нормах P_2O_5

Опытная станция	Культура	Прибавка урожая (в ц на 1 га) в севооборотах	
		без клевера	с клевером
Носовская	Озимая рожь	1,1	6,2
Харьковская	» »	1,5	3,5
Немерчанская	Сахарная свекла	30,8	66,6

вых, оставляющих в почве некоторое количество азота, ассимилированного клубеньковыми бактериями из атмосферы, лучше отзываются на фосфор, чем следующие по другим предшественникам (табл. 83).

Оценка различных форм фосфорных удобрений при их основном внесении необходима для агротехнического и экономического обоснования лучшего из них применительно к конкретным почвенным условиям и культурам. В Советском Союзе главным из фосфорных удобрений является суперфосфат.

Прибавки урожая от суперфосфата близки на всех почвах, за исключением серых лесных и южных черноземов, где они значительно ниже. Меньшая отзывчивость растений на суперфосфат на серых лесных почвах объясняется более высокой подвижностью в них органических соединений фосфора и худшей обеспеченностью культур азотом по сравнению с черноземами. На южных черноземах сказывается недостаток влаги.

В опытах по изучению действия равных доз P_2O_5 в простом и концентрированном суперфосфатах и преципитате, на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, деградированных, мощных и обыкновенных черноземах прибавки урожая различных культур были очень близкими.

Эффективность фосфоритной муки, как уже отмечалось, зависит от степени кислотности почвы возделываемой культуры и других факторов. В нашей стране сейчас применяется около 4 млн. т фосфоритной муки. Если вносить ее в наиболее эффективных и научно обоснованных нормах — 3...4 ц на 1 га, то можно удобрить 10...12 млн. га бедных фосфором дерново-подзолистых почв.

Большое разнообразие почв в СССР позволяет успешно применять все виды фосфорных удобрений.

Чтобы избежать потерь аммиака, нельзя смешивать щелочные формы фосфорных удобрений (томасшлак, фосфатшлак) с аммиачными солями. Сухой суперфосфат можно незадолго до внесения смешивать с сухими аммиачными и нитратными азотными удобрениями. Заблаговременное смешивание с аммиачной селитрой может вызвать отсыревание смеси, а с сульфатом аммония — схватывание ее вновь образующимся гипсом. При смешивании кислого суперфосфата с нитратными удобрениями возможна потеря летучей азотной кислоты ($H_3PO_4 + NaNO_3 = NaH_2PO_4 + HNO_3$).

Кислотность суперфосфата вредна для растений, поэтому необходима его нейтрализация. Для этого к суперфосфату добавляют при механическом перемешивании до 15% фосфоритной муки, или до 10% доломитной муки, или столько же углекислой извести. Едкую известь прибавлять нельзя, чтобы не вызвать перехода фосфорной кислоты в соединения, плохо усвояемые растениями. Кислотность почвы, как показали многолетние опыты с суперфосфатом, не изменяется от внесения этого удобрения.

При отсыревании ухудшаются физические свойства и рассеиваемость всех фосфорных удобрений, например, размазываются гранулы суперфосфата. Для предупреждения этого надо хранить их в заводской таре и обязательно в сухом помещении.

О подкормке суперфосфатом

Целесообразность подкормки посевов в период их роста фосфатами может быть вызвана стремлением восполнить недостаток фосфора, обнаруживаемый по внешним признакам; желанием устранить неполное внесение фосфатов с основным удобрением; стремлением повысить коэффициент использования P_2O_5 растениями на кислых почвах, сокращая срок взаимодействия суперфосфата с их частицами или даже устраняя это взаимодействие (некорневая подкормка).

Ионы фосфорной кислоты поглощаются листьями и не только энергично передвигаются в другие части растения, вплоть до корней, но даже выделяются последними в почву. Однако некорневое фосфорное питание имеет ограниченное значение и в количественном отношении дает растению очень мало. Некорневую подкормку трудно осуществить на больших площадях, и она обходится дорого из-за большого расхода воды, так как опрыскивание приходится повторять, используя сильно разбавленные растворы, чтобы избежать ожога листьев.

Значительные трудности связаны и с подкормками суперфосфатом через почву. Вследствие того что анионы фосфорной кислоты сравнительно быстро и полностью связываются почвой химически и физико-химически, передвижение удобрения от места его заделки в почве как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях ничтожно. Следовательно, поверхностное распределение суперфосфата недопустимо, если после этого нельзя для его заделки провести хотя бы боронование (лен и прочие культуры сплошного сева).

В практике могут быть случаи, когда хозяйства по каким-то причинам не внесли достаточного количества основного удобрения, тогда подкормка неизбежна.

Подкормка пропашных культур суперфосфатом при междурядных обработках и при надлежащей глубине заделки его в почву (не менее 10...12 см, а лучше на 14...16 см) дает неплохой эффект, но лишь в случае, когда основное фосфорное удобрение внесено в недостаточном количестве.

Опыты с переносом части фосфора из основного удобрения в подкормку при возделывании сахарной свеклы показали, что такой способ использования удобрений нецелесообразен.

КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

РОЛЬ КАЛИЯ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ И СОДЕРЖАНИЕ ЕГО В УРОЖАЕ

В природе известны три изотопа калия: ^{39}K, ^{40}K и ^{41}K, из которых предпоследний является радиоактивным с периодом полураспада $1{,}3 \cdot 10^9$ лет. Радиоактивного ^{40}K содержится в природном калии около 0,01%. Кроме этого, искусственно получают короткоживущий радиоактивный изотоп калия ^{42}K (период полураспада 12,4 ч).

Калий в растении находится в ионной форме и не входит в состав органических соединений клеток. Он содержится главным образом в цитоплазме и вакуолях, а в ядре отсутствует. Около 20% калия удерживается в клетках растений в обменнопоглощенном состоянии коллоидами цитоплазмы, до 1% его необменно поглощается митохондриями, а основная часть (примерно 80%) находится в клеточном соке и легко извлекается водой. Поэтому калий вымывается из растений дождями, особенно из старых листьев.

Накапливающийся в хлоропластах и митохондриях калий стабилизирует их структуру и способствует образованию богатых энергией АТФ в процессах фотосинтетического и окислительного фосфорилирования. На свету прочность связи иона калия с коллоидами цитоплазмы клетки усиливается, а в темноте она ослабевает и происходит частичное выделение калия из растений через корни.

Калий оказывает влияние прежде всего на усиление гидратации коллоидов цитоплазмы, повышая степень их дисперсности, что помогает растению лучше удерживать воду и переносить временные засухи. Под влиянием калия усиливается накопление крахмала в клубнях картофеля и сахарозы в сахарной свекле и моносахаридов в ряде плодовых и овощных культур. Калий повышает холодоустойчивость и зимостойкость растений (в результате увеличения осмотического давления клеточного сока), устойчивость растений к грибковым и бактериальным заболеваниям.

Калий усиливает синтез высокомолекулярных углеводов (целлюлозы, гемицеллюлозы, а также пектиновых веществ, ксиланов и др.), в результате чего утолщаются клеточные стенки соломины злаковых культур и повышается устойчивость хлебов к полеганию, а у льна и конопли улучшается качество волокна; катализирует работу некоторых ферментов, а также усиливает синтез и накопление в растениях ряда витаминов (например, тиамина и рибофлавина), имеет важное значение для деятельности замыкающих клеток устьиц.

Калий (наряду с кальцием и магнием) важен также при аммоний-

ном питании сельскохозяйственных культур. Недостаток калийного питания приводит к нарушению метаболизма в растении. Дефицит калия вызывает ослабление деятельности ряда ферментов, нарушения в углеводном и белковом обмене в растении, усиливая затраты сахаров на дыхание, ведет к образованию щуплого зерна, снижению всхожести и жизненности семян и в итоге оказывает отрицательное влияние на качество урожая. При недостаточном калийном питании растения быстрее поражаются различными заболеваниями, а в послеуборочный период из-за этого снижается сохраняемость урожая.

Внешние признаки калийного голодания растений проявляются в следующем: старые листья преждевременно желтеют, начиная с краев; в дальнейшем их края и верхушка приобретают бурую окраску (иногда с красными, ржавыми крапинками), а затем края листьев отмирают и разрушаются, вследствие чего они становятся как бы обожженными и имеют рваный вид. В наибольшей степени от недостатка калийного питания страдают калиелюбивые растения.

При недостатке калия тормозится множество биохимических процессов, затрагивающих практически все стороны обмена веществ. Это дает основание полагать, что все эти нарушения и являются первичным следствием недостатка калия.

Калий поглощается растениями в виде катиона, по-видимому, оставаясь в клетке как заряженный ион, который образует лишь слабые связи с веществами клетки. Накапливаясь в клетке в значительных количествах, калий является основным противоионом для нейтрализации отрицательных зарядов как неорганических анионов, так и клеточных полиэлектролитов, а также создает ионную асимметрию и разность электрических потенциалов между клеткой и средой. Возможно, именно в этом проявляется специфическая функция калия, делающая его незаменимым элементом минерального питания растений.

Эта особенность калия отмечалась Д. А. Сабининым, который писал, что роль катионов — калия, натрия и частично кальция — ограничивается их значением в создании цитоплазматических структур и в поддержании электрических свойств пограничных образований протопласта.

Значительное увеличение величины мембранного потенциала клетки и повышение его зависимости от метаболических процессов, а также увеличение селективной проницаемости клеточной мембраны для калия представляют собой один из первичных эффектов калийного дефицита. Изменение величин градиента электрического потенциала и потока веществ через мембраны клеток может явиться непосредственной причиной множества нарушений обмена веществ у растений при дефиците калия.

Известно, что содержание калия в клетке значительно превышает наличие в ней других катионов, а также концентрацию калия в окружающем растворе. Например, внутриклеточная концентрация калия у высших растений превышает ее во внешней среде в 100...1000 раз.

В ряде исследований показана тесная корреляция между содержанием калия в клетке и интенсивностью процессов роста. Так, по-видимому, недостаток калия тормозит деление, рост и растяжение клеток.

В настоящее время имеется достаточно данных о тесной связи между интенсивностью синтеза белка в растениях и содержанием в них калия. При недостатке калия снижается продуктивность фотосинтеза.

При недостатке калия отмечается факт значительного торможения оттока продуктов фотосинтеза из листьев. Критический период потребления калия растениями приходится на ранние фазы их роста (в первые 15 дней после всходов). Наибольшее количество калия растения потребляют, как правило, в период интенсивного прироста биологической массы. У зерновых и зерновых бобовых поступления калия заканчивается к цветению — началу молочной спелости, у льна — в фазу полного цветения, а у картофеля, сахарной свеклы и капусты оно более растянуто и практически происходит на протяжении всего вегетационного периода. Наибольшее количество калия картофель потребляет в период цветения — интенсивного клубнеобразования, сахарная свекла — в период образования корнеплода, капуста — при формировании кочана.

Калий необходим для процессов включения фосфата в органические соединения, а также для реакции переноса фосфатных групп.

Калийактивируемые ферменты осуществляют контроль над самыми разнообразными типами реакций, играющих важную роль в рассмотренных процессах. Например, фосфофруктокиназа регулирует глюколиз. Калий активирует также ферменты, участвующие в образовании ацетилкоэнзима А.

Изучение роли калия в активации ферментов показало, что этот катион, взаимодействуя с молекулой фермента, способен изменять его конформацию, обеспечивая образование комплекса фермент — K^+ — субстрат. Возможно, калий служит ионом-эффектором не только для ферментативных, но и для других белков.

Выяснено, что проницаемость мембран клетки для калия выше, чем для других ионов, за исключением только иона H^+.

При понижении содержания калия в клетке всегда возрастает содержание в ней натрия, магния и кальция. При дефиците калия в клетке возрастает содержание свободного аммиака, ионов водорода, минеральных фосфатов. Имеются данные о снижении при этом содержания сульфатов и нитратов.

Наличие калия всегда более высокое в молодых растущих органах растений, а также в меристеме и камбии. Из старых листьев калий передвигается в более молодые, т. е. используется в растении повторно (реутилизация). В большей степени реутилизация выражается при недостаточном количестве калия в питательной среде, в результате чего пожелтение нижних листьев проявляется раньше, чем при нормальном калийном питании.

Передвижению калия из старых листьев в молодые способствует натрий, который замещает его в прекративших свой рост тканях и листьях. Следовательно, распределение калия в растении характеризуется так называемым базипетальным градиентом концентрации: его содержание в листьях и частях стебля в расчете на единицу сухого вещества возрастает снизу вверх.

84. Среднее содержание K_2O в урожае некоторых сельскохозяйственных культур (в % на абсолютно сухое вещество)

Культура	Продукция урожая	K_2O (в %)	Культура	Продукция урожая	K_2O (в %)
Озимые зерновые	Зерно	0,65	Капуста белокочанная	Кочаны	4,60
	Солома	1,10		Корнеплоды	3,20
Яровые »	Зерно	0,67	Морковь	Плоды	5,65
	Солома	1,30	Огурцы	»	5,60
Кукуруза	Зерно	0,43	Томаты	Солома	1,10
	Стебли	1,93	Лен	Волокно	1,00
Горох	Зерно	1,46	Хлопчатник	Сено	1,80
	Солома	0,60	Клевер красный	»	1,80
Сахарная свекла	Корнеплоды	1,00	Люцерна	»	1,20
	Ботва	3,00	Вика	»	2,42
Свекла кормовая	Корнеплоды	3,50	Тимофеевка	»	
	Ботва	2,63			
Картофель	Клубни	2,40			
	Ботва	3,70			

Содержание калия в растениях, почвах и удобрениях принято выражать в пересчете на его оксид — K_2O. Среднее содержание калия в продукции урожая некоторых сельскохозяйственных культур дано в таблице 84. По сравнению с зерновыми и бобовыми культурами сахарная свекла, кормовая свекла и картофель содержат на единицу сухого вещества основной и побочной продукции урожая значительно больше калия. Особенно высокая концентрация калия в продукции овощных культур. Зерновые культуры потребляют калий по сравнению с азотом в таком же количестве или несколько меньше и в 2...3 раза больше, чем фосфор (соотношение $N : P_2O_5 : K_2O$ составляет 2,0...3,0 : 1 : : 2. . .3,5). Овощные культуры, картофель, сахарная свекла и другие корнеплоды используют калия примерно в 1,5 раза больше, чем азота, и в 3...4,5 раза больше по сравнению с фосфором. Разные растения выносят различные количества K_2O в пересчете на 10 ц основной продукции (с соответствующим количеством побочной): зерновые культуры примерно 25...37 кг, зерновые бобовые 16...20, картофель 7,0...9,0, сахарная и кормовая свекла 6,7...7,5, овощные культуры 4,0...5,0, клевер и тимофеевка (сено) 20...24 кг.

Вынос питательных веществ различными культурами на единицу основной продукции при соответствующем количестве побочной (например, на 10 ц) — не всегда сопоставимая величина в отношении потребления того или иного элемента питания растением ввиду различного содержания сухого вещества в урожае разных культур. Поэтому для более объективного сравнения хозяйственного выноса элемента питания разными культурами следует урожай основной продукции выразить в эквивалентных единицах сухого вещества. Например, для получения 50 ц сухой массы основной продукции с 1 га потребуется следующее количество калия для разных сельскохозяйственных культур при эквивалентном урожае основной продукции естественной влажности.

Культура	Урожайность (ц с 1 га)	Вынос K_2O с урожаем (кг с 1 га)
Зерновые	58	175
Картофель	200	180
Сахарная свекла . . .	200	150
Кормовая свекла . .	420	280
Клевер, люцерна (сено)	60	120
Капуста белокочанная	660	290
Морковь столовая	420	210
Подсолнечник (семена)	55	990

Как правило, картофель, сахарная свекла и кормовая свекла, а также ряд овощных культур могут обеспечить больший выход сухого вещества с 1 га, чем, например, зерновые культуры и травы, и тем самым больше выносят калия. Особое место занимает подсолнечник, потребление калия которым превосходит все остальные культуры.

Вынос питательных веществ на единицу урожая основной продукции в значительной степени зависит от соотношения в урожае между товарной и побочной продукцией. У зерновых культур калия меньше в товарной части урожая по сравнению с нетоварной, а в корнеклубнеплодах, многолетних травах, силосных и овощных культурах большая доля калия приходится на хозяйственно ценную часть урожая. Так, в зерне пшеницы содержится лишь до 15% калия от имеющегося в надземной массе, а в соломе — остальные 85%. И наоборот, в клубнях картофеля находится не менее 95% калия, а в ботве всего лишь до 5% от общего выноса его урожаем этой культуры. Чем меньше калия содержится в товарной, увозимой из хозяйства части урожая, и больше в нетоварной, остающейся на поле, а также в кормах, используемых в данном хозяйстве, тем в меньшей степени калий исключается из биологического круговорота и тем лучший баланс этого элемента складывается в почвах хозяйства.

В результате частичного растительного опада, вымывания калия дождями из старых листьев, а также выделения его через корни в почву к концу вегетации вынос K_2O с урожаем обычно бывает ниже максимального его содержания в растениях в период их интенсивного развития.

Калий почвы. Валовое содержание калия в пахотном слое почвы в 5...50 раз больше, чем азота, и в 8...40 раз больше по сравнению с фосфором. Следовательно, почвы, как правило, имеют значительно бо́льшие запасы калия, чем азота и фосфора. В дерново-подзолистых супесчаных почвах валового калия (K_2O) 1...2%, в дерново-подзолистых суглинистых примерно 2%, в серых лесных почвах, оподзоленных, выщелоченных, обыкновенных черноземах и сероземах около 2,5%, в южных черноземах и каштановых почвах около 2%, в красноземах 0,6...0,9%, в солонцах и солончаках 1,2...3,0%. Очень мало его в торфяных почвах (0,03...1%). Недостаточные запасы валового калия иногда отмечаются и в пойменных почвах (0,3...2,2%).

Калий главным образом находится в минеральной части почвы — в органической части его очень мало. Калий в почве содержится: 1) в составе кристаллической решетки первичных и вторичных минералов (основное его количество); 2) в обменном и необменном поглощенном

состоянии в коллоидных частицах (значительная часть); 3) в составе пожнивно-корневых остатков и микроорганизмов; 4) в виде минеральных солей почвенного раствора (карбонатов, нитратов, хлоридов и др.), что составляет очень малую долю от валового калия.

Наилучшим источником питания растений являются растворимые соли калия. Хорошо используется растениями калий пожнивно-корневых остатков и микроорганизмов после их отмирания. Непосредственным резервом являются обменные катионы и малорастворимые соли. Ближайшим резервом питания служат гидрослюды, вермикулиты, вторичные хлориты, монтмориллонит, необменные катионы и малорастворимые соли.

Потенциальным резервом являются полевые шпаты, слюды, пироксены и первичные хлориды.

Валовой, или общий, калий объединяет в своем составе разные формы калийных соединений, которые можно классифицировать следующим образом:

1) водорастворимый калий (легкодоступный для растений); 2) обменный калий (хорошо доступный растениям); 3) подвижный калий (сумма водорастворимого и обменного калия), извлекаемый из почвы солевой вытяжкой; 4) необменный гидролизуемый (труднообменный или резервный), дополнительно извлекаемый из почвы кипящим раствором сильной кислоты (обычно 0,2 н. или 10%-ный раствор HCl) и служащий ближайшим резервом для питания растений; 5) кислоторастворимый калий, объединяющий все четыре предыдущие формы калия и извлекаемый из почвы кипящим раствором сильной кислоты (0,2 н. или 10%-ный раствор HCl); 6) необменный калий (разница между валовым и кислоторастворимым калием).

Для ясности следует отметить, что обменный калий и необменный гидролизуемый определяются расчетным методом: обменный — по разнице между подвижным и водорастворимым калием (так как в солевую вытяжку переходит, кроме обменного, и водорастворимый), а необменный и гидролизуемый — по разнице между кислоторастворимым и подвижным.

Содержание в почве подвижного калия, который является основной формой питания растений, составляет всего лишь 0,5...2% от валовых запасов K_2O. Следовательно, около 99% от валового калия составляют в почвах необменные его формы. Однако и они в какой-то степени могут усваиваться растениями.

Исследованиями установлено, что между формами калия в почве существует подвижное (динамическое) равновесие и если, например, растение поглощает водорастворимый калий, то количество его в растворе пополняется за счет обменного, а уменьшение последнего через некоторое время может в значительной степени возобновиться за счет необменного, фиксированного, калия. Таким образом, по мере потребления растениями подвижного калия запасы его будут пополняться за счет труднообменного, а также калия кристаллической решетки минералов. Как указывает ряд исследователей, попеременное подсушивание и увлажнение почвы, типичное для полевых условий, несколько ускоряет этот процесс; мобилизующее воздействие на переход калия в

доступные формы оказывают и сами растения. Соотношение разных форм калия, по данным ряда авторов, в различных почвах следующее (в мг K_2O на 100 г почвы).

Почва	Водорастворимый	Обменный	Кислоторастворимый	Валовой
Дерново-подзолистая песчаная	1,8	6,5	26,0	1155
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	3,5	12,8	161,0	2840
Мощный суглинистый чернозем	3,1	14,1	331,0	2380

Следовательно, в почвах содержится примерно 10...25% водорастворимой формы калийных соединений от обменной, 5...25% обменной от кислоторастворимой и 2...15% кислоторастворимого калия от валового.

В агрохимии принято степень обеспеченности почв калием для питания растений выражать содержанием подвижной его формы. Для разных типов почв у нас приняты стандартные методы определения подвижного калия: в дерново-подзолистых и серых лесных почвах Нечерноземной зоны — метод Кирсанова (0,2 н. солянокислая вытяжка); в некарбонатных черноземах — метод Чирикова (0,5 н. уксуснокислая вытяжка); в карбонатных черноземах, каштановых, бурых почвах и сероземах — метод Мачигина (1%-ная углеаммонийная вытяжка); в красноземах и желтоземах влажных субтропиков — метод Оннани (0,1 н. сернокислая вытяжка); в почвах Прибалтийских республик — метод Эгнера — Рима — Доминго (буферный раствор молочной, уксусной кислот и уксуснокислого аммония — pH 3,7). Ранее широко использовался и сейчас находит применение метод Масловой (1,0 н. уксусноаммонийная вытяжка), который пригоден для дерново-подзолистых, серых лесных почв, некарбонатных черноземов, некарбонатных горных почв. На основании данных анализа почвы составляются агрохимические картограммы почв хозяйства на содержание подвижного калия в почвах. Наиболее высокое содержание подвижного калия, как правило, отмечается в обыкновенных, южных черноземах, каштановых и бурых почвах. Хорошо обеспечены им типичные, выщелоченные, оподзоленные черноземы, серо-бурые, такыровидные почвы, солончаки и сероземы. В наименьшем количестве калий содержится в песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почвах, желтоземах, красноземах, пойменных и особенно торфяно-болотных почвах.

Характеристика калийного режима почвы должна предусматривать не только количественные определения содержания подвижных форм калия в почве, но и отражать степень его подвижности, а следовательно, и степень доступности растениям. Разработаны методы, позволяющие дать такую оценку, которая базируется на физико-химической взаимосвязи между ионами калия, кальция и магния в системе «почва⇄⇄почвенный раствор» и выражается через термодинамический потенциал калия, или так называемый калийный потенциал, который рассматривается как «фактор интенсивности» почвенного калия. Прини-

мая во внимание, что катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} почвенного поглощающего комплекса обладают сходными обменными свойствами, рассматривают сумму активностей ионов кальция и магния как активность ионов одного вида.

Под калийным потенциалом понимают изменение свободной энергии в реакциях обмена между катионами калия с одной стороны, кальция и магния — с другой в системе «твердая фаза почвы — почвенный раствор» при постоянных значениях температуры (25°С) и давления ($1{,}01 \cdot 10^5$ Па).

Калийный потенциал выражают формулой $\Delta Z^0 = pK - 0{,}5p\,Ca$, где p — отрицательный логарифм активностей ионов K^+ и суммы Ca^{2+}, Mg^{2+}. Калийный потенциал определяют в почвенной суспензии после взбалтывания навески почвы в 0,002 *М* растворе хлорида кальция в течение 30 мин (отношение почва : раствор = 1 : 2).

Активность указанных ионов находят по формуле $ai = Ci \cdot fi$, где ai — активность иона, Ci — его концентрация, fi — коэффициент активности иона, который рассчитывают по уравнению Дебая-Гюккеля:

$$\lg f = \frac{0{,}51 \cdot Zi^2 \sqrt{Y}}{1 + \sqrt{Y}},$$

где Zi — валентность иона;

Y — ионная сила раствора.

Значение Y устанавливают по формуле

$$Y = 0{,}5 \Sigma C_1 \cdot Zi^2,$$

где C_1 — концентрация определяемого иона;

Zi — его валентность.

Калийный потенциал почвы указывает на возможность перехода поглощенного ею калия в раствор с учетом конкуренции сопровождающих его двухвалентных катионов. Чем выше числовое значение калийного потенциала, тем ниже способность K^+ к переходу в раствор, а следовательно, и его доступность растениям. Поскольку получаемая величина является отрицательным логарифмом, калийный потенциал является универсальным и сравнительно постоянным показателем для каждого вида почвы.

Согласно принятой градации величина калийного потенциала 2,5...2,9 свидетельствует о недостатке калия для нормального развития растения, 1,8...2,2 — соответствует оптимальным условиям, менее 1,5 — указывает на относительный избыток этого элемента. Калийный потенциал в определенной мере может быть использован для диагностики калийного питания растений и при разработке рекомендаций по внесению удобрений.

Обеспечение растений калием зависит не только от содержания подвижных его соединений в почве и калийного потенциала, но и от способности почвы поддерживать калийный потенциал на относительно постоянном уровне при изменении содержания подвижного калия в почве в результате выноса калия с урожаями и при внесении удобрений. Эту способность почвы Бакетт назвал потенциальной буферной способностью почвы по отношению к калию — PBC^k.

Потенциальная буферная способность почвы для калия является отношением между двумя величинами — фактором емкости (Q), под которым понимают количество непосредственно доступного растениям калия (извлекаемого из почвы 0,002 M раствором $CaCl_2$), и фактором интенсивности (I_0) — равновесной активности K^+ в почвенном растворе. Отношение Q/I_0 в различных почвах варьирует.

Экспериментально показано, что в серой лесной почве величины калийного потенциала 1,80...2,35 отвечали хорошему питанию растений этим катионом; при значениях потенциала 2,50...2,84 обеспеченность калием была недостаточной, а если калийный потенциал достигал 3,27...3,54, то культуры испытывали сильный недостаток калия.

Потенциальная буферная способность почвы в отношении калия в слое 0...20 см достигала 45, а на глубине 80...100 см — 200, т. е. в первом случае было мало подвижного калия. Отмечалась коррелятивная связь между изменением активности калия и потреблением этого катиона растением.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНОГО СЫРЬЯ. ПРОИЗВОДСТВО КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ И ИХ СВОЙСТВА

По запасам калийного сырья, производству калийных удобрений СССР занимает первое место в мире. Так, в 1978 г. мировое производство калийных удобрений в пересчете на K_2O составило 25,7 млн. т, в том числе в СССР 8,4 млн. т. Применение на 1 га пашни в том же году достигло (кг K_2O): в мире — 15,9, в СССР — 23,2. В настоящее время промышленные мировые запасы калийных солей оценивают в 50 млрд. т K_2O; из них 48% приходится на СССР.

Сырьем для производства калийных удобрений являются природные калийные соли, промышленные залежи которых у нас в стране сосредоточены в европейской части СССР, в Казахстане и в Средней Азии. Крупнейшее месторождение — Верхнекамское (более 12 млрд. т) в районе Соликамска. Вторая крупная сырьевая база калийных солей — Старобинское и Петроковское месторождения в Белорусской ССР. На Украине, в Прикарпатье, имеются Калуш-Галынское, Стебниковское и другие месторождения. Осваиваются Тюбегатанское и Карлюкское месторождения в Туркменской ССР. Все месторождения калийных солей у нас в стране подразделяются на хлоридные, составляющие 92% всех запасов, и сульфатные. В свою очередь, производимые калийные удобрения подразделяются на хлоридные (хлористый калий, смешанные соли) и сульфатные (сульфат калия, калимагнезия, калийно-магниевый концентрат).

Основным сырьем для производства хлоридных калийных удобрений является сильвинит, представляющий собой смесь (агломерат) сильвина (KCl) и галита (NaCl), содержащую 12...15% K_2O. Сульфатные калийные удобрения получают из минералов каинитовых, лангбейнитовых и смешанных лангбейнито-каинитовых пород, а также из алунитов. Химический состав некоторых калийсодержащих минералов следующий: карналлит $KCl \cdot MgCl \cdot 6H_2O$, каинит $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$, шенит $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$, лангбейнит $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$, полигалит

$K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot CaSO_4 \cdot 2H_2O$, алунит $(K, Na)_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al((OH)_3$, нефелиновый концентрат $(K, Na)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Из нефелинового концентрата в результате комплексной его переработки получают окись алюминия, цемент, соду и поташ. Из карналлитовых руд после извлечения из них магния получают хлористый калий-электролит — удобрение, являющееся отходом магниевого производства.

Калийные удобрения подразделяются на концентрированные (хлористый калий, сернокислый калий, хлористый калий-электролит, калийная соль, калимагнезия, калийно-магниевый концентрат) и сырые соли (сильвинит, каинит).

Хлористый калий (KCl) — основное калийное удобрение, составляющее 80...90% от общего производства калийных удобрений. Содержит 53,7...60,0% K_2O, влаги не более 1%. Это кристаллическое рассыпчатое вещество розового или белого цвета с серым оттенком.

Хлористый калий производится двумя способами: флотационным и галургическим.

Флотационным способом хлористый калий получают из сильвинитовых руд. Сущность способа состоит в разделении KCl и NaCl с предварительным выделением глинистого шлама. Флотационное разделение минералов (сильвина KCl и галита NaCl) основано на различной способности их поверхности к смачиванию водой. Предварительно измельченную руду взмучивают в воде или водном растворе с добавлением жирных аминов и через пульпу пропускают воздух, распределяющийся в виде мелких пузырьков. Частички гидрофобного минерала 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.

Частички гидрофильного минерала галита собираются на дне флотационной машины и выводятся через сливное отверстие.

Галургический способ производства хлористого калия из сильвинитовой руды основан на различной растворимости в воде KCl и NaCl. Растворение ведется при 90...100°С с последующим охлаждением раствора до 20...25°С. В растворах, насыщенных обеими солями, при повышении температуры с 20...25 до 90...100°С содержание KCl возрастает примерно в два раза, а NaCl — уменьшается. При охлаждении такого раствора KCl будет кристаллизоваться, а NaCl останется в растворе. Это свойство растворов солей и использовано в циклическом процессе данного способа производства хлористого калия.

Мелкокристаллический хлористый калий, получаемый мелкозернистой флотацией и галургическим методом, слеживается при хранении, особенно при размере частиц менее 0,15 мм. Для устранения этого недостатка его гранулируют до размера частиц (гранул) от 1 до 3 мм. Слеживаемость хлористого калия в значительной степени уменьшает добавление к нему аминов.

Сернокислый калий (K_2SO_4) — мелкий кристаллический порошок белого цвета (допускается желтоватый оттенок), влажность 1,2%. Содержит 46...50% K_2O, склонность к слеживанию слабая, транспортируется с завода в мешках или без тары. Получают его конверсией шенита в лангбейнит при добавлении KCl, который реагирует с сульфатом

магния, что приводит к выделению $MgCl_2$ и дополнительному образованию сульфата калия в удобрении.

Хлоркалий-электролит (KCl с примесями). Сильнопылящий мелкокристаллический порошок с желтым оттенком, содержит K_2O 31,6...45,5%, не слеживается (содержит влаги не более 4%); упаковывается в бумажные мешки или перевозится навалом.

Калимагнезия ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$). Выпускается в виде сильнопылящего порошка с сероватым и розовым оттенком или серовато-розовых гранул неправильной формы. Содержит 29% K_2O и 9% MgO; влажность не более 5%; не слеживается; перевозится навалом или в бумажных мешках. Как и сульфат калия, применяется под культуры, чувствительные к хлору.

Калийно-магнезиальный концентрат производится в виде гранул серого цвета, влажность 1,5...7%. Содержит 18,5% K_2O и 9% MgO. Не слеживается, транспортируется без тары. Применяется в первую очередь под культуры, чувствительные к хлору.

Калийная соль смешанная 40%-ная (KCl+NaCl) — серый кристаллический порошок с включениями розовых кристаллов, смесь хлористого калия с размолотым сильвинитом (до 35% NaCl), влажность не более 2%. Содержит 40% K_2O, слеживается, перевозится без тары. Наиболее пригодна для культур, отзывчивых на натрий (сахарная свекла, кормовые и столовые корнеплоды). Смесь из KCl и каинита дает 30%-ную калийную соль.

Каинит природный ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ с примесью NaCl) — крупные кристаллы розовато-бурого цвета, влажность не более 5%. Содержание K_2O — 10%, не слеживается, перевозится навалом.

Цементная пыль — отход цементной промышленности, бесхлорное калийное удобрение. Содержание K_2O 10...15%, выпускается в гранулированном виде, упаковывается в бумажные мешки. Калий содержится в виде солей карбонатов, бикарбонатов, сульфатов и в незначительной степени силикатов. В цементной пыли имеются также гипс, окись кальция, полуторные окислы и примеси микроэлементов. Применяется в качестве основного удобрения, особенно на кислых почвах, под хлорофобные культуры.

Поташ (углекислый калий, K_2CO_3) — щелочное калийное удобрение, ценное для кислых почв. В кальцинированном поташе должно содержаться 63...66,7% K_2O. Кальцинирование производят для уменьшения гигроскопичности. Поташ и бикарбонат калия ($KHCO_3$) содержатся также в печной золе, получающейся при сжигании дров и соломы. В золе есть и немного фосфатов. Бикарбонат калия содержит 47% K_2O.

Сильвинит (KCl·NaCl) — размельченная сильвинитовая порода, размер кристаллов 1...4 мм и не более 20% крупнее 4 мм, цвет розовато-бурый с включениями синих кристаллов, содержит 12...15% K_2O и до 75...80% NaCl, используется в незначительных количествах, перевозится без тары, слеживается, вносится под натриелюбивые культуры (сахарная свекла, кормовые и столовые корнеплоды). В связи с низким содержанием калия сильвинит нецелесообразно транспортировать на дальние расстояния от месторождения.

Карналлит ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ с примесью NaCl) — измельченная

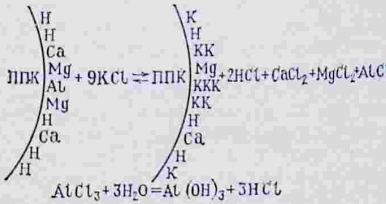
руда, содержит 12...13% K_2O, очень гигроскопичен, сильно слеживается; в качестве удобрения (ввиду малотранспортабельности) в настоящее время практически не применяется. Является сырьем для производства магния. Отход его — электролит (KCl) — является ценным удобрением.

Поскольку содержание хлора в калийных удобрениях оказывает отрицательное действие на ряд сельскохозяйственных культур, необходимо знать, сколько и в каких калийных удобрениях его содержится. Так, на 1 кг K_2O содержится хлора (в кг): в сильвините 4,0...5,2, в карналлите 3,0...3,3, в калийной соли 1,4...1,9, в хлористом калии 0,9...1,0, в сульфате калия и калийно-магнезиальных удобрениях 0,02...0,1.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАЛИЙНЫХ УДОВРЕНИЙ С ПОЧВОЙ

Калийные удобрения хорошо растворимы в воде. Однако при внесении их в почву ион калия быстро вступает во взаимодействие с коллоидными частицами почвы по типу физико-химического (обменного) и необменного поглощения. Установлено, что необменное поглощение (фиксация) калия почвой практически заканчивается в течение суток после внесения калийных удобрений, и, следовательно, почти не зависит от времени их заделки до посева (посадки) растений.

Обменное поглощение ионов калия почвой составляет значительную часть (не менее $^1/_4$) от всей емкости поглощения. Реакция физико-химического (обменного) поглощения катиона K^+ почвой обратима:



Из приведенной реакции видно, что почву подкисляет появление в ней не только ионов H, но и Al.

Катионы калия, обменно поглощаясь почвой, одновременно вытесняют из слоя компенсирующих ионов ППК эквивалентное количество других катионов (водорода, алюминия, кальция, магния, марганца и др.), что отражается на реакции почвенного раствора, а следовательно, и на условиях роста растений. По своему характеру все калийные удобрения физиологически кислые: из водного их раствора растения значительно интенсивней потребляют катион калия, чем сопутствующий ему анион Cl^- или SO_4^{2-}. При взаимодействии с почвенным поглощающим комплексом также проявляется подкисляющее влияние калийных удобрений на почвенный раствор, особенно в кислых (неизвесткованных) почвах. В результате обменных реакций в почвенном растворе образуется соляная или серная кислота, в зависимости от вида

применяемых калийных удобрений (хлоридных или сульфатных). Кроме того, дополнительное подкисление почвенного раствора происходит за счет соляной кислоты, образующейся в результате гидролиза хлористого алюминия. Поэтому на кислых дерново-подзолистых почвах эффективность калийных удобрений снижается. Однако подкисляющее действие калийных удобрений на почвенный раствор намного ниже аналогичного влияния аммиачно-нитратных и аммиачных удобрений. Результаты 28-летнего применения разных форм калийных удобрений на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах (ЦОС ВИУА) не выявили какой-либо разницы в кислотности почвенного раствора по сравнению с контрольными (неудобренными) вариантами опыта.

На легких почвах подкисляющее действие калийных удобрений проявляется более четко.

Необменное поглощение (фиксация) калия удобрений разными почвами может достигать значительных величин от внесенного количества (до 80%). Так, по данным В. У. Пчелкина, фиксация калия удобрений в почвах, в зависимости от их минералогического состава и дозы внесения калийных удобрений, составляла от 14 до 82%. В опыте с ^{40}K в дерново-подзолистых супесчаной и тяжелосуглинистых почвах к концу вегетационного периода оставалось неиспользованным растениями соответственно 63 и 70% внесенного с удобрениями калия, а из них всего $^1/_6...^1/_8$ приходилось на долю подвижной формы. Фиксированные катионы калия менее доступны растениям, в некоторых случаях фиксация имеет отрицательное значение для питания растений. Необменное поглощение калия присуще глинистым минералам монтмориллонитовой группы и группы гидрослюд, имеющих по строению трехслойную разбухающую решетку. Особенно сильно поглощает необменно катионы калия вермикулит. Минералы каолинитовой группы с двуслойной решеткой, как правило, не обладают фиксирующей способностью. Отсюда размер фиксации калия почвами в сильной степени зависит от их минералогического состава: чем выше содержание в почвах минералов монтмориллонитовой группы и гидрослюд, тем больше выражена в ней фиксация калия. На легких почвах (песчаных и супесчаных) калия фиксируется обычно меньше, чем на средне- и особенно тяжелосуглинистых почвах. Механизм фиксации можно объяснить следующим образом: катионы проникают в межпакетные пространства, когда они имеют наибольшие размеры (в состоянии набухания), и в сетке кислородных атомов тетраэдрических слоев занимают гексагональные пустоты, притягивая к себе оба отрицательно заряженных кислородных слоя, в результате чего оказываются в замкнутом пространстве. Так поглощаются катионы, имеющие радиус 0,130—0,165 нм (NH_4^+, Rb^+, Cs^+). Калий относится к их числу (радиус K^+ 0,133 нм). Высушивание почвы, и особенно попеременное высушивание и увлажнение (что часто бывает в полевых условиях), могут значительно усиливать процесс фиксации калия, хотя она происходит и в увлажненной почве. Поэтому калийные удобрения следует заделывать более глубоко в пахотный, а не в верхний, часто пересыхающий слой.

При внесении крупнокристаллических или гранулированных калийных удобрений необменное поглощение калия почвой снижается (при-

мерно на 20...30%) ввиду меньшего контакта их с почвой по сравнению с мелкокристаллическими. Как показано в опытах ВИУА, форма калийных удобрений практически не влияла на размер фиксации почвой из них калия. При внесении возрастающих норм калийных удобрений абсолютное количество фиксированного почвой калия возрастает, а относительное — в процентах от внесенного — снижается. Некоторые почвы, как уже указывалось, имеют большую фиксирующую способность по отношению к калию. Так, по сообщению В. У. Пчелкина, слабовыщелоченный чернозем (Сумская опытная станция) фиксировал 144 мг K_2O на 100 г почвы при внесении на 1 га 30 т K_2O. Следовательно, 1 га подобного типа почв может поглотить необменно до 4320 кг K_2O. Для доведения подобной насыщенности почв калием потребуются столетия, если принять во внимание, что лишь 50% калия удобрений используется растениями. Имеются данные, показывающие, что с уменьшением величины pH размер фиксации калия удобрений почвой снижается, а при известковании возрастает.

При этом если степень насыщенности почвы кальцием в результате известкования не поднимается выше 80%, то подвижность калия от известкования возрастает, если же V% выше 80% — то снижается.

На более гумусированных почвах освобождение фиксированного почвой калия затрудняется в результате образования более толстой пленки гумусового вещества на поверхности коллоидов, которая препятствует вытеснению калия из кристаллической решетки минералов.

При длительном систематическом внесении калийных удобрений и положительном его балансе (т. е. когда количество внесенного с удобрениями калия значительно превышает вынос его с урожаями) в почве повышается содержание подвижных форм калия, а также и необменных его форм (кислоторастворимых). При этом увеличение содержания обменного калия происходит более интенсивно, чем водорастворимого. Переход же калия в необменное состояние, как уже указывалось, зависит от многих причин и может составлять существенные величины.

Взаимодействие между разными соединениями калия в почве можно выразить в следующем виде:

калий кристаллической решетки $\rightleftarrows$ необменный калий $\rightleftarrows$ обменный калий $\rightleftarrows$ калий почвенного раствора.

В итоге растения могут использовать все формы калия почвы, но в различных количествах. За 101 год опыта на суглинистой почве (Англия) растения вынесли с урожаями в 3...4 раза больше калия, чем содержалось его в обменной форме. Эти данные, а также множество других подтверждают возможность использования растениями необменных форм поглощенного калия. По мнению ряда исследователей, интенсивность возделывания сельскохозяйственных культур оказывает влияние на величину фиксации почвой калия.

Характер взаимодействия калийных удобрений с почвенным поглощающим комплексом свидетельствует об очень слабой миграции калия по почвенному профилю, за исключением песчаных и супесчаных почв. Как правило, на почвах среднего и тяжелого механического состава калий удобрений не выщелачивается ниже слоя 0...40...60 см.

т. е. практически остается в корнеобитаемой зоне и, обменнопоглощенный почвой, доступен растениям. По данным лизиметрических опытов, в Нечерноземной зоне ежегодное вымывание K_2O из суглинистых почв составляет 0,4...7 кг и до 12 кг с 1 га на супесчаных. Более значительные потери калия (до 40 кг/га с 1 га в год) отмечались на красноземах. В силу очень слабой миграции калия калийные удобрения не следует заделывать в самый верхний слой почвы, так как корневая система уходит в поисках влаги в более глубокие горизонты. К тому же в верхнем слое, подверженном высыханию, будет происходить повышенная фиксация калия. На всех связных почвах калийные удобрения до посева следует вносить под зябь и только на легких (песчаных и супесчаных) почвах при достаточном и избыточном увлажнении применять калий весной. Из-за мелкой заделки в почву калийные удобрения при подкормках чаще всего бывают менее эффективны, чем разовое внесение всей нормы до посева.

ПРИМЕНЕНИЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ

Калийные удобрения распределяют в зависимости от механического состава почв и содержания в них подвижных форм калия, условий увлажнения, биологических особенностей культур, с учетом не только величины возможного планируемого урожая, но и его качества. Наиболее эффективно применение калийных удобрений на песчаных, супесчаных дерново-подзолистых, торфяно-болотных и пойменных почвах, а также на желтоземах и красноземах. Высокое действие на урожайность сельскохозяйственных культур оказывают калийные удобрения в зоне достаточного увлажнения на дерново-подзолистых суглинистых, серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах — в случае средней и низкой обеспеченности их подвижным калием. Возрастает также роль калия на старопахотных орошаемых сероземах Средней Азии при интенсивном возделывании хлопчатника. Слабое действие от калийных удобрений или его отсутствие характерно в большинстве случаев для типичных, обыкновенных, южных черноземов, такыровидных, серо-бурых почв и сероземов. На солонцах калийные удобрения не применяют, так как они усиливают солонцеватость почвы и тем самым могут даже снижать урожайность.

Обобщение результатов 689 полевых опытов, проведенных в 1965—1975 гг. на дерново-подзолистой почве Белорусской ССР, показало, что урожай зерновых культур увеличился в пределах 60...70 кг зерна на 1 мг K_2O на 100 г почвы вплоть до содержания 14...20 мг подвижного калия на 100 г почвы. За пределами 20 мг K_2O на 100 г почвы прибавки урожая зерновых возрастали незначительно (суглинистые почвы) либо резко снижались (почвы легкого механического состава). По расчетам Т. Н. Кулаковской, содержание обменного калия в пределах 18...20 мг на 100 г почвы для дерново-подзолистых почв легкого

механического состава и до 23...25 мг на 100 г почвы для суглинистых почв можно в определенной мере считать оптимальным для получения гарантированного урожая зерновых культур с высоким качеством зерна.

Наибольшая эффективность калийных удобрений достигается при оптимальном соотношении их с азотными и фосфорными удобрениями. Одностороннее применение калийных удобрений возможно лишь на осушенных торфяниках, торфяно-болотных почвах, обеспеченных другими элементами питания.

Наиболее целесообразно, как уже указывалось, на связных почвах всю ежегодную норму калийных удобрений (за исключением небольшой дозы в рядки под некоторые культуры) вносить с осени под плуг при зяблевой вспашке, не проводя подкормок. При осеннем внесении хлорсодержащих калийных удобрений хлор вымывается осенне-весенними осадками из корнеобитаемого слоя почвы и не оказывает отрицательного действия на хлорофобные культуры. Если с осени калийные удобрения внести не удалось, то следует дать их под перепашку весной, но в этом случае хлорсодержащие удобрения могут оказать отрицательное влияние на урожайность чувствительных к хлору культур. Только на песчаных и супесчаных, а также на торфяно-болотных и пойменных почвах калийные удобрения следует вносить весной. На легких почвах, особенно при орошении, бывает целесообразно часть калийных удобрений выделять в подкормку (для пропашных культур).

К калию наиболее требовательны подсолнечник, табак, овощные, сахарная свекла, кормовые корнеплоды, картофель, плодовые и силосные культуры. Под эти культуры и следует вносить калий в первую очередь. Однако табак, виноград, плодовые, цитрусовые, ряд овощных (особенно закрытого грунта), гречиха, картофель, лен, лекарственные и эфирномасличные нуждаются в применении бесхлорных калийных удобрений, так как от хлоридов может резко снизиться качество урожая (у табачного листа снижается горючесть, у льна — качество волокна, у картофеля — содержание крахмала). При осеннем внесении калийных удобрений отрицательное влияние хлора для многих культур исключается.

Зерновые культуры, сахарная свекла, кормовые корнеплоды, столовая свекла и большинство кормовых культур практически не проявляют отрицательной реакции на хлорсодержащие калийные удобрения и даже повышают урожай больше, чем при внесении бесхлорных форм.

Для сахарной свеклы и кормовых корнеплодов первостепенное значение имеют калийные удобрения, содержащие натрий, т. е. в этом случае с успехом можно применять даже сырые соли или смеси их с KCl.

Для культур, проявляющих чувствительность к хлору, нужно из возможного наличия хлоридных калийных удобрений выбрать удобрение с меньшим содержанием хлора. Например, под картофель лучше применять сернокислый калий, калимагнезию (шенит) или калийно-магнезиальный концентрат, чем хлористый калий. Калийную соль

и даже каинит под картофель применять не следует из-за высокого содержания в них хлора *.

На известкованных (карбонатных) почвах, особенно для льна и картофеля, требуются более высокие нормы калийных удобрений из-за антагонизма между ионами калия и кальция при поступлении их в растения.

Коэффициент использования калия растениями из калийных удобрений изменяется в широких пределах (от 12 до 50%) в зависимости от вида культуры и почвенно-климатических условий. Обычно в первый год из калийных удобрений использование калия растениями принимается в пределах 40%. При этом более высокий коэффициент характерен для калиелюбивых пропашных культур.

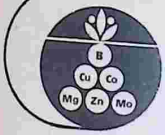
Основными путями повышения эффективности калийных удобрений следует считать: оптимальное размещение фонда калийных удобрений по природным зонам страны; преимущественное использование калийных удобрений в посевах культур, интенсивно усваивающих калий; применение калийных удобрений на фоне азотно-фосфорных удобрений и, если необходимо, известкования; рациональное использование форм калийных удобрений.

Обобщение полевых опытов Географической сети позволило по почвенно-климатическим условиям выявить район с наиболее эффективным действием калийных удобрений.

По многолетним данным опытных учреждений СССР, внесение 1 ц K_2O в калийных удобрениях обеспечивает прибавку урожаев зерна 2...3 ц, картофеля 20...33, сахарной свеклы 35...40, хлопка-сырца 1...2, льноволокна 1...1,5, сена сеяных трав 20...33, сена луговых трав 8...18 ц на 1 га.

---

* Итоги опытов с картофелем, проведенных в разных районах, показывают, что применение хлорсодержащих калийных удобрений, снижает сбор крахмала на 7...15% по сравнению с теми формами удобрений, которые не содержат хлор-ион.



МИКРОУДОБРЕНИЯ

ЗНАЧЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

Микроэлементы — это необходимые элементы питания, находящиеся в растениях в тысячных — стотысячных долях процентов и выполняющие важные функции в процессах жизнедеятельности.

Разработка теоретических основ применения микроэлементов в земледелии более успешно стала осуществляться после того, как была частично расшифрована физиологическая роль микроэлементов в жизни растений. В решении теоретических и практических вопросов, связанных с питанием растений микроэлементами, большой вклад внесли Я. В. Пейве, М. В. Каталымов, П. А. Власюк, О. К. Кедров-Зихман и другие ученые.

Недостаток микроэлементов вызывает ряд заболеваний растений и нередко приводит к их гибели. Применение соответствующих микроудобрений не только устраняет возможность заболеваний, 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 обменах, 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.

В настоящее время теоретические и практические исследования по микроудобрениям характеризуются стремлением исследователей изучить первичные реакции действия микроэлементов, проникнуть в специфичность их действия и понять физиологические закономерности. Интенсивно продолжаются работы по выяснению агрономической роли микроэлементов.

Важный вопрос теории и практики применения микроэлементов — определение потребности в них у различных культур. Например, бобовые значительно больше содержат молибдена и аккумулируют в два — десять раз больше железа, чем злаки, и в то же время в большей степени нуждаются в кобальтовых удобрениях, чем другие культуры (табл. 85).

Одним из критериев степени обеспеченности растений микроэлементами является их содержание в почве. При этом наиболее важно

85. Содержание микроэлементов в растениях (в мг на 1 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	0,05...0,13
солома	2...4	—	60...146	1,5...3	10...50	—
Рожь:						
зерно	—	0,20...0,54	8...94	3,4...18,3	9,8...35,8	0,05...0,21
Ячмень:						
зерно	2	0,39...0,46	8...140	3,9...14,3	9,6...50	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...13,9	8,4...50	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	0,25...0,50
Картофель:						
клубни	6	—	8...21	4,7...6	6...20	0,14...0,69
Капуста кормовая	5...20	—	25...135	3,5...6,9	5...35	0,04...0,20

не общее (валовое) количество в почве отдельных микроэлементов, а наличие подвижных форм, которые в какой-то степени определяют их доступность для растений. Содержание в подвижной форме чаще всего составляет для Cu, Mo, Co и Zn 10...15% от их валового содержания в почве и для B — 2...4%.

Если валовые запасы микроэлементов в почве определяются главным образом их содержанием в материнских породах, то содержание микроэлементов в подвижной форме определяется типом почвы, характером материнских пород и растительности, а также микробиологической активностью почвы. Отмечено существенное влияние на подвижность микроэлементов в почве, а следовательно, на их доступность растениям кислотности почвы, ее окислительно-восстановительных и других условий. 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 Советского Союза показало, что почвы отдельных биогеохимических провинций часто довольно бедны подвижными формами некоторых микроэлементов. 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 Советского Союза подвижными формами микроэлементов, установленной на основании анализа почв и растений, а также в результате полевых и вегетационных опытов (табл. 86). Как видно из таблицы, 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, было показано, что растениями используется менее 1% извлекаемых из почвы микроэлементов.

Необходимо также отметить, что следует проявлять известную осторожность при оценке обеспеченности почв усвояемыми формами микроэлементов и разработке на их основе практических рекомендаций, так как имеются доказательства значительных изменений в содержании подвижных фракций микроэлементов в зависимости от времени взятия образца. Эти изменения могут быть иногда столь сущест-

86. Градации обеспеченности почв СССР подвижными формами микроэлементов

Микроэлемент	Биогеохимическая зона	Почвенная вытяжка	Градация обеспеченности (в мг на 1 кг почвы)				
			очень бедная	бедная	средняя	богатая	очень богатая
B	Таежно-лесная	H_2O	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		0,1 н. H_2SO_4	1,0	1,0...25	25...60	60...100	100
Co		1,0 н. HNO_3	0,4	0,4...1,0	1,0...2,3	2,3...5,0	5,0
Zn		1,0 н. KCl	0,2	0,2...0,8	0,8...2,0	2,0...4,0	4,0
B	Лесостепная и степная	H_2O	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_2SO_4	25	25...55	55...90	90...170	170
Co		1,0 н. HNO_3	1,0	1,0...1,8	1,8...2,9	2,9...3,6	3,6
Zn		1,0 н. KCl	0,15	0,15...0,3	0,3...1,0	1,0...2,0	2,0
		Ацетатно-аммонийная	4,0	4,0...6,0	6,0...8,8	8,8	—
B	Сухостепная и полустепная	1,0 н. KNO_3	0,4	0,4...1,2	1,2...1,7	1,7...4,5	4,5
Cu		HNO_3 (по Гюльахмедову)	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	—
		» »	0,3	0,3...1,3	1,3...4,0	4,0...16,4	16,4

венными, что в разные сроки вегетационного периода почва оказывается хорошо и слабо обеспеченной усвояемыми соединениями микроэлементов.

Кроме того, для правильной оценки обеспеченности растений микроэлементами, содержащимися в почве, нельзя не учитывать довольно сложных динамичных явлений: их синергизма и антагонизма. 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.

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 (H_3BO_3) и буры ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$).

Среднее содержание бора в растениях 0,0001%, или 0,1 мг на 1 кг массы. Наиболее нуждаются в боре двудольные растения. Обнаружено значительное содержание бора в цветках, особенно в рыльцах и столбиках. В растительных клетках большая часть бора находится в кле-

точных стенках. Бор усиливает рост пыльцевых трубок, прорастание пыльцы, увеличивает количество цветков и плодов. Без бора нарушается процесс созревания семян. Бор снижает активность окислительных ферментов, оказывает влияние на синтез и передвижение стимуляторов роста.

Бор необходим растениям в течение всего периода их жизни. Он не может реутилизироваться в растениях, поэтому при его недостатке особенно страдают молодые растущие органы. Прежде всего происходит заболевание и отмирание точек роста.

В растениях бор улучшает углеводный обмен, влияет на белковый, нукленновый обмен. При его недостатке нарушается 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, нарушается нукленновый обмен и биосинтез белка. Затем наступает нарушение структуры клеточных стенок и хода деления клеток. Впоследствии происходит побурение тканей вследствие 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 активирует ауксиноксидазу и β-глюкозидазу.

При недостатке бора растения поражаются сухой гнилью (корнеплоды), пожелтением (люцерна), коричневой гнилью (цветная капуста), усыханием верхушки (табак), дуплистостью (турнепс и брюква), бактериозом, 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 в первую очередь бор накапливается в листьях. Избыток бора вызывает своеобразный ожог нижних листьев, они желтеют, появляется краевой некроз, листья желтеют, отмирают и опадают.

Различные сельскохозяйственные культуры неодинаково реагируют на повышенное содержание бора в почве. Так, зерновые культуры могут страдать от избытка уже при содержании подвижного бора 0,7...8,8 мг на 1 кг почвы, а люцерна и свекла могут переносить концентрацию бора в почве свыше 25 мг на 1 кг почвы. Содержание бора в подвижной форме свыше 30 мг на 1 кг почвы является причиной тяжелых заболеваний не только растений, но 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.

87. Эффективность борных удобрений на дерново-подзолистых почвах

Культура	Число опытов	Средний урожай (в ц с 1 га)	Прибавка от бора (в ц на 1 га)
Сахарная свекла	53	246	38
Сахарная свекла *	10	376	37
Лен (семена)	20	5,6	1,2
Картофель	8	216	40
Морковь	10	334	56
Капуста	10	492	124
Томаты	18	557	51

* Торфяно-болотные почвы.

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.

Положительно отзываются на внесение борных микроудобрений клевер, люцерна, картофель, гречиха, кукуруза, зерновые бобовые, виноград, яблоня и другие культуры.

Бором бедны дерново-подзолистые, дерново-глеевые, заболоченные почвы легкого механического состава. В почвах тундры валовое содержание бора 1...2 мг на 1 кг, подвижного до 0,1 мг на 1 кг, в дерново-подзолистых почвах соответственно 2...5 и 0,04...0,6 мг на 1 кг.

Внесение бора целесообразно, если содержание подвижных форм в почве Нечерноземной зоны менее 0,2...0,5 мг на 1 кг почвы, в Черноземной 0,3—0,65, в сероземах и каштановых почвах Средней Азии менее 0,45—2,0 мг/кг.

Применение бора на бедных этим микроэлементом почвах повышает урожай льносоломы на 2...3 ц на 1 га, сахарной свеклы в среднем на 45 ц на 1 га при одновременном увеличении содержания сахара в корнях на 0,3...2,1% (табл. 87).

В качестве борных удобрений сельское хозяйство использует в основном боросуперфосфат и бормагниевые удобрения (табл. 88).

Поставляемый сельскому хозяйству боросуперфосфат в первую очередь выделяется районам свеклосеяния и льноводства.

88. Ассортимент борных удобрений

Удобрение	Содержание бора в водорастворимой форме (в %)
Борная кислота техническая	17,3
Порошок, содержащий бор	2,4...2,8
Бормагниевое удобрение	2,27
Боросуперфосфат гранулированный	0,2±0,05

89. Применение борных удобрений

Микроудобрение	Культура	Доза на 1 га	Способ применения
Борный суперфосфат (0,2% В)	Сахарная свекла, кормовые корнеплоды, зерновые бобовые, гречиха	2...3 ц 1...1,5 ц	В почву при основ внесении В рядки при посе
	Лен	1...5 ц 0,5 ц	В почву при основ внесении В рядки при посев
Борная кислота (17% В)	Семенники многолетних трав и овощных культур	500...600 г	Для предпосевной работки. Неко вые подкормки мян, 100 г на 1
Бормагниевое удобрение (2,2% В)	Сахарная свекла, кормовые корнеплоды, зерновые бобовые, гречиха, лен	20 кг	В почву в смеси с неральными удоб ниями

Боросуперфосфат, содержащий 0,2% В, применяется под саха ную свеклу, кормовые корнеплоды, зерновые бобовые, гречих В почву при основном внесении его вносится 2...3 ц, а в рядки п посеве — 1...1,5 ц на 1 га. Под лен при основном внесении вносит 1,5 ц, а в рядки — 0,5 ц на 1 га. Бормагниевые удобрения (2,2% применяются под сахарную свеклу, кормовые корнеплоды, зернов бобовые, гречиху и лен; в почву в смеси с другими удобрениями вн сятся в норме 20 кг на 1 га.

Борная кислота (17% В) используется для некорневых подкорм в дозе 500...600 г на 1 га под семенники многолетних трав и овощны культур и для предпосевной обработки семян различных сельскох зяйственных растений в дозе 100 г борной кислоты на 1 ц сем (табл. 89).

Медь. Среднее содержание меди в растениях 0,0002%, или 0,2 на 1 кг массы, и зависит от их видовых особенностей и почвенны условий. С урожаем различных культур выносится с 1 га 7...327 меди (табл. 90).

В растительной клетке около 2/3 меди может находиться в нера воримом, связанном состоянии. Относительно богаты медью семе и наиболее жизнеспособные, растущие части растений. 70% всей ме находящейся в листе, сконцентрировано в хлоропластах. Физио гическая роль меди в значительной степени определяется ее вхож нием в состав медьсодержащих белков и ферментов, катализирующ окисление дифенолов и гидроксилирование монофенолов: ортодиф нолоксидазы, полифенолоксидазы и тирозиназы.

Наиболее изученный медьсодержащий фермент — цитохромок даза. Предполагается, что медь и железо цитохромоксидазы вхо в один активный центр фермента.

90. Содержание меди в растениях, выращенных на дерново-подзолистой почве и мощном черноземе (по М. В. Каталымову)

Растение	Дерново-подзолистые почвы		Мощный чернозем	
	урожай (в ц с 1 га)	содержание Cu (в мг на 1 кг)	урожай (в ц с 1 га)	содержание Cu (в мг на 1 кг)
Яровая пшеница:				
зерно	23	7,7	10	5,2
солома	24	3,0	14	1,5
Овес:				
зерно	22	5,8	20	3,6
солома	39	7,5	21	3,7
Вика яровая:				
сено	40	12,2	25	4,7
Картофель:				
клубни	270	6,0	—	—
ботва	500	18,0		
Свекла сахарная:				
корни	542	6,4	280	6,5
листья	450	8,4	100	6,9

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 редуктаз 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.

В литературе приводятся данные об увеличении под действием меди прочности хлорофилл-белкового комплекса, уменьшении разрушения хлорофилла в темноте и вообще о положительном действии меди на процесс зеленения у всех растений.

За счет инактивирования 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. Потемнение битых картофелин, 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 при-

роды медь повышает устойчивость растений к полеганию. Медь по
шает засухо-, морозо- и жароустойчивость растений.

Недостаток меди вызывает задержку роста, хлороз, потерю тург
и увядание растений, задержку цветения и гибель урожая. У зла
вых растений при остром дефиците меди происходит побеление кон
ков листьев и не развивается колос (белая чума или болезнь обра
ки), у плодовых при недостатке меди появляется суховершинно

Валовое содержание меди в различных почвах колеблется в ш
ких пределах, от 0,1 мг до 150 мг на 1 кг почвы. Наиболее бедны ме
верховые торфяники, дерново-карбонатные почвы Прибалтики,
лотные и заболоченные, песчаные и супесчаные почвы. Известкова
кислых почв уменьшает поступление меди в растения, так как п
водит к ее закреплению в почве. Известь действует как адсорбент м
а также путем подщелачивания создает лучшие условия для образ
ния комплексов органических соединений с медью.

Растения испытывают недостаток меди, а почвы считаются
ными по содержанию этого элемента, если в почвах Нечернозем
зоны содержится меди менее 1,5...3,0 мг, в Черноземной зоне — ме
2,0...5,0 мг, в зоне сероземов и каштановых почв Средней Азии —
нее 1,5...4,0 мг на 1 кг почвы.

Потребность в меди в основном проявляется на осушенных болот
почвах БССР, Украины, республик Прибалтики, в Северо-Западн
Центральном, Волго-Вятском районах РСФСР.

Медные удобрения наиболее эффективны на торфяниках, дерн
глеевых, заболоченных почвах и на почвах легкого механическ
состава (табл. 91).

На некоторых осушенных торфяниках из-за недостатка меди воо
не удается получить урожай сельскохозяйственных культур. По
зультатам опытов, внесение медных удобрений на торфоболот
и легких супесчаных почвах приводит к увеличению урожая зерно
культур на 2...5 ц на 1 га.

Наиболее отзывчивы на медные удобрения пшеница, овес, ячме
отзывчивы травы, лен, копопля, корнеплоды, красный клевер, про
подсолнечник, горчица, сахарная и кормовая свекла, кормовые бо
горох и овощные культуры. Потребность в меди возрастает в услов
применения высоких норм азотных удобрений.

91. Эффективность медных удобрений на торфоболотных почвах Минской опытной станции

Культура	Урожай (в ц с 1 га)	
	без меди	с медью
Яровая пшеница	3,8	15,2
Озимая пшеница	1,3	11,6
Ячмень	7,7	21,7
Овес	4,9	24,5
Просо	10,0	18,7

92. Ассортимент медных удобрений

Удобрение	Действующее вещество	Содержа... д. в. в ... раствори... форме (...
Медный купорос (сульфат меди)	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ Cu	92 ...
Порошок, содержащий медь	$CuSO_4$ Cu	
Пиритные (колчеданные) огарки	Cu K_2O	

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 норме 5. . .6 ц на 1 га осенью под зяблевую вспашку или весной под предпосевную культивацию.

Для опудривания семян берут 50. . .100 г сернокислой меди на 1 ц семян, для некорневых подкормок доза сернокислой меди на 1 га посевов 200. . .300 г. Сернокислая медь содержит 25,4% меди.

Марганец. Наличие марганца в растительных организмах отмечено еще в 1872 г., однако длительное время он не считался необходимым для питания растений. К. К. Гедройц показал, 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 выносится 1000...4500 г марганца (табл. 93).

Марганец необходим всем растениям. Среднее содержание марганца в растениях 0,001%, или 1 мг на 1 кг массы. Основное количество его локализовано в листьях и хлоропластах.

Марганец относится к металлам с высоким значением окислительно-восстановительного потенциала 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

93. Содержание в растениях и вынос марганца с урожаем сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой почве и мощном черноземе (по М. В. Каталымову)

Растение	Дерново-подзолистая почва		Мощный чернозем	
	урожай (в ц с 1 га)	содержание Mn (в мг на 1 кг)	урожай (в ц с 1 га)	содержание Mn (в мг на 1 кг)
Сахарная свекла:				
корни	542	88	280	50
листья	450	725	110	180
Картофель:				
клубни	270	7	—	—
ботва	500	298	—	—
Овес:				
зерно	22	88	20	56
солома	39	134	21	63
Вика яровая:				
сено	40	115	25	45
Ячмень:				
зерно	20	40	15	30
солома	29	91	20	37

реакциях фотосинтеза. Марганец увеличивает содержание сахаров, содержание 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, осуществляющий восстановление углекислоты при фотосинтезе. Марганец играет большую роль в активировании многих реакций, в том числе в реакциях превращения ди- и трикарбоновых кислот, образующихся в процессе дыхания. Предполагается, 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 23 металлоферментных комплекса, 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 листьям 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, томатов, гороха и других культур. Марганец ускоряет развитие растений. При недостатке марганца наблюдаются хлорозы, серая пятнистость злаков, пятнистая желтуха сахарной свеклы.

Несмотря на значительное содержание марганца в почве (в желтоземах до 1% и выше, в дерново-подзолистых и черноземных почвах 0,1. . . 0,2%), большая часть этого элемента находится в виде труднорастворимых окислов и гидратов окислов. При близкой к нейтральной реакции почвенного раствора (pH от 6 до 8) растения могут испытывать недостаток марганца вследствие перехода его в труднорастворимые соединения.

Перспективное 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.

В первую очередь марганцевые удобрения 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 культуры, цитрусовые и овощные.

Потребность в марганце проявляется в основном на Украине, в республиках Средней Азии, Закавказья.

94. Действие марганца на урожай сельскохозяйственных культур (по П. А. Власюку)

Культура	Урожай без применения Mn (в ц с 1 га)	Прибавка урожая от Mn (в ц на 1 га)
Сахарная свекла (корни)	310	23,7
Озимая пшеница (зерно)	33,4	2,1
Яровая пшеница (зерно)	17,5	2,2
Кукуруза (зерно)	57,8	11,8
Ячмень (зерно)	11,9	3,0

95. Ассортимент марганцевых удобрений

Удобрение	Действующее вещество	Содержание в водорастворимой форме (в %)
Марганизированный суперфосфат	P_2O_5-Mn	20±1 1...2
Сернокислый марганец	$MnSO_4$	70
Порошок, содержащий марганец	$MnSO_4$	18...22

По данным многолетних опытов, проведенных на различных почвах, марганцевые удобрения повышают урожай озимой и яровой пшеницы на 1,5...3 ц на 1 га.

На черноземах УССР прибавка урожая сахарной свеклы от марганцевых удобрений составляет 10...15 ц на 1 га, а сахаристость корней возрастает на 0,2...0,6%, урожай зерновых культур, в том числе озимой пшеницы, увеличивается на 1,5...3 ц на 1 га (табл. 94).

В качестве марганцевых удобрений используются в основном отходы предприятий марганцеворудной промышленности. Отходы содержат чаще всего 10...18% марганца. Дорогостоящий сернокислый марганец в основном используют для нужд тепличного овощеводства. Учитывая, что марганец проявляет наибольший эффект на фоне фосфорных удобрений, целесообразно производить марганизированный суперфосфат.

При внесении в почву норма марганца в расчете на элемент составляет 2,5 кг на 1 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 1 ц семян сахарной свеклы, пшеницы, кукурузы, гороха. Для некорневых подкормок полевых культур расходуют на 1 га 200 г сернокислого марганца, для опрыскивания плодовых и ягодных культур — 600... 1000 г на 1 га.

Молибден. Наибольшее содержание молибдена в растениях отмечено у бобовых; в семенах бобовых трав может содержаться от 0,5 до 20,0 мг Mo на 1 кг сухой массы, а злаки содержат Mo 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. Молибден локализуется в молодых растущих органах. Листья содержат его больше, чем стебли и корни, в листьях много молибдена содержится в хлоропластах.

Нижним пределом содержания молибдена в растениях считается 0,10 мг на 1 кг сухой массы для большинства растений и для бобовых 0,40 мг на 1 кг. Ниже этих величин возможна недостаточность молибдена.

Со средним урожаем пшеницы выносится с 1 га до 6 г молибдена, 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. Исследованиями показано, что при недостатке молибдена в питательной среде в растениях нарушается азотный обмен, в тканях накапливается большое количество нитратов. В организме животных и человека при избытке потребления нитратов происходит образование канцерогенных соединений — нитрозоаминов. 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.

Накоплен большой экспериментальный материал, указывающий на участие молибдена в ряде физиологических процессов у растений (биосинтез нуклеиновых кислот, фотосинтез, дыхание, синтез 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 обусловливает 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 сельскохозяйственными культурами азота удобрений (не только нитратных, но и аммиачных и амидных вследствие их быстрой нитрификации) и азота почвы, к снижению непроизводительных потерь азота вследствие денитрификации и вымывания нитратов. Это убедительно показано в исследованиях с ^{15}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 нормы молибдена весьма токсичны для растений. Значительное содержание молибдена в сельскохозяйственной продукции вредно для здоровья животных и человека. Считается, что содержание 1 мг Mo на 1 кг сухой массы вредно для человека и животных. 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 Mo. Токсическое действие молибдена ослабляется при добавлении в пищу животных и человека меди.

К культурам, отзывчивым на внесение молибденовых удобрений, относятся 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 механического состава с низким содержанием гумуса. Наименьшее содержание подвижного молибдена отмечено в дерново-подзолистых, песчаных почвах (0,05 мг на 1 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 молибден образует плохо растворимые соединения с алюминием, железом, марганцем, а в щелочных — хорошо растворимое соединение молибдат натрия.

Количество водорастворимых форм молибдена увеличивается при снижении кислотности почвенного раствора. Поглощение молибдена растениями при известковании повышается, но при pH 7,5...8,0 начинает снижаться вследствие увеличения количества карбонатов в почве.

Молибденовая недостаточность может проявляться на дерново-подзолистых почвах, осушенных кислых торфяниках и черноземных почвах.

Положительное действие молибдена на величину и качество урожая овощных культур обусловлено не только его действием на лучшее усвоение растениями азота удобрений, но и улучшением использования азота из почвы (табл. 96).

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, а также ограничивает опасность накопления в продукции, особенно в овощах и пастбищном корме, нитратов в количествах, токсичных для человека

96. Влияние молибдена на использование салатом азота почвы и удобрения на дерново-подзолистой почве (по Э. А. Муравину)

Вариант опыта	Использование за два повторных посева в год (среднее за два года)				
	всего	из почвы		из удобрения	
	в мг/сосуд	в мг/сосуд	в % к фону РК	в мг/сосуд	в % от внесенного
РК	514	514	100	—	—
РК + Mo	612	612	119	—	—
NPK	992	712	134	280	39
NPK + Mo	1158	821	158	337	47

и животных при использовании высоких норм азотных удобрений и на органогенных почвах с интенсивной минерализацией азота. Все это обусловливает целесообразность совместного применения молибдена с азотными односторонними и комплексными удобрениями под небобовые 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 2,6 ц на 1 га; сена и семян клевера на дерново-подзолистых почвах соответственно 13 и 0,8 ц на 1 га (табл. 97).

Эффективно применение молибдена под бобовые культуры на кислых почвах. Вследствие усиления симбиотической азотфиксации бобовыми под действием молибдена улучшается снабжение растений азотом, повышается 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 каштановых и сероземных почвах менее 0,20...0,55 мг на

97. Средние прибавки урожая бобовых культур (в ц на 1 га) **от применения молибдена** (данные ВНУА)

Культура	Дерново-подзолистые почвы		Серые лесные почвы	
	число опытов	прибавка от Mo	число опытов	прибавка от Mo
Горох (зерно)	34	2,9	22	3,6
Вика (зерно)	10	5,1	14	4,9
Вика (зеленая масса)	2	34,0	9	51,6
Соя (зерно)	13	2,7	1	1,9
Кормовые бобы (зерно)	22	4,9	5	3,2
Клевер (сено)	58	13,0	—	—
Клевер (семена)	18	0,8		
Люцерна (зерно)	15	9,3	9	18,2

98. **Действие и последействие молибдена на урожай и ботанический состав трав** (по А. Ф. Шарову)

Вариант опыта	Урожай сена (в ц с 1 га)		Ботанический состав травостоя (в %)		
	действие	последействие	бобовые	злаки	разнотравье
Без молибдена	24,6	25,1	27	46	27
Некорневая подкормка молибденом (150 г на 1 га)	32,0	34,9	43	35	22

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. 98).

Ассортимент молибденовых удобрений достаточно широк (табл. 99). Однако промышленность в основном в качестве молибденовых удобрений поставляет молибденовокислый аммоний.

В ряде республик в качестве молибденовых удобрений используются отходы электроламповой промышленности.

Из способов применения молибденовых удобрений наиболее эффективна и экономически выгодна предпосевная обработка семян (табл. 100). Для обработки 1 ц крупных семян расходуют молибдата аммония или молибдата аммония-натрия 25...50 г, а на 1 ц семян клевера или люцерны — 500...800 г (табл. 100).

Некорневые подкормки проводят из расчета 200 г молибденовокислого аммония на 1 га посева. Перспективной формой удобрений является молибденизированный суперфосфат, предназначенный для внесения в рядки в дозе 0,5 ц на 1 га (или 50...100 г молибдена на 1 га).

Цинк. Вынос цинка с урожаем полевых культур составляет от 75 до 2250 г с 1 га.

Повышенной чувствительностью к недостаточности цинка характеризуются гречиха, хмель, свекла, картофель, клевер красный. Сорные растения характеризуются бо́льшим содержанием цинка, чем культурные. Повышенным содержанием цинка отличаются хвойные растения,

99. **Ассортимент молибденовых удобрений**

Удобрение	Действующее вещество	Содержание д. в. в водорастворимой форме (в %)
Молибдат аммония	Mo	52 ± 1
Порошок, содержащий молибден	MoO_3	14,5...16,5
Отходы электроламповой промышленности	Mo	5...8
Суперфосфат простой гранулированный с молибденом	P_2O_5	$20,0 \pm 1$
	Mo	0,1
Суперфосфат двойной гранулированный с молибденом	P_2O_5	43 ± 1
	Mo	$0,2 \pm 0,05$

100. Применение молибденовых микроудобрений

Удобрение	Культура	Доза	Способ применения
Молибденовый суперфосфат (0,2% Mo)	Зерновые бобовые	50 кг на 1 га в рядки при посеве	Внесение в почву
Молибденово-кислый аммоний (50% Mo)	Горох, вика, соя и другие крупносемянные	25...50 г в 1,5...2 л воды на 1 ц семян	Предпосевная обработка семян
То же	Клевер, люцерна	500...800 г в 3 л воды на 1 ц семян	То же
» »	Горох, кормовые бобы, клевер, люцерна и другие бобовые, выращиваемые на зерно	200 г в 100 л воды (авиаобработка)	Некорневая подкормка в период бутонизации — начала цветения

и наиболее высокое содержание цинка найдено у ядовитых грибов. Потребность в цинке у полевых культур ниже, чем у плодовых деревьев.

За счет некоторой стабилизации дыхания при резкой смене температур цинк повышает жаро- и морозоустойчивость растений. Имеются данные о влиянии цинка на утилизацию фосфора растениями. У растений при недостатке цинка обнаруживается высокая концентрация неорганического фосфора. У гороха и томатов 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 нукленовых кислот. После добавления цинка в питательный раствор использование поглощенного фосфора растениями нормализуется.

Имеются данные об изменении под действием цинка накопления фосфора корнями и замедлении транспорта фосфора в надземные органы растения, о связывании цинка в почве соединениями фосфора. Недостаток цинка вызывает замедление превращения неорганических фосфатов в органические формы.

Представляет большой интерес вопрос о роли цинка в биосинтезе предшественников хлорофилла и в фотосинтезе. В этиолированных и зеленых листьях кукурузы обнаружен цинк-протопорфирин, 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 углекислоты, которая может выделяться в атмосферу в процессе фотодыхания. Возможно, карбоан-

гидраза необходима для проникновения углекислоты через оболочку хлоропласта путем связывания CO_2 или HCO_3^-, в зависимости от формы углекислоты.

В настоящее время известно более 30 цинксодержащих ферментов. Дыхательный фермент карбоангидраза содержит 0,31...0,34% цинка. Цинк входит в состав щелочной фосфатазы, малатдегидрогеназы, алкогольдегидрогеназы, глутаматдегидрогеназы и т. д. Многие металлоферментные комплексы (около 20) активируются цинком. Цинксодержащая карбоангидраза обнаружена у овса, петрушки, гороха, в хлоропластах томатов. 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, нарушается растяжение клеток и дифференциация тканей, гипертрофируются меристематические клетки, угнетается продольное растяжение столбчатых клеток у льна и уменьшаются размеры его хлоропластов. В присутствии цинка формируется большое число митохондрий.

Весьма чувствительны к недостатку цинка плодовые, особенно цитрусовые. У яблони, абрикоса, персика, айвы, вишни наблюдается мелколистность и розеточность, у цитрусовых — пятнистость листьев. У кукурузы при недостатке цинка отмечается побеление или хлороз верхних листьев, у томатов — 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 почвах, бедных цинком, и на высокогумусированных почвах. Усиливает проявление цинковой недостаточности применение высоких норм фосфорных удобрений и сильное припахивание подпочвы к пахотному горизонту. Наиболее высокое валовое содержание цинка в тундровых (53...76 мг на 1 кг) и черноземных (24...90 мг на 1 кг) почвах, наиболее низкое в дерново-подзолистых почвах (20...67 мг на 1 кг). Недостаток цинка чаще всего проявляется на нейтральных и слабощелочных карбонатных почвах. В кислых почвах цинк более подвижен и доступен растениям.

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 и для зоны сероземов и каштановых почв Средней Азии менее 1,4...1,8 мг на 1 кг почвы.

В качестве цинковых удобрений применяются некоторые отходы промышленности, сернокислый цинк (содержит 22% цинка) и полимикроудобрения (ПМУ-7) — отходы, получаемые на заводах при производ-

101. Ассортимент цинковых удобрений

Удобрение	Действующее вещество	Содержание д. в. в водорастворимой форме (в%)
Сернокислый цинк	Zn	21,8...22,8
Порошок, содержащий цинк	$ZnSO_4$	18...22
Цинковые полимикроудобрения (ПМУ-7)	Zn	2...5

стве цинковых белил. Они содержат 19,6% оксида цинка, 17,4% силикатного цинка, 21,1% оксида алюминия, а также небольшое количество алюминия, меди и марганца (табл. 101).

Под кукурузу вносят ПМУ-7 в почву при посеве в рядки (в норме 20 кг на 1 га). При некорневых подкормках используют сернокислый цинк (150...200 г на 1 га посевов). Подкормка проводится для большинства культур в период бутонизации или начала цветения растений, плодовые деревья опрыскивают весной по распустившимся листьям (200... 500 г сернокислого цинка на 100 л воды с добавлением 0,2...0,5% гашеной извести для нейтрализации кислотности раствора соли, чтобы избежать ожога листьев). Для опрыскивания 1 ц семян 4 г сернокислого цинка растворяют в 4 л воды. Для опудривания семян кукурузы на 1 ц семян расходуют 400 г полимикроудобрения (ПМУ-7).

Применение цинка имеет важное значение на карбонатных черноземах, каштановых, бурых почвах, сероземах. Эффективность цинковых удобрений проявляется на хлопчатнике, сахарной свекле, кукурузе и особенно на плодовых культурах.

Кобальт. Среднее содержание кобальта в растениях 0,00002%, или около 0,021 мг на 1 кг сухой массы. Иногда содержание кобальта может достигать до 11,6 мг на 1 кг сухой массы растений.

Значительное количество кобальта содержится в бобовых, где он сосредоточен в клубеньках. Кобальт концентрируется также в генеративных органах, накапливается в пыльце и ускоряет ее прорастание. В растениях около 50% кобальта содержится 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 заболеваниям. Например, возбудитель фузариозного вил-

та 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 имеется указание на связь кобальта с ауксиновым обменом и отмечается, что он способствует растяжению клеточных оболочек.

Кобальт необходим для бобовых 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, бактероиды дольше активно функционируют. Капсулы вокруг бактероидов раньше формируются и дольше сохраняются.

Кобальт оказывает большое положительное действие на размножение клубеньковых бактерий.

Согласно нашим данным, 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.

Доказана необходимость кобальта для бобовых и пшеницы. Имеются многочисленные данные о положительном действии данного элемента на урожай многих растений. Положительное действие кобальта 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, сероземах и каштановых 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. Показано, что при содержании кобальта в кормах менее 0,07 мг на 1 кг сухого сена животные заболевают акобальтозом. Поэтому необходимо обязательное применение кобальтсодержащих удобрений на лугах и пастбищах в районах кобальтовой недостаточности.

Применение кобальтсодержащих удобрений улучшает качество урожая не только вследствие большего накопления растениями данного элемента, но и по другим показателям. Например, в опытах на дерново-подзолистых почвах под действием кобальта урожай корней сахарной свеклы, по данным 44 опытов, повышался в среднем на 35 ц, а сахаристость — на 0,8%, в результате чего сбор сахара увеличился на 10 ц с 1 га.

Прибавка урожая люпина на дерново-подзолистых почвах при применении кобальтовых удобрений составила 1,2 ц/га семян и 65 ц/га зеленой массы (при урожае в контроле 325 ц/га).

Кобальтсодержащие удобрения эффективны при содержании этого элемента в почвах в Нечерноземной зоне 1,0...1,1 мг, в Черноземной зоне 0,6...2,0 мг, в зоне сероземов и каштановых почв Средней Азии 1,0...1,5 мг на 1 кг почвы. Однако для выращивания полноценных кормов для скота и пищевых продуктов необходимо применять кобальтовые удобрения при содержании кобальта 2,0...2,5 мг на 1 кг почвы. В почву кобальт можно вносить в количестве 200...400 г на 1 га в расчете на элемент. Для некорневых подкормок и предпосевной обработки семян используется 0,01...0,1%-ные растворы сернокислого кобальта.

Перспективы использования микроудобрений. Важная роль микроэлементов в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур и все возрастающая потребность в них выдвигают задачу обеспечения сельскохозяйственного производства перспективными формами микроудобрений, позволяющими наиболее эффективно использовать эти необходимые растениям элементы питания.

Абсолютный недостаток отдельных микроэлементов, как и низкое содержание доступных растениям их форм в почвах, может являться одним из основных лимитирующих факторов роста урожаев сельскохозяйственных культур. Достаточно упомянуть о дефиците меди на торфяниках, молибдена на кислых дерново-подзолистых и серых лесных почвах, бора и молибдена на красноземах, марганца, железа и цинка на карбонатных и супесчаных почвах.

В условиях интенсивной химизации сельского хозяйства систематическое повышение урожаев культур сопровождается увеличением выноса всех элементов минерального питания, включая микроэлементы, что обостряет потребность в применении микроудобрений.

Дефицит отдельных микроэлементов в почвах не позволяет получить полную отдачу от применения азотных, фосфорных и калийных удобрений, а внесение микроудобрений обеспечивает значительное повышение эффективности удобрений, содержащих основные элементы питания растений.

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 30...40 ц, семян капусты 2,3...2,9 ц, зерна гороха 2,1...3,7 ц на 1 га. Внесение на дерново-подзолистых почвах молибдена в составе суперфосфата обеспечивает дополнительный сбор с гектара 5...6 ц 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 полу-

102. Экономическая эффективность применения микроэлементов в составе комплексных удобрений

Культура	Удобрение	Стоимость прибавки урожая от микроэлемента (в руб.)	Дополнительные затраты на приобретение удобрения и уборку урожая (в руб.)	Условный чистый доход (в руб. на 1 га)
Сахарная свекла	Нитроаммофоска с бором	90	24	66
Лен-долгунец	То же	98	33	65
Капуста	Нитроаммофоска с молибденом	157	81	76
Клевер	Фосфорно-калийное удобрение с молибденом	27	7	20
Хлопчатник	Аммофос с марганцем	176	37	139
Пшеница	То же	17	5	12
Ячмень	Калийные удобрения с медью	53	6	47
Пшеница	То же	84	5	79

чить урожай зерна ячменя 25...30 ц с 1 га, повысить на 15...18% урожай трав, на 20% урожай овощей.

Одновременное внесение микроэлементов с основными удобрениями оправдано и экономически (табл. 102). По данным НИУИФ, экономическая эффективность от применения бора в нитроаммофоске составляет 66 руб., от меди в хлористом калии — 79 руб.

По имеющимся прогнозам потребность сельского хозяйства в микроэлементах должна на 60...70% обеспечиваться мироэлементами 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, 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 ограниченно 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, учитывая, что взаимодействие между ними имеет не только

синергический, но и антагонистический характер. В качестве примера последнего можно привести взаимоотношение между медью и фосфором, фосфором и цинком, медью и молибденом, медью и цинком.

При осуществлении широкой программы мелиорации кислых почв усиливается потребность сельскохозяйственных культур в молибдене и ванадии. Существенное действие на доступность этих микроэлементов для растений оказывает применение известкования и высоких норм минеральных удобрений.

Значительное влияние на подвижность в почве и доступность растениям микроэлементов может оказать изменение реакции среды под действием физиологической кислотности или щелочности минеральных удобрений.

При систематическом применении высоких норм органических удобрений, как правило, происходит повышение содержания валовых запасов и подвижных форм микроэлементов в почве. Однако применение органических удобрений с ферм, где в качестве добавок в корм скоту и птице применяются отдельные микроэлементы, требует в каждом отдельном случае тщательного подбора норм применения.

При использовании в качестве местных удобрений отходов промышленного производства, компостов из городского мусора, осадка сточных вод, высоких норм жидкого навоза возрастает опасность аккумуляции в почве и включения в биологический круговорот отдельных микроэлементов (в том числе тяжелых металлов) в концентрациях, токсичных для растений, животных и человека.

В условиях постоянно возрастающих норм применения азотных удобрений следует обратить серьезное внимание на использование микроэлементов, участвующих в редукции нитратов и других процессах усвоения азота растениями с целью повышения эффективности использования азота удобрений и снижения опасности накопления нитратов в сельскохозяйственной продукции и загрязнения ими воды, в том числе питьевой. Имеются многочисленные данные о том, что молибден значительно улучшает использование азота удобрений и почвы.

Внесение высоких норм азота под различные культуры приводит к увеличению потребности в молибдене, меди, боре и кобальте.

Следует обратить особое внимание на те направления исследований в области агрохимии микроэлементов, решение которых имеет первоочередное 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 единой методике и программе, на фоне возрастающих 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 удобрений;

изучение взаимодействия макро- и микроэлементов в процессах питания и обмена веществ растений, влияние 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, механического 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 норм 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 отдельных микроэлементов (таких, как медь, фтор, мышьяк, хром, свинец) в связи с вопросами техногенного загрязнения и охраны окружающей среды.

Несомненно, что вышеперечисленные 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.

КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Комплексными называются удобрения, содержащие в сочетании и разнообразном соотношении два, три и более элементов питания: азота, фосфора, калия, магния и микроэлементов.

Их подразделяют на двойные (содержащие два компонента — фосфорно-калийные, азотно-фосфорные, азотно-калийные) и тройные (азотно-фосфорно-калийные).

В зависимости от способов получения комплексные удобрения подразделяются на сложные, сложно-смешанные и смешанные, а по агрегатному состоянию — на твердые и жидкие.

Сложными называются удобрения, содержащие не менее двух элементов питания, получаемые в едином технологическом процессе при химическом взаимодействии аммиака, фосфорной, азотной и серной кислот, плава нитрата аммония, фосфорита или апатита, калийных солей и других исходных компонентов.

Сложно-смешанные — удобрения, получаемые смешением готовых простых туков, с введением в процессе смешивания жидких и газообразных продуктов. Сложно-смешанные удобрения приготовляют аммонизацией простого суперфосфата или азотнокислых и калийных солей с добавлением фосфорной или серной кислоты.

К смешанным относят удобрения, получаемые при смешивании двух или более простых туков.

Множество технологических процессов производства комплексных удобрений можно объединить в четыре группы.

1. Получение сложных твердых удобрений на основе фосфорной и полифосфорной кислот.

2. Приготовление жидких комплексных удобрений на основе фосфорной и полифосфорной кислот.

3. Получение твердых сложных удобрений на основе азотнокислого разложения природных фосфатов.

4. Получение смешанных и сложно-смешанных удобрений.

Высокая концентрация питательных веществ и одновременное содержание нескольких элементов питания являются большим преимуществом комплексных удобрений. Так, например, аммофос, диаммофос, аммонизированный суперфосфат, карбоаммофос, нитрофос содержат два питательных вещества; нитрофоска, нитроаммофоска и карбоаммофоска — три. В состав некоторых сложных удобрений входят и добавки микроэлементов.

Расчеты показали, что при использовании раздельно в 2...3 приема односторонних удобрений затраты на их подготовку и внесение в 1,5... 2 раза выше по сравнению с комплексными. Причем нередко нарушается и оптимальное соотношение питательных веществ.

Повышение содержания питательных веществ в удобрениях только на 10% дает возможность экономить на транспорте около 5 млн. тонна-километров.

Опыты показали, что при раздельном питании азотом, фосфором и калием (через отдельные пряди корней) кукуруза развивалась хуже и поглощала меньше P_2O_5, чем при их совместном внесении и поглощении корневой системой.

Данные первых экспериментов о лучшем использовании растением фосфора при совместном его внесении с азотом и калием были подтверждены в исследованиях с комплексными удобрениями.

Комплексные удобрения обеспечивают лучшую позиционную доступность питательных веществ корневой системе.

Применение сложных удобрений позволяет не только лучше удовлетворить потребность растений в питательных веществах, но и обеспе-

103. Соотношения питательных веществ в комплексных удобрениях и доля их от общего количества

Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$	Доля от общего количества (в %)	Для каких культур и почв предназначается
1:1:1 (типа нитрофоски)	32,0	Для большинства растений и почв при близкой эффективности трех питательных веществ
1:1,5:1	11,1	Для почв с острым дефицитом усвояемого фосфора, средне обеспечивающих растения азотом и калием
1:1:1,5	6,6	Для почв, крайне бедных калием, и под калелюбивые культуры (картофель, сахарная свекла и др.) на других почвах
1:1,5:1,5	6,3	Для растений, следующих по пласту многолетних бобовых трав и травосмесей (например, под лен-долгунец на дерново-подзолистых почвах)
1:1:0,5	1,7	Для почв с повышенным содержанием подвижного калия и под растения с невысоким выносом калия (например, для зерновых культур на выщелоченных черноземах)
1:2,5:0	6,2	Для припосевного внесения и в качестве основного удобрения под хлопчатник (при отсутствии недостатка калия в почвах)
1:4:0	5,6	Для припосевного внесения под зерновые и в виде основного удобрения на почвах южных областей страны (обыкновенные и южные черноземы, каштановые почвы без орошения и др.)
1:1:0 (типа нитроаммофоса)	1,3	Под зерновые и другие растения на почвах с высокой доступностью калия
0:1:1	6,5	Под зерновые и другие растения на почвах с высокой доступностью азота
0:1:1,5	3,3	То же, и для почв с более выраженным дефицитом калия, чем фосфора
Прочие	19,4	В соответствии с рекомендациями агрохимслужбы

чивает экономию на транспортных расходах, строительстве складов, использовании механизированных средств при погрузке, разгрузке и внесении в почву.

Сравнение разных видов комплексных удобрений с эквивалентными сочетаниями простых показало более положительное воздействие первых на процессы развития и формирование урожая всех культур севооборота. Согласно расчетам, при одинаковой эффективности и даже если оптовые цены на нитроаммофоску несколько выше, чем на простые удобрения, более высокая концентрация питательных веществ (48% по сравнению с 27% в смесях простых удобрений) и соответственно меньшие затраты на транспортировку, хранение, подготовку и внесение в почву приводят к тому, что общая стоимость внесения комплексных удобрений на каждый удобренный гектар оказывается ниже, чем простых удобрений. Это отмечают многие исследователи.

По данным ряда исследователей, комплексные удобрения в большинстве случаев оказывают более заметное, чем смеси простых, положительное влияние на качество сельскохозяйственной продукции.

Какие соотношения питательных веществ надо иметь в комплексных удобрениях? В первом приближении это видно из таблицы 103, составленной на основе обобщения опытов.

СЛОЖНЫЕ УДОБРЕНИЯ

К сложным относят двойные (полифосфат аммония, аммофос, диаммофос, нитроаммофос, нитрофос, карбоаммофос, фосфаты мочевины, фосфорно-калийные) и тройные (нитрофоска, нитроаммофоска, карбоаммофоска) удобрения.

Аммофос $NH_4H_2PO_4$ — однозамещенный фосфат аммония. Составляющие эту соль ионы (аммоний и фосфатный) необходимы всем культурам и легко усваиваются ими на всех почвах. Аммофос содержит 11...12% N, 46...60% P_2O_5. В нем нет балласта. Технология производства аммофоса проста: аммиак нейтрализуют фосфорной кислотой:

$$NH_3 + H_3PO_4 = NH_4H_2PO_4.$$

Недостаток аммофоса — чрезмерно широкое соотношение в нем между азотом и фосфором, равное 1 : 4 или даже 1 : 5. Это ограничивает возможность его применения, так как отношение азота к фосфору в удобрении должно быть близким к единице, поскольку большинству растений требуется даже больше азота, чем фосфора.

Диаммофос $(NH_4)_2HPO_4$. Производство аммофоса основано на насыщении аммиаком свободной фосфорной кислоты. Если продолжить этот процесс, то получается диаммофос, в котором отношение между азотом и фосфором равно приблизительно 1 : 2,5:

$$2NH_3 + H_3PO_4 = (NH_4)_2HPO_4.$$

В диаммофосе содержится 18% и больше азота и около 50% P_2O_5. Суммарное содержание азота и фосфора в диаммофосе превышает 70%. Это самое концентрированное из всех сложных удобрений.

Наряду с экономическими преимуществами, присущими всем кон-

центрированным удобрениям, фосфаты аммония ценны еще и тем, что они весьма удобны для локального применения при посеве и посадке всех культур, вблизи семенного материала. Они не содержат сколько-нибудь заметных количеств балласта (если приготовлены на термической кислоте), не создают высокой концентрации раствора (локально вносят лишь небольшие дозы питательных веществ) и не повышают заметно осмотического давления почвенного раствора. В то же время оба иона (аммоний и фосфатный) легкодоступны растениям.

Калийная селитра KNO_3 также относится к сложным удобрениям. Содержит около 13% азота и до 45% калия (K_2O), 1 ц ее заменяет более 1 ц калийной соли и почти 0,4 ц аммиачной селитры. KNO_3 не содержит балластных веществ и отличается хорошими физическими свойствами. В качестве источника калия она особенно ценна для культур, чувствительных к хлору.

Недостаток калийной селитры — широкое отношение между азотом и калием (1 : 3,5). Поэтому при ее использовании требуется дополнительное внесение азотных удобрений и, конечно, фосфорных, если необходимо дать все три питательных элемента одновременно.

Фосфоаммомагнезия, или магний-аммоний-фосфат, $MgNH_4PO_4 \times \times H_2O$ — слаборастворимое сложное удобрение, содержащее 8% азота и 40% P_2O_5. Нитрификация аммония этого удобрения в почвенных условиях идет так же быстро, как и сульфата или нитрата аммония. Пригодно для основного внесения без вреда для растений даже при больших нормах. В состав соли могут быть введены и микроэлементы марганец, медь, цинк. Тогда, кроме азотно-фосфорного, это будет и соответствующее микроудобрение. Имеет важное значение для теплиц (гидропоника). Использование обосновано опытами на кафедре агрохимии ТСХА.

Нитрофоски. Еще в 1908 г. Д. Н. Прянишников высказал предположение о целесообразности воздействия на фосфориты с целью получения удобрения не серной, а азотной кислотой, полагая, что таким путем можно получить одновременно два ценных удобрения: азотное и фосфорное.

При воздействии азотной кислотой на фосфатное сырье получают кальциевую селитру и однозамещенный фосфат кальция с примесью преципитата (дифосфата кальция). Но эта смесь еще не считается полноценным удобрением; из-за поглощения паров воды кальциевой селитрой смесь отличается повышенной влажностью и плохо рассевается. Поэтому необходима дальнейшая обработка ее для того, чтобы перенести азот из кальциевой селитры в другие соединения. Существует несколько способов такой обработки.

1. В полученную смесь — пульпу, когда она еще горячая и кашицеобразная (что облегчает взаимодействие), вводят сульфат аммония. Он реагирует с кальциевой селитрой, образуется аммиачная селитра и безводный сернокислый кальций:

$$Ca(NO_3)_2 + (NH_4)_2SO_4 = 2NH_4NO_3 + CaSO_4.$$

На этой стадии процесса, если надо получить тройное удобрение, в пульпу добавляют в желательной пропорции хлористый калий. Ча-

стично он взаимодействует с аммиачной селитрой с образованием хлористого аммония и калийной селитры:

$$KCl + NH_4NO_3 = NH_4Cl + KNO_3.$$

В дальнейшем массу высушивают и превращают в гранулы. В каждой грануле находятся $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$, NH_4NO_3, NH_4Cl, KCl, KNO_3, $CaSO_4$ и примеси, которые содержались в исходном фосфатном сырье. Удобрение это называется *сульфатной нитрофоской*, оно обладает хорошими физическими свойствами и может быть использовано различными способами под большинство культур на всех почвах.

2. При добавлении в пульпу аммиака и серной кислоты достигается тот же результат, что и при введении сульфата аммония. Но аммиак может вызывать вследствие местного подщелачивания среды частичную ретроградацию образовавшихся усвояемых солей фосфорной кислоты. Чтобы избежать этого, одновременно прибавляют и небольшое количество растворимой соли магния. Введение хлористого калия позволяет получить удобрение, очень близкое по составу и свойствам к сульфатной нитрофоске, но для отличия его называют *сернокислой нитрофоской*.

Применение серной кислоты удорожает производство нитрофосок. Одно из преимуществ азотнокислого разложения фосфатного сырья и заключается в том, что сокращается или даже вовсе исключается потребность в серной кислоте. Азотная кислота получается при окислении аммиака, синтезируемого из азота атмосферы.

3. Самым перспективным способом является прибавление к пульпе аммиака и фосфорной кислоты; нитрат кальция превращается в одно- и двухзамещенные фосфаты кальция и аммиачную селитру, кроме того, образуется аммофос:

$$3H_2O + 2Ca(NO_3)_2 + 4H_3PO_4 + 5NH_3 = 4NH_4NO_3 + CaHPO_4 \cdot 2H_2O + Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + NH_4H_2PO_4.$$

В этой нитрофоске самая высокая доля водорастворимой фосфорной кислоты (до 80%), в двух предыдущих около 55% от усвояемой.

Введение хлористого калия дает еще NH_4Cl и KNO_3. Содержащиеся в пульпе растворимые фосфаты кальция и примеси, находящиеся в фосфатном сырье, также войдут в состав полученного удобрения. Это *фосфорная нитрофоска*.

Нитрофоски выпускают с размером частиц 1...4 мм. Гранули достаточно прочные и при кондиционировании их путем добавления небольших количеств минеральных масел и припудривания кизельтуром, тальком или тонкоразмолотым известняком не слеживаются при перевозке и хранении. Объемная масса нитрофоски 1,0.

Действие нитрофосок, как правило, более эффективно в равных дозах NPK, чем тукосмеси.

В серии экспериментов на дерново-подзолистой почве было установлено, что доступность растениям азота, фосфора и калия из нитрофосок несколько выше, чем из суперфосфата в смеси с аммиачной селитрой и хлористым калием. Вероятно, это объясняется более равномерным распределением в почве гранул комплексного удобрения. Отмечено, что

104. Характеристика нитрофосфатов

Наименование нитрофосфатов	Содержание (в %)			Отношение водорастворимой кислоты P_2O_5 к усвояемой P_2O_5 (в %, не менее)
	N	P_2O_5 (усвояемая)	K_2O	
Нитрофос марка А	23,5	17	—	50
Нитрофос марка В	24	14	—	50
Нитрофоска марка А (16:16:13)	16...17	16...17	13...14	55
Нитрофоска марка Б (13:16:13)	12,5...13,5	8,5...9,5	12,5...13,5	55
Нитрофоска марка В (12:12:12)	11...12	10...11	11...12	55

в почве фосфаты нитрофосок менее подвержены ретроградации, чем суперфосфата. Отмечалось также лучшее развитие корневой системы озимой пшеницы и увеличение ее адсорбционной поверхности по нитрофоске, что способствовало повышению урожайности культуры. Количество корневой массы озимой пшеницы сорта Мироновская 808 под влиянием нитрофоски бесхлорной увеличивалось с 13,7% на контроле до 33%, а превышение длины корней и корневых волосков соответственно составляло 17,9 и 23,3%. Поглощающая рабочая поверхность корневой системы озимой пшеницы в фазу цветения у контрольных растений достигала 0,30 м², а с внесением нитрофоски бесхлорной — 0,79 м² в пересчете на 1 г сухих корней.

УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ АММОНИЯ

Сложные удобрения на основе фосфатов аммония получают нейтрализацией фосфорной и азотной кислот аммиаком. Такие удобрения характеризуются высоким содержанием питательных веществ (50...70%) и водорастворимого фосфора (90...100%).

Нитроаммофос — сложное удобрение, получаемое на основе моноаммонийфосфата; при введении калия называется *нитроаммофоской*. На основе диаммонийфосфата производят соответственно *диаммонитрофос* и *диаммонитрофоску*. При этом можно получать сложные удобрения с различным соотношением азота, фосфора и калия (табл. 105).

Карбоаммофоска содержит азот в амидной и в аммиачной формах, весь фосфор в водорастворимой форме и калий.

Карбоаммофоска производится из мочевины, фосфорной кислоты, аммиака и солей калия. Она содержит до 60% питательных веществ (по 20% N, P_2O_5 и K_2O). Карбоаммофоска может выпускаться со следующим соотношением азота к фосфору и калию: 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 P_2O_5). Соотношение азота и фосфора может быть такое же, как и в карбоаммофоске.

105. Характеристика сложных удобрений

Удобрение	Содержание питательных веществ (в %)			Соотношение питательных веществ
	N	P_2O_5 (усвояемая)	K_2O	
Нитроаммофоска	17,5	17,5	17,5	1:1:1
	18	15	18	1:0,8:1
	15	15	23	1:1:1,5
	13	19,5	19,5	1:1,5:1,5
	13	26	13	1:2:1
	10,5	21	21	1:2:2
	17	17	17	1:1:1
	17,5	14,2	17,7	1:0,8:1
	20,5	20,5	10,2	1:1:0,5
	14,8	14,8	22,2	1:1:1,5
	18	15	188	1:0,8:1
	11,5	23	23	1:2:2
	15	22,5	15	1:1,5:1
	14	21	21	1:1,5:1,5
	13,5	27	13,5	1:2:1
	12	186	24	1:1,5:2
	17,5	17,5	17,5	1:1:1
Диаммонитрофоска	15,5	15,5	23,4	1:1:1,5
	14,7	22	22	1:1,5:1,5
	21,3	21,3	10,7	1:1:0,5
	16,9	25,2	16,9	1:1,5:1
	14,4	35,7	11,4	1:2,5:1
	12	24	24	1:2:2

Нитроаммофосфаты — сложные удобрения, получаемые на основе аммофоса, и карбоаммофосфаты (табл. 106) выпускают в гранулированном виде (размер гранулы 1...3 мм).

Фосфаты мочевины. Фосфат мочевины образуется при взаимодействии термической фосфорной кислоты и синтетической мочевины. Производство основано на способности последней образовывать комплексы с фосфорной кислотой.

106. Содержание NPK в сложных удобрениях на основе фосфатов аммония (в %)

Удобрение	N	P_2O_5	K_2O
Нитроаммофос:			
марка А (1:1)	23,0	23,0	—
марка Б (1:1,5)	16,0	24,0	—
Нитроаммофоска сорт I (сумма NPK 50%)	16,0	16,0	18
Нитроаммофоска сорт II (сумма NPK 44%)	14,0	14,0	16
Карбоаммофос	30	30	—
Карбоаммофоска сорт I (сумма NPK 60%)	20	20	20

Можно дополнительно вводить аммиак и добавлять хлорид калия. Удобрение содержит до 36% N, до 48% P_2O_5 или по 24% N и P_2O_5.

Амиды фосфора — высококонцентрированные удобрения, в которых суммарное содержание азота и фосфора достигает 120...147%, что почти в два раза выше, чем в аммофоске и диаммофоске.

Фосфорный ангидрид перспективен для производства амидов, имидов фосфорных кислот, а также дегидратированных фосфатов аммония, медленно растворимых в воде, не выщелачивающихся и не связываемых почвой.

Взаимодействие P_2O_5 с NH_3 приводит к образованию смеси азотнофосфорных соединений различного состава: диамидопирофосфорной кислоты $P_2O_3(NH_2)_2(OH)_2$, двухзамещенной аммонийной соли моноамидопирофосфорной кислоты $P_2O_3(NH_4)_2(NH_2)(OH)$ либо аммонийной соли такой полифосфорной кислоты, в которой атомы фосфора соединены не только посредством кислородных атомов, но и посредством имидогрупп (NH).

Фосфонитриламид содержит 93% P_2O_5 и 54% N, триамид ортофосфорной кислоты — 75% P_2O_5 и 44% N. Эффективность этого удобрения приближается к азотнокислому аммонию и моноаммонийфосфату.

При разложении апатита серной кислотой в присутствии хлористого калия получают фосфорно-калийные удобрения. К ним относятся *суперфоска* и *концентрированная суперфоска*.

В зависимости от сорта суперфоска содержит 11...16% усвояемой фосфорной кислоты, а концентрированная суперфоска — 18...27%; калия в I сорте 12...21%, во II 23...33%. Содержание свободной кислоты не более 5%, влажность этих удобрений 13...14%. Выпускают их в виде порошка.

К комплексным удобрениям относится *аммонизированный суперфосфат*. Его получают при насыщении простого суперфосфата аммиаком. Делают это для того, чтобы нейтрализовать его свободную кислотность, одновременно уменьшается и гигроскопичность удобрения, что улучшает его физические свойства. Оно легче смешивается с другими туками, лучше рассеивается сеялками.

Соединяясь со свободной фосфорной кислотой суперфосфата, аммиак образует аммофос. Но если аммиака ввести больше, чем необходимо для нейтрализации, начнется ретроградация фосфорной кислоты с образованием трифосфата кальция. Это нежелательно, так как может привести к заметному ухудшению доступности фосфора растениям. Обычный порошковидный суперфосфат в состоянии поглотить до 6% азота аммиака, но во избежание ретроградации монофосфата кальция его вводят не более 3...4%.

Содержащийся в аммонизированном суперфосфате азот хорошо усваивается всеми культурами, но его слишком мало для того, чтобы заметно улучшить азотное питание растений. Поэтому аммонизированный суперфосфат применяют в рядки при высеве семян, когда не следует давать много азота. В случае же основного внесения такой суперфосфат приходится дополнять азотными удобрениями в соответствии с заданной нормой.

ПОЛИФОСФАТЫ

Полифосфаты — высоко концентрированные сложные удобрения качественно отличаются от стандартных форм туков, выпускаемых в настоящее время, специфичностью структуры фосфатного компонента. Макроэнергическая природа Р—О—Р-связи, при помощи которой формируются цепи и кольца полифосфатного аниона, в значительной мере определяет влияние этих удобрений на некоторые физико-биохимические процессы в растениях.

Способность корневой системы растений и клеток микрофлоры почвы гидролизировать Р—О—Р-связи, а также свойство растений частично поглощать фосфор с негидролизованной Р—О—Р-связью, возможно, определяют физиологическую специфику действия этих удобрений. Реакция гидролиза полифосфатов протекает следующим образом:

$$2HPO_3 + H_2O \longrightarrow H_4P_2O_7;\ H_4P_2O_7 + H_2O \longrightarrow 2H_3PO_4;$$
$$H_5P_3O_{13} + 2H_2O \longrightarrow 3H_3PO_4 \text{ и т. д.}$$

При 7...12°С процессы гидролиза совершаются медленно, при 12...15°С они усиливаются. Выявляются различия между почвами; те из них которые обладают высокой биологической активностью, способствуют течению гидролиза. Оптимальная температура для гидролиза 30...35°С.

До недавнего времени технология выпуска концентрированного суперфосфата, преципитата и фосфатов аммония основывалась исключительно на ортофосфорной кислоте (H_3PO_4), которая в самом чистом от примесей состоянии может содержать не более 54% P_2O_5. Между тем приготовляемые теперь смеси полифосфорных кислот содержат 70% и даже больше (до 83%) P_2O_5. Это позволяет производить и более концентрированные комплексные удобрения.

Получение полифосфорных кислот требует нагревания и вакуума:

$$2H_3PO_4 \xrightarrow[\text{нагревание}]{\text{вакуум}} H_4P_2O_7 + H_2O;$$
$$H_3PO_4 + H_4P_2O_7 \xrightarrow[\text{нагревание}]{\text{вакуум}} H_5P_3O_{10} + H_2O;$$
$$H_5P_3O_{10} \xrightarrow[\text{нагревание}]{\text{вакуум}} 3HPO_3 + H_2O \text{ т. д.}$$

В этих реакциях происходит конденсация (уплотнение молекул фосфорной кислоты с выделением воды), поэтому полифосфорные кислоты называют еще конденсированными.

Ряд полифосфорных кислот можно выразить следующим образом: HPO_3 — метафосфорная, $H_4P_2O_7$ — пирофосфорная, $H_5P_3O_{10}$ — триполифосфорная, $H_6P_4O_{13}$ — тетраполифосфорная и т. д. Максимальная достигнутая концентрация P_2O_5 в смеси полифосфорных кислот 83%.

Перевозят полифосфорные кислоты в цистернах (как железнодорожных, так и автомобильных) из натурального или бутилового каучука, неопрена или нержавеющей стали. В СССР полифосфаты были получены в 1964 г.

Полифосфаты (общая формула $H_{n+2}P_nO_{3n+1}$) представляют собой линейные полимеры, содержащие сотни групп PO_4. Имеются и ультраполимеры этого типа, содержащие тысячи подобных групп.

Исходным продуктом для производства полифосфатов является смесь полифосфорных кислот, которые получают из концентрированной ортофосфорной кислоты экстракционного происхождения или из элементного фосфора, добываемого термическим путем.

Гранулированные фосфаты аммония (15—62—0) производят аммонизацией термической суперфосфорной кислоты (76...77% P_2O_5) в реакторах под давлением. Плав гранулируют, охлаждают и просеивают. Эти удобрения используются в твердом виде или могут входить главным компонентом в состав жидких и суспендированных удобрений благодаря быстрой растворимости.

Особенности структуры полифосфатов позволяют вводить в состав их молекулы несколько элементов минерального питания (азот, калий, кальций), включая микроэлементы. Это открывает широкие перспективы для дальнейших исследований в направлении создания новых видов и форм таких удобрений.

Специфичность структуры полифосфатов существенно влияет на режим фосфора в почве и в значительной степени определяет агрономическую эффективность их в зависимости от типа почв, на которых они применяются.

Благодаря возможности включения микроэлементов непосредственно в состав молекул полифосфатов может значительно повыситься ценность этих удобрений. По данным исследований, введение в состав триполифосфата аммония цинка повышало урожай семян льна на 18% по сравнению со стандартными удобрениями без этого микроэлемента. Включение цинка в состав ортофосфата аммония обеспечивало еще больший прирост продукции семян. При введении марганца в состав триполифосфата калия значительно повышалась эффективность этого удобрения: биологический урожай льна-долгунца увеличивался (по сравнению с удобрениями без Mn) на 24%, урожай семян — на 29%, соломы — на 22%. Без марганца прибавки составляли соответственно 14, 14 и 15%.

На карбонатном сероземе в условиях вегетационных опытов урожай кукурузы повышался с 12,2 г (при внесении триполифосфата калия) до 17 г на сосуд при использовании триполифосфата калия и цинка.

Доступность растениям полифосфатов зависит от степени их гидролиза в почве. На этот процесс влияют температура, биологическая активность, pH, минералогический состав почвы.

В почве полифосфаты медленнее, чем ортофосфаты, образуют нерастворимые соединения с железом, алюминием, марганцем. Они быстро вступают во взаимодействие с кальцием и магнием, образуя содержащие аммоний комплексные соединения (в основном пирофосфаты), которые являются удовлетворительным источником азота и фосфора для растений. Подвижность полифосфатов в почве меньше, чем ортофосфатов, так как первые более активно взаимодействуют с почвенными минералами, однако она в большей степени зависит от свойств почвы, чем от формы фосфата.

Полифосфаты обладают свойствами катионитов: они способны адсорбировать кальций и другие катионы в обмен на NH_4 и H^+. По химическим свойствам полифосфаты очень близки, разделять их можно только хроматографически.

В почве пиро- и триполифосфаты растворяют соединения железа и алюминия, мешая тем самым осаждению этих катионов в форме ортофосфатов. При взаимодействии пирофосфатов с кальцием и магнием образуются хорошо доступные растениям соли. Стерилизация почвы резко снижала темпы гидролиза триаммоний-пирофосфата в различных почвах. Имеются наблюдения, подтверждающие более быстрое передвижение в почве триполифосфатов, чем орто- и пирофосфатов.

Среди перспективных сложных удобрений следует отметить *полифосфат аммония*, который содержит до 15% N и 60% P_2O_5. Благодаря высокой эффективности полифосфаты аммония могут найти применение на карбонатных почвах в Средней Азии, Казахстане, на Кубани, в Молдавии, южных областях Украины.

Твердые полифосфаты аммония хорошо оправдали себя при выпуске смешанных удобрений. Так, добавляя к ним аммиачную селитру и хлорид калия, приготовляют тройное удобрение, содержащее 12% N, 24% P_2O_5 и 24% K_2O. При введении мочевины и хлорида калия в полифосфат аммония можно выпускать тук с содержанием каждого из этих веществ по 20%.

Метафосфат калия. На дерново-подзолистой супесчаной почве метафосфат калия в многолетних опытах с картофелем и сахарной свеклой действовал на урожай и его качество лучше, нежели эквивалентные количества питательных веществ в простых удобрениях. На дерново-подзолистой суглинистой почве метафосфат калия при разбросном и локальном внесении под картофель и ячмень (на выравненном азотном фоне) влиял на урожай так же, как и суперфосфат с хлористым калием.

Важно отметить, что это относится к труднорастворимому мелкокристаллическому $(KPO_3)_n$. Примерно одинаковым было и содержание в растениях P_2O_5 и K_2O. В опытах со льном-долгунцом фосфор одинаково усваивался из метафосфата и суперфосфата, а калий — лучше из KCl.

На мощном черноземе (Харьковская область) метафосфат калия по своему влиянию на сахарную свеклу и пшеницу приближался к смесям суперфосфата и хлористого калия.

ЖИДКИЕ И СУСПЕНДИРОВАННЫЕ УДОБРЕНИЯ

К жидким комплексным удобрениям (ЖКУ) относятся растворы питательных солей, имеющие в своем составе два или три дефицитных элемента (N, P, K), так называемые вторичные элементы питания (Ca, Mg, S) и микроэлементы (Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo, Co, Cl).

Как показали испытания, действие на растения твердых и жидких комплексных удобрений приблизительно одинаковое. Несколько боль-

шая эффективность ЖКУ, изготовленных на полифосфорной кислоте, отмечается на карбонатных и других почвах, насыщенных основаниями. Эффективность ЖКУ на кислых почвах (красноземах, дерново-подзолистых) возрастает при локальном внесении.

ЖКУ относятся к одним из самых перспективных видов минеральных удобрений.

Принципиальная схема получения ЖКУ заключается в нейтрализации аммиаком фосфорной кислоты (экстракционной или термической) до pH 6,5. В качестве нейтрализующего агента в зависимости от схемы получения используется водный или безводный аммиак. Существуют два вида ЖКУ, различаемых в зависимости от формы используемого для их производства фосфора: на ортофосфорной кислоте и на суперфосфорной кислоте (последняя представляет собой смесь орто- и полифосфорной кислот с содержанием 72...80% P_2O_5). Увеличение содержания азота в ЖКУ достигается прибавлением аммиачной селитры, мочевины или смеси мочевины и аммиачной селитры.

ЖКУ на термической ортофосфорной кислоте — почти прозрачные жидкости; на основе экстракционной ортофосфорной кислоты — мутные растворы (вследствие образования дисперсных частиц — аммонизированных фосфатов алюминия и железа, кремниевой кислоты). Концентрация азотно-фосфорных ЖКУ на суперфосфорной кислоте значительно превосходит получаемые на ортофосфате (табл. 107). Полифосфаты также эмульгируют примеси, осаждающие при аммонизации экстракционной фосфорной кислоты, и добавление небольших количеств суперфосфорной кислоты (20% для ЖКУ без калия и 30% с калием) осветляет ЖКУ, получаемые на основе экстракционной ортофосфорной кислоты.

Получение тройных жидких удобрений. Тройные жидкие удобрения производят способами горячего и холодного смешивания.

1. Горячее смешивание. Фосфорную и полифосфорную кислоты нейтрализуют газообразным и водным аммиаком, а также добавляют и растворяют в полученной смеси другие исходные компоненты. В виде азотных и калийных компонентов чаще всего применяются мочевино-аммонийно-нитратный раствор марки 28—0—0 или 32—0—0 и хлористый калий.

2. Холодное приготовление — механическое смешивание готовых растворов исходных компонентов. При холодном смешивании используются растворы фосфатов аммония и твердый диаммонийфосфат. Азотные и калийные компоненты остаются те же, что и при горячем процессе.

Смеси жидких удобрений, получаемых холодным способом. Наиболее распространены смеси полифосфата аммония 10—34—0 или 11—37—0 с мочевино-аммонийно-нитратным (28,3 или 32% N) и калийным растворами. Все составные части вводят в смесительную камеру. Отпадает необходимость охлаждения, поэтому расходы по сравнению с горячим способом производства сокращаются вдвое.

Твердый полифосфат аммония 15—62—0 также может быть использован для приготовления жидких удобрений. Его подвергают аммонизации до заданного pH в ходе смешивания.

Дополнительный азот в различные марки ЖКУ вводят в виде мочевины, аммиачной селитры или смеси обоих компонентов.

Растворы мочевины и нитрата аммония можно получить смешиванием твердых гранулированных продуктов с водой. Однако более экономично получение их непосредственно на заводах.

Наибольшее количество полифосфорных кислот в настоящее время используют для производства жидких комплексных удобрений. Растворимость аммонизированных термических кислот при 0°С зависит от степени аммонизации и концентрации. В растворе полифосфорных кислот, содержащих 76% P_2O_5, около половины фосфора находится в форме полифосфатов; они растворяются до тех пор, пока концентрация питательных веществ не превышает 46%. Состав такого раствора (в %) 10—34—0 (N: P_2O =0,30). При использовании кислот, содержащих от 78 до 80% P_2O_5, получают растворы состава 11—37—0 (N: P_2O =0,30).

В растворе происходит гидролиз полифосфатов до ортофосфатов, степень его незначительна при низкой температуре и увеличивается с ее повышением. Продолжительное хранение при жаркой погоде приводит к значительному гидролизу. При длительном хранении удобрения 10—34—0 и высоком содержании в нем примеси магния может произойти осаждение кристаллического полифосфата магния-аммония $(NH_4)_2MgP_2O_7 \cdot 4H_2O$, кристаллы которого быстро растут. Добавление 20% P_2O_5 в виде раствора 11—37—0 замедляет кристаллизацию и увеличивает длительность хранения удобрения от пяти недель до трех месяцев.

ЖКУ на основе фосфорной кислоты имеют сравнительно невысокое общее содержание питательных веществ (24...30%), так как в более концентрированных растворах при низких температурах происходит кристаллизация солей и выпадение их в осадок.

В нашей стране производятся также ЖКУ состава 9 : 9 : 9, 7 : 14 : 2, 6 : 18 : 6, 8 : 24 : 0 и др.

На основе полифосфорной кислоты получают ЖКУ с содержанием питательных веществ более 40%. Основным (базисным) раствором таких ЖКУ являются составы 10—34—0 и 11—37—0. Эти базисные

107. Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ в жидких удобрениях, получаемых на базе ортофосфорной и суперфосфорной кислот

$N:P_2O_5:K_2O$	Ортофосфорная	Суперфосфорная
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

Примечание. Дополнительный компонент ЖКУ—смесь мочевины и аммиачной селитры.

растворы используют для производства тройных ЖКУ различного состава путем добавления мочевины, аммиачной селитры и хлористого калия. Плотность указанных базисных растворов 1,35...1,4, температура кристаллизации —18°С. Никаких неблагоприятных изменений при их длительном хранении (даже при резких перепадах температур) не происходит.

ЖКУ не содержат свободного NH_3, поэтому их можно разбрызгивать по поверхности поля с последующей заделкой любым почвообрабатывающим орудием: дисковой бороной, культиватором, плугом. Специальными машинами ЖКУ можно вносить местно, лентой, под любую культуру, особенно пропашную. ЖКУ можно применять в районах орошаемого земледелия (с поливной водой).

Применение ЖКУ позволяет полностью механизировать все процессы погрузки и разгрузки удобрений, полностью устранить потери при транспортировке, перегрузках, хранении и в процессе внесения в почву.

Можно также назвать еще ряд несомненных преимуществ жидких комплексных удобрений: легкость автоматизированного контроля распределения удобрений по полю, обеспечивающего высокую равномерность, что ведет к одновременному развитию и созреванию растений, снижая потери урожая при уборке; возможность растворения в ЖКУ и совместного внесения гербицидов, инсектицидов, микроэлементов, ростовых веществ. Кроме того, получение ЖКУ связано со значительно меньшими капитальными вложениями в расчете на 1 т удобрений по сравнению с твердыми туками, что объясняется сокращением некоторых стадий технологического процесса производства.

Экономическая эффективность жидких удобрений бесспорна. Капитальные затраты на строительство цехов по производству ЖКУ на 20...30% ниже, чем твердых туков (не требуется сушки и грануляции).

Даже при равной себестоимости ЖКУ и твердых удобрений затраты труда на применение ЖКУ в 3...3,3 раза ниже. При этом особенно большая экономия достигается на погрузочно-разгрузочных работах и транспортировке удобрений. Доставка и внесение ЖКУ в 2...2,5 раза дешевле, чем твердых. Имеющиеся расчеты подтверждают высокую экономическую эффективность ЖКУ.

При внесении ЖКУ в почву может использоваться существующая техника для применения аммиачной воды — гербицидно-аммиачные машины.

Внедрение ЖКУ требует, однако, создания высокопроизводительных машин. При этом необходимо учитывать, что ЖКУ (особенно суспендированные) обладают коррозионной активностью.

В будущем ЖКУ могут стать важной, а в отдельных районах страны преобладающей формой удобрения. ЖКУ по своей агрономической эффективности не уступают твердым удобрениям. Особенно перспективно их применение на карбонатных сероземах и других почвах со щелочной реакцией.

В нашей стране намечено несколько основных районов применения ЖКУ: Белоруссия, Прибалтика, свеклосеющие области Украины,

некоторые центральные и центрально-черноземные области РСФСР, и, кроме того, районы орошаемого земледелия.

Важнейшее значение имеет определение сроков, способов и норм внесения ЖКУ. Фосфор ЖКУ по сравнению с твердыми ортофосфатами лучше растворяется в воде и вследствие этого легче смывается поверхностным стоком, следовательно, при использовании ЖКУ важен учет рельефа.

Суспендированные удобрения. Главная трудность в производстве жидких удобрений — необходимость освобождения продукта от твердых веществ, поскольку суспензии содержат кристаллы водорастворимых солей и частицы нерастворимых или плохо растворимых веществ.

Концентрация питательных веществ вследствие этого может значительно превышать их растворимость. Для суспендированных жидких удобрений подобные примеси не имеют отрицательного значения, так как суспензии готовят с добавлением коллоидной глины (примерно до получения 2%-ных ее взвесей).

Все марки суспензий имеют более высокое содержание питательных веществ, чем подобные им прозрачные жидкости, и вполне сравнимы с твердыми смесями.

Для предотвращения роста кристаллов и осаждения твердых частиц, а также с целью повышения концентрации питательных веществ в ЖКУ к ним добавляют стабилизирующие вещества — коллоидные глины, предохраняющие пересыщенный раствор от выпадения твердой фазы.

Базисное суспендированное удобрение имеет состав 12—40—0, и на его основе можно готовить тройные ЖКУ различного состава (15—15—15, 10—30—10, 9—27—13 и др.). Плотность суспензии 1,4...1,5, при хранении свыше 2...3 недель суспензии легко загустевают и расслаиваются, поэтому готовить их надо с расчетом применения в течении этого срока.

Для транспортировки и внесения суспензий необходимы специальные машины.

Для получения суспендированного удобрения 12—40—0 термическую суперфосфорную кислоту (80% P_2O_5) аммонизируют и добавляют 3% (по массе) коллоидной глины. Такое удобрение хорошо хранится в течении трех месяцев при температуре от 0 до 27°С, но при —18°С оно затвердевает. Хранение при температуре около 36°С приводит довольно быстро к гидролизу удобрения, образуется кристаллический диаммонийфосфат $(NH_4)_2HPO_4$. Сокращение количества добавляемой глины уменьшает кристаллизацию, но ухудшает качество удобрения. Следовательно, жидкие и суспендированные удобрения лучше всего применять свежеприготовленными, без продолжительного их хранения.

Суспензия на основе базисного раствора 10—34—0, раствора мочевино-аммоний-нитрата, сухих мочевины и хлористого калия имеет следующую характеристику: состав (в %) 13—13—13, плотность 1,427, pH 6,39, содержание глины 3%. При хранении в плотно закрытых сосудах при переменной температуре (0...30°С) в течение дли-

108. Содержание микроэлементов в суспензии 13—13—13

Соль микроэлемента	Норма введения микроэлементов (в кг на 60 кг P_2O_5)	Концентрация микроэлементов в готовом продукте (в %)	Устойчивость суспензии (в днях)
1. $MnSO_4$	5,0	0,975—Mn	20
2. $ZnSO_4$	0,5	0,108—Zn	30
3. $CuSO_4$	0,8	0,172—Cu	30
4. $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	—	0,200—Co	30
5. $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 6H_2O$	0,2	0,0432—Mo	30
6. H_3BO_3	0,4	0,0863—B	30
Соли 1...6	—	1,585	20

тельного времени суспензия расслаивается, но при перемешивании легко приобретает однородную консистенцию.

Увеличением дозы мочевины можно получить удобрение состава 9—9—9 с температурой кристаллизации ниже —18°С.

Смешивание на холоде позволяет готовить удобрения состава 5—15—30 на основе раствора 12—40—0 и мочевино-аммоний-нитрата. В суспензии, включающие полифосфат аммония, можно вводить микроэлементы.

Суспензия состава 15—15—15, приготовленная из полифосфата аммония 12—40—0, растворов мочевино-аммоний-нитрата (32—0—0) и калия, наиболее пригодна для включения в нее микроэлементов в количествах: 0,35% B в виде $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$; 1,20% Cu — $CuSO_4 \cdot H_2O$; 1,20% Fe — $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$; 0,34% Mn — $MnSO_4 \cdot n H_2O$; 2,50% Zn — $ZnSO_4$.

В глинистую суспензию состава 13—13—13 были введены микроэлементы (марганец, цинк, медь, кобальт, молибден и бор), каждый в отдельности, а также совместно.

Количество вводимых микроэлементов соответствовало требованиям сельского хозяйства (табл. 108).

Почти все жидкие комплексные удобрения и суспензии получают по двум схемам: сложные — путем химического взаимодействия реагентов (горячее смешивание) и смешанные — путем холодного смешивания из промежуточных растворов.

СЛОЖНО-СМЕШАННЫЕ УДОБРЕНИЯ

Комплексные удобрения этой группы получают путем обработки готовых удобрений (аммофоса, диаммофоса и др.) аммиаком, аммиакатами и кислотами с последующей грануляцией. Эти удобрения имеют более однородный гранулометрический состав (содержание гранул размером 1...3,2 мм — 90%).

Смешанные удобрения представлены двумя видами: твердыми и жидкими.

По способу производства твердые смешанные удобрения делят на два типа: механические смеси и сложно-смешанные удобрения.

Механические смеси получают без существенных химических превращений компонентов. Эти смеси, в свою очередь, делят на порошковидные и гранулированные. Преимущество гранулированных сухих смесей состоит в том, что изготовление их возможно с любым соотношением питательных веществ.

Сложно-смешанные гранулированные удобрения получают добавлением к смеси односторонних удобрений аммиака и неорганических кислот (H_2SO_4 и H_3PO_4) с последующим гранулированием.

В нашей стране выпускают сложно-смешанные гранулированные удобрения, являющиеся продуктом аммонизации смеси простого суперфосфата, азотных солей в виде плава, аммиаката (или в кристаллическом состоянии) и калийных солей. Предусмотрен выпуск сложно-смешанных гранулированных удобрений пяти марок. Прочность гранул на раздавливание для всех марок должна быть не менее 2 МПа (20 кгс/см²). Гранулометрический состав: гранул размером 1...3,2 мм не менее 90%, 3,2...5 мм не более 5%, меньше 1 мм не более 5%.

Процесс приготовления механических тукосмесей подразделяется на пять этапов:

1) подготовка удобрений — смешивание;
2) подача компонентов к тукосмесительной установке;
3) дозирование;
4) смешивание;
5) выгрузка тукосмеси в транспортные средства, бункер разбрасывателя или на склад.

Одно из главных требований, предъявляемых к гранулированным тукосмесям — получение хорошо сыпучих, неслеживающихся, пригодных к механизированному рассеву продуктов.

109. Содержание питательных веществ в сложно-смешанных удобрениях разных марок

Марка удобрения	Содержание питательных веществ (в %)			Отношение водорастворимой P_2O_5 к усвояемой (в %)
	N	P_2O_5 усвояемой	K_2O	
1:1:1	10...11	10...11	10...11	85
0:1:1,5	0	13...14	19...20	85
1:0,7:1	12...13	8...9	12...13	85
1:1:1,5	9...10	9...10	14...15	85
1:1,5:1	8...9	12...13	8...9	85
1:1,5:0	10...11	15...16	0	85
1:2:2	8...9	17...18	17...18	85

Уровень требований к физико-химическим свойствам тукосмесей определяется рядом факторов: объемами тукосмешения, сроками и методами их приготовления, схемой продвижения тукосмесей до поля и пр.

Возможны два пути реализации тукосмесей: внесение непосредственно после приготовления и заблаговременное приготовление с последующим хранением.

Используемые в сухом тукосмешении односторонние и неуравновешенные по составу удобрения должны сохранять сыпучесть, неслеживаемость и гранулометрический состав в процессе транспортировки в специальных вагонах с донной выгрузкой и при хранении насыпью в течение 6 месяцев. Содержание влаги не должно превышать в мочевине и аммиачной селитре 0,12%, аммофосе, диаммофосе и хлористом калии 1%, двойном суперфосфате 3,5% (при свободной кислотности не более 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 кгс/см²).

Химической промышленностью выпускается достаточно широкий ассортимент гранулированных удобрений, которые могут быть использованы в тукосмешении: мочевина, аммиачная селитра, двойной и простой суперфосфат, аммофос, хлористый калий.

Физические свойства тукосмесей можно улучшить введением нейтрализующих добавок: мела, известняка, фосфоритной муки.

В СССР установлены технические условия на два типа тукосмесей: МРТУ 6-08-141—69 на смесь порошковидного суперфосфата с фосфоритной мукой в соотношении 1 : 1 и ТУ 6-08-336—75 на двойное фосфорно-калийное удобрение, получаемое смешиванием кристаллического хлористого калия и простого суперфосфата с последующим гранулированием методом прессования. Содержание гранул в этом удобрении размером 1...4 мм не менее 90%, 4...6 мм не более 5% и меньше 1 мм не более 5%. Механическая прочность гранул 3,5...4,0 МПа (35...40 кгс/см²).

Особенности физико-химических свойств исходных удобрений часто ограничивают возможность их смешивания.

Например, при смешивании аммиачной селитры с суперфосфатом могут выделяться пары азотной кислоты или окислы азота:

$$NH_4NO_3 + H_3PO_4 \longrightarrow NH_4H_2PO_4 + HNO_3.$$

Образование нитрата кальция ведет к увеличению гигроскопичности смеси:

$$2NH_4NO_3 + Ca(H_2PO_4)_3 \longrightarrow 2NH_4H_2PO_4 + Ca(NO_3)_2 + nH_2O.$$

Карбонат и бикарбонат кальция, имеющие щелочную реакцию, и металлургические основные шлаки, содержащие свободную окись

кальция, нельзя смешивать с аммиачной селитрой или сульфатом аммония, а также с фосфатами аммония и его полифосфатами из-за возможных потерь аммиака:

$$CaO + (NH_4)_2SO_4 \longrightarrow 2NH_3 + CaSO_4 + H_2O.$$

Использование нескольких исходных компонентов с улучшенными физико-химическими свойствами позволяет приготовить комплексные смешанные удобрения, пригодные для длительного хранения. Например, введение нейтрализующих добавок (доломит, костяная 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 P_2O_5 (до 1%) и влажности (до 4% в простом и до 3% в двойном) позволяют получать в смеси с карбамидом удобрение состава 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.

Одним из важнейших требований к качеству смешанных удобрений является однородность их гранулометрического состава, которая достигается близостью размеров гранул исходных компонентов.

Диаграмма ограничений смешивания пар удобрений

Аммиачная селитра	1	0								
Карбамид	2	1	1							
Сульфат аммония	3									
Суперфосфат нейтрализованный (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

Обозначения: 0 — свойства смеси значительно ухудшаются; 1 — длительное хранение смесей недопустимо; 2 — заблаговременное смешивание допустимо.

СУХОЕ ТУКОСМЕШЕНИЕ

Сухое тукосмешение — наиболее доступный, простой и экономичный метод получения комплексных удобрений с необходимым соотношением питательных веществ.

В настоящее время в практике наметилось два пути внедрения сухого тукосмешения: 1) организация тукосмешения непосредственно в хозяйствах при помощи стационарных или передвижных тукосмесительных установок, а также машин, используемых для подготовки удобрений на складах, транспортирования и внесения (МВС-3М, Д-665); 2) использование стационарных высокопроизводительных установок

(40...60 т/ч) с перспективой обслуживания нескольких хозяйств районными объединениями «Союзсельхозхимия».

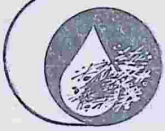
Одним из главных направлений развития туковой промышленности становится всемерное увеличение производства концентрированных простых и комплексных минеральных удобрений.

Для улучшения качества и повышения эффективности комплексных удобрений целесообразно обратить большое внимание на включение в их состав магния и микроэлементов с обязательным учетом специфики различных сельскохозяйственных культур и почв в зонах их выращивания.

Принимая во внимание, что в недалеком будущем будет решен ряд важнейших проблем улучшения почвенного питания растений, в частности вопросы известкования кислых почв и гипсования щелочных, дальнейшие исследования в области повышения эффективности применения комплексных удобрений будут направлены на поиски параметров использования принципиально новых форм их с запрограммированной скоростью освобождения питательных веществ в почве.

Применение таких удобрений (в том числе длительного действия) определит и пути обоснования новых систем их использования в различных почвенно-климатических зонах страны под все культуры.

Новые формы удобрений позволят добиться более полного потребления питательных элементов растениями как из удобрений, так и из резервов почвы. Это, несомненно, положительно скажется не только на себестоимости сельскохозяйственных продуктов, но и будет способствовать предотвращению загрязнения окружающей среды.



НАВОЗ

Навоз, навозная жижа, торф, фекалии, птичий помет, компосты, хозяйственные отходы, зеленое удобрение и т. д. относят к органическим удобрениям. Из них навоз — главное и повсеместно распространенное органическое удобрение. Все эти удобрения называются местными, так как хозяйство, как правило, не завозит их (за исключением органических отходов городов), а накапливает на месте (навоз, навозная жижа, фекалии, птичий помет), или добывает (торф), или приготовляет (компосты), или же выращивает (зеленое удобрение) на месте.

Органические удобрения оказывают многостороннее действие на агрономические свойства почвы и при правильном использовании резко повышают урожай сельскохозяйственных культур. Они прежде всего служат источником питательных веществ для растений. В их составе в почву поступают все необходимые растениям питательные (макро- и микро-) элементы. Так, каждая тонна сухого вещества навоза крупного рогатого скота содержит около 20 кг азота, 8...10 кг фосфора (P_2O_5), 24...28 кг калия (K_2O), 28 кг кальция (CaO), 6 кг магния (MgO), 4 кг серы (SO_3), 20...40 г бора, 200...400 г марганца (MnO), 20...30 г меди, 125...200 г цинка, 2...3 г кобальта и 2...2,5 г молибдена. Такие удобрения называют полными. Процентное содержание основных питательных элементов в навозе, торфе и фекалиях (при их определенной влажности) приводится в таблице 110.

В 20 т полуперепревшего подстилочного навоза содержится столько же питательных веществ, сколько в 2,5 ц простого суперфосфата, 2 ц хлористого калия и 3 ц аммиачной селитры. Отсюда вытекает важное народнохозяйственное значение рационального использования органических удобрений.

110. Содержание питательных веществ в некоторых органических удобрениях (в %)

Органическое удобрение	N	P_2O_5	K_2O	CaO
Полуперепревший навоз (при влажности 75%)	0,50	0,25	0,60	0,70
Торф верховой (при влажности 60%)	0,35	0,03	0,03	0,04
Торф низинный (при влажности 60%)	1,05	0,14	0,07	0,14
Фекалии	0,67	0,33	0,20	0,10

В отличие от минеральных органические удобрения по содержанию питательных веществ являются значительно менее концентрированными. Так, если содержание элементов питания в минеральных удобрениях измеряется десятками процентов, то в органических удобрениях — только долями их и реже целыми процентами. В связи с этим нормы этих двух групп удобрений при планировании одной и той же нормы действующего вещества резко различны. Если нормы минеральных удобрений измеряются центнерами на 1 га, то нормы органических удобрений определяются тоннами и десятками тонн. Органические удобрения малотранспортабельны, и их лучше применять на близлежащих полях и участках.

Применение органических удобрений, как и минеральных,— важнейший способ вмешательства человека в круговорот веществ в земледелии. Внесение навоза, навозной жижи, птичьего помета, фекалий является повторным использованием части тех питательных веществ, которые ранее поглощались растениями из почвы и уже участвовали в создании урожая. В навоз, например, через корм животных попадают азот, фосфор, калий и ряд других элементов питания, которые до этого были взяты растениями из почвы. Очевидно, что питательные вещества вносимых в почву минеральных удобрений через урожай, а затем через корм и подстилку в какой-то мере также поступают в навоз и при его применении возвращаются в почву.

В круговорот веществ в земледелии вовлекается также большое количество азота воздуха, связываемого клубеньковыми бактериями бобовых. При скармливании животным корма из бобовых связанный ими азот в значительной степени попадает в навоз. Таким образом, при возрастающем применении минеральных удобрений и широком возделывании бобовых культур навоз служит средством прогрессивного увеличения количества используемых в хозяйстве азота, фосфора и калия.

Применение некоторых других органических удобрений, таких, как торф, городской мусор и ил пресных вод, означает вовлечение в круговорот новых питательных веществ, ранее находившихся вне этого круговорота.

Возделывание бобовых в качестве зеленого удобрения способствует вовлечению в круговорот значительного количества атмосферного азота.

Навоз и другие органические удобрения являются для растений не только источником минеральных питательных веществ, но и углекислоты. При разложении в почве этих удобрений выделяется много углекислоты, которая насыщает почвенный воздух и приземной слой атмосферы, в результате улучшается воздушное питание растений. Чем выше нормы внесенного в почву навоза или торфяных компостов, тем больше углекислоты образуется при их разложении и тем благоприятнее условия воздушного питания растений. При внесении в почву 30...40 т навоза в период его интенсивного разложения количество ежедневно выделяемой на гектаре углекислоты по сравнению с неудобренным участком возрастает на 100...200 кг. Значение такого количества CO_2 видно хотя бы из того, что для создания урожая зерновых

хлебов 20...25 ц с 1 га ежедневно требуется около 100 кг CO_2, а для получения урожая картофеля и овощных культур 40...50 т с 1 га — 200... 300 кг.

Органические удобрения — энергетический материал и источник пищи для почвенных микроорганизмов. Кроме того, такие органические удобрения, как навоз и фекалии, сами очень богаты микрофлорой, и вместе с ними в почву попадает большое количество микроорганизмов. В связи с этим навоз и некоторые другие органические удобрения усиливают в почве жизнедеятельность азотфиксирующих бактерий, аммонификаторов, нитрификаторов и других групп микроорганизмов.

На малогумусных, слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах органические удобрения являются не только источником корневого и воздушного питания растений, но и важным средством улучшения свойств почвы. При систематическом внесении больших норм органических удобрений происходит улучшение агрохимических свойств почвы, она обогащается гумусом, улучшаются ее биологические, физические, химические, физико-химические свойства, водный и воздушный режимы. При этом возрастает, в частности, емкость поглощения и степень насыщенности почвы основаниями (Ca, Mg, K), несколько снижается ее кислотность (если почва кислая), уменьшается подвижность в почве алюминия, железа, марганца и повышается буферность. Под влиянием органических удобрений тяжелые почвы становятся менее связными, а у легких почв повышаются влагоемкость и емкость поглощения.

Применение органических удобрений, особенно в сочетании с минеральными, создает благоприятные условия для выращивания высоких и устойчивых урожаев различных сельскохозяйственных культур.

Питательные вещества навоза и минеральных удобрений, вносимые в эквивалентном количестве, в большинстве случаев равноценны для урожая сельскохозяйственных культур.

Высокие урожаи сельскохозяйственных культур можно получить как по одним минеральным, так и по одним органическим удобрениям. Однако при правильном их сочетании устраняются специфические недостатки обоих видов удобрений и тем самым создаются условия наиболее рационального их использования.

Необходимо иметь в виду, что значительная часть питательных веществ органических удобрений, в том числе навоза, становится доступной растениям лишь по мере их минерализации. В связи с этим применением одних органических удобрений трудно обеспечить потребность растений в элементах питания, в частности, в первый период вегетации и в период максимального потребления ими питательных веществ.

В отличие от органических многие минеральные удобрения являются быстродействующими. Содержащиеся в них питательные вещества могут использоваться растениями с момента внесения их в почву.

При помощи минеральных удобрений легче обеспечить меняющуюся потребность растений в питании в течение всей вегетации. Например, припосевное внесение минеральных удобрений (прежде всего гранулированного суперфосфата) обеспечивает питание растений в самом начале роста, а подкормка минеральными удобрениями в дополнение к

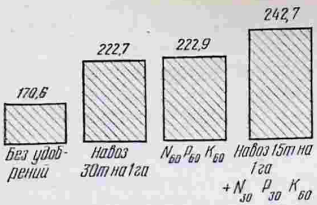


Рис. 32. Урожай клубней картофеля (в ц с 1 га) в среднем за 3 года в зависимости от применения навоза и минеральных удобрений.

органическим и минеральным удобрениям, внесенным до посева, полнее удовлетворяет растение в элементах питания в период максимального их потребления, обеспечивает содержание доступных питательных веществ в требуемых для растений соотношениях.

При использовании одних органических удобрений соотношение питательных веществ в них может быть не таким, какое необходимо для нормального роста и развития растений. Внесением минеральных удобрений или сочетанием их с органическими можно создать любое требуемое растением соотношение питательных элементов.

Однако при использовании одних минеральных удобрений нередко ухудшаются некоторые свойства почвы. Так, при систематическом применении физиологически кислых удобрений в дерново-подзолистых почвах увеличивается кислотность, содержание подвижного алюминия, усиливается химическое закрепление фосфатов. В то же время при внесении органических удобрений, как уже указывалось, повышается буферность почвы, уменьшается подвижность железа и алюминия, фосфор суперфосфата слабее закрепляется в почве.

При использовании только минеральных удобрений вероятность образования вредной для растений концентрации почвенного раствора гораздо больше, чем при сочетании минеральных и органических удобрений. Такая опасность особенно велика на легких малобуферных почвах при внесении высоких норм минеральных удобрений. Такие культуры, как огурцы и кукуруза, очень чувствительны к повышенной концентрации почвенного раствора, особенно в первый период вегетации. Для них совместное применение органических и минеральных удобрений имеет явное преимущество перед внесением одних минеральных удобрений.

Благодаря использованию органических удобрений могут быть значительно снижены нормы минеральных и тем самым предотвращено создание чрезмерной концентрации солей в почвенном растворе.

По данным опытов ВИУА, проведенных с картофелем на окультуренной дерново-подзолистой почве, при совместном внесении минеральных удобрений и навоза их действие не просто суммируется, а возрастает (рис. 32).

Правильное сочетание органических и минеральных удобрений не означает обязательное их совместное внесение в почву. На практике часто более целесообразно навоз или другое органическое удобрение внести под парозанимающую культуру, а минеральные удобрения — под озимые, идущие по занятому пару, или же органические и минеральные удобрения заделать под пропашные, а под последующие культуры внести одни минеральные удобрения.

Навоз — это отходы животноводства, состоящие в основном из

экскрементов животных. Кроме того, в зависимости от конкретных хозяйственных условий в составе навоза может быть подстилка. По этому признаку различают: обычный подстилочный навоз и полужидкий (или жидкий) бесподстилочный навоз.

Подстилочный навоз состоит из твердых и жидких выделений животных и подстилки. В его составе в среднем около 25% сухого вещества и около 75% воды.

Бесподстилочный полужидкий навоз состоит в основном из твердых и жидких выделений животных и значительного количества воды. Он содержит 10...11% сухого вещества и 89...90% воды. В состав бесподстилочного навоза некоторое количество воды попадает в виде производственных отходов. В ряде случаев воду добавляют специально, чтобы облегчить удаление навоза из животноводческих помещений (гидросмыв навоза), что сильно снижает содержание в нем сухого вещества. Такой навоз называется жидким.

На крупных животноводческих комплексах скот содержится без применения подстилки, т. е. получают бесподстилочный полужидкий и жидкий навоз.

ПОДСТИЛОЧНЫЙ НАВОЗ

Твердые и жидкие выделения животных входят в состав навоза любой консистенции. В среднем из потребляемого животными корма в навоз переходит около 40% органического вещества, 80% фосфора, 50% азота и 95% калия. Однако в зависимости от вида скота и его возраста, состава корма относительное количество переходящих в состав навоза веществ колеблется в широких пределах. Эти факторы влияют также на соотношение между твердыми и жидкими выделениями, на содержание в них питательных веществ. Так, чем водянистее корм, тем больше бывает жидких выделений. Чем переваримее корм, тем меньше сухого вещества в твердых выделениях и больше в жидких. Чем больше дают животным концентрированных кормов и чем богаче они белками, тем больше азота и фосфора содержится в навозе. При прочих равных условиях в растущем организме молодняка задерживается гораздо больше азота и фосфора (и меньше они переходят в навоз), чем в организме взрослых животных.

Твердые и жидкие выделения животных неравноценны по составу и удобрительным качествам. Почти весь фосфор выделений из организма животных попадает в твердые выделения, в жидких выделениях его очень мало. Около 1/2...2/3 азота и почти весь калий, находящиеся ранее в кормах, выделяются из организма животных вместе с мочой. Примерно от 1/3 до 1/2 азота и лишь небольшая часть калия попадает в состав твердых выделений.

Азот и фосфор твердых выделений животных входят в состав органических соединений и становятся доступными растениям лишь после их минерализации, в то время как калий находится в подвижной форме. Все питательные вещества жидких выделений представлены в легкорастворимой или легкоминерализуемой форме.

111. Количество и соотношение твердых и жидких выделений, получаемых в сутки от одного животного

Вид животных	Выделяется в течение суток		Соотношение между твердыми и жидкими выделениями
	твердых выделений (в кг)	жидких выделений (в л)	
Крупный рогатый скот	20...30	10...15	2,0
Лошади	15...20	4...6	3,5
Овцы	1,5...2,5	0,6...1,0	2,5
Свиньи	1,5...2,2	2,5...4,5	0,5

Твердые выделения животных очень богаты микроорганизмами, моча же в период ее выделения микроорганизмов не содержит, они в нее попадают позже из твердых выделений.

Количество и соотношение твердых и жидких выделений, получаемых в сутки от одной головы различных видов скота, неодинаковы (табл. 111).

У лошадей, овец и крупного рогатого скота твердых выделений больше, чем жидких; у свиней, наоборот, жидкие выделения по массе в два раза преобладают над твердыми. Кроме того, в твердых и жидких выделениях крупного рогатого скота и свиней содержание сухого вещества ниже по сравнению с выделениями овец и лошадей. Вместе с тем в твердых и жидких выделениях крупного рогатого скота значительно меньше азота, фосфора и калия, чем в выделениях других животных (табл. 112).

Все это обусловливает неодинаковый характер разложения навоза разных животных. Навоз лошадей и овец благодаря большему содержанию в кале и моче сухого вещества, азота, фосфора и других элементов быстрее разлагается при хранении, выделяя много тепла. Такой навоз называют горячим. Навоз же крупного рогатого скота (вследствие

112. Содержание сухого вещества, азота и зольных элементов (в %) в выделениях различных видов животных

Вид животных	Сухое вещество	N	P_2O_5	K_2O	CaO	Mg	SO_4
В твердых выделениях							
Крупный рогатый скот	16	0,29	0,17	0,10	0,35	0,13	0,04
Лошади	24	0,44	0,35	0,35	0,15	0,12	0,06
Овцы	35	0,55	0,31	0,15	0,46	0,15	0,14
Свиньи	18	0,60	0,41	0,26	0,09	0,10	0,04
В жидких выделениях							
Крупный рогатый скот	6	0,58	0,01	0,49	0,01	0,04	0,13
Лошади	10	1,55	0,01	1,50	0,45	0,24	0,06
Овцы	13	1,95	0,01	2,26	0,16	0,34	0,30
Свиньи	3	0,43	0,07	0,83	0,01	0,08	0,08

113. Среднее содержание в подстилке питательных веществ (в %)

Вид подстилки	N	P_2O_5	K_2O	CaO	При влажности (в %)
Солома озимой пшеницы	0,50	0,20	0,90	0,30	14,3
Солома ржи	0,45	0,26	1,00	0,30	14,3
Солома овса	0,65	0,35	1,60	0,40	14,3
Торф верховой	0,80	0,10	0,07	0,22	14,0
Торф низинный	2,25	0,30	0,15	3,00	25,0
Листья древесные	1,10	0,25	0,30	2,00	30,0
Опилки	0,20	0,30	0,74	1,08	14,0
					25,0

большего содержания воды и меньшего — важнейших элементов питания) и свиней (из-за большего содержания воды и меньшего содержания кала) разлагается медленно, температура его повышается слабо. Такой навоз называется холодным.

Подстилка — составная часть подстилочного навоза. При добавлении ее к первым двум компонентам она увеличивает выход навоза, улучшает его качество и уменьшает в нем потери азота и жижи. В качестве подстилки используют самые разнообразные материалы: солому, торф, опилки и др. Навоз, приготовленный на соломенной подстилке, называют соломенным, на торфяной подстилке — торфяным.

Подстилка имеет большое зоогигиеническое и агрономическое значение. Она создает мягкое сухое ложе для животных и увеличивает выход навоза. С подстилкой в навоз попадает дополнительное количество питательных веществ, которые под влиянием микробиологических процессов превращаются в более доступные для растений формы (табл. 113).

Подстилка поглощает жидкие выделения животных и образующийся аммиачный азот. При отсутствии или недостатке подстилки эти вещества теряются в значительных размерах на скотных дворах и при хранении навоза. Одна часть соломенной подстилки может поглощать две-три части жидкости, одна часть низинного торфа — пять — семь частей и верхового торфа — десять—пятнадцать частей жидких выделений животных.

Подстилка улучшает физические, физико-химические и биологические свойства навоза: он становится менее влажным, более рыхлым и легче разлагается при хранении. При наличии подстилки навоз легче перевозить, вносить и заделывать в почву. Подстилку следует применять не только в животноводческих помещениях, но и на площадках для беспривязного содержания скота.

Для подстилки в основном используют солому и торф. При их применении получается навоз лучшего качества. В случае недостатка соломы или торфа используют древесные опилки. Однако при этом навоз получается худшего качества, с низким содержанием азота и с большим количеством медленно разлагающейся клетчатки и лигнина. Такой навоз необходимо вносить в почву задолго до посева сельскохозяйственных культур, а еще лучше после его достаточного разложения при длительном компостировании.

Солому для подстилки лучше всего использовать в виде резки длиной 10...15 см. Резка поглощает по сравнению с цельной соломой значительно больше мочи и аммиачного азота, облегчает перевозку навоза, укладку его в штабеля и внесение в почву.

Торф, особенно верховой,— лучший материал для подстилки. Он сильнее, чем другие виды подстилки, поглощает жидкие выделения животных и аммиачный азот навоза. При использовании на скотном дворе торфа резко повышается его удобрительное качество, создаются условия для лучшего разложения торфа после внесения в почву.

На подстилку лучше использовать торф со степенью разложения не выше 25...30% и влажностью 30...55%. В репродуктивном свиноводстве на подстилку лучше применять солому или моховой волокнистый торф со степенью разложения 10...15%. Сильно разложившийся и более влажный торф хуже поглощает жидкие выделения животных. Слишком же сухой торф плохо смачивается (и также плохо поглощает влагу).

Оптимальный расход подстилки зависит от ее качества, вида скота, количества и качества потребляемых животными кормов (табл. 114).

Более высокая норма подстилки повышает выход навоза (табл. 115) и резко уменьшает потери жижи и аммиачного азота. Снижение потерь азота объясняется увеличением поглощения газообразного аммиака и усилением биологического поглощения азота, т. е. большим переходом азота в состав плазмы микроорганизмов, разлагающих клетчатку.

В хозяйствах на удобрение чаще всего применяется смесь навоза разных видов скота преимущественно на соломенной подстилке. Принято считать, что в таком навозе содержатся в среднем около 0,5% N, 0,20...0,25% P_2O_5 и 0,6% K_2O, или соответственно 5 кг N, 2...2,5 кг P_2O_5 и 6 кг K_2O на 1 т навоза. Эти показатели могут меняться в зависимости от вида скота, состава и качества кормов, вида и количества подстилки, условий и длительности хранения навоза, а также от степени его разложения.

114. Расход подстилки в сутки (в кг) на одно животное при стойловом содержании

Вид животных	Солома злаковых	Торф			Древесные опилки, стружки
		сфагново-пушицевый	осоково-гипновый	моховой волокнистый	
Крупный рогатый скот	4...6	8...11	20	7	4...6
Телята	2...3	5	10	3	2...4
Лошади	3...5	5...6	8...10	4	2...4
Овцы	0,5...1	—	—	—	—
Свиньи:					
матки с поросятами	6...7	—	—	6...7	—
хряки	2...3	—	—	2...3	2...3
откармливаемые	1...2	—	—	1...2	1,5...2
отъемыши	1...1,5	—	—	0,5...1	1...1,5

115. Зависимость выхода навоза и потерь азота от нормы подстилки (данные ВИУА)

Норма подстилки в сутки на одну корову (в кг)	При соломенной подстилке		При торфяной подстилке	
	накоплено навоза за 200 дней (в т)	потери азота за 3½ месяца хранения (в %)	накоплено навоза за 200 дней (в т)	потери азота за 3½ месяца хранения (в %)
2	7,2	43,9	7,7	25,2
4	8,6	31,2	9,2	13,7
6	10,2	13,3	10,4	3,4

Удаление навоза из животноводческих помещений. Для удаления из животноводческих помещений подстилочного навоза часто применяют тракторные бульдозеры. При этом предварительно навоз сбрасывают вручную из стойл в проход, а затем удаляют за пределы помещения с помощью тракторной бульдозерной лопаты или самоходным шасси с погрузчиком.

В ряде хозяйств для механизированной уборки навоза любой консистенции (с одновременной погрузкой его на транспортные средства или в хранилище) применяют канатные скреперные установки или штанговые транспортеры.

Подстилочный навоз после удаления его со скотных дворов хранят в прифермских или полевых штабелях.

Изменения, происходящие в подстилочном навозе при хранении. Во время хранения навоза в нем идут при участии микроорганизмов процессы распада твердых выделений животных и подстилки с образованием более простых минеральных соединений (в частности, образование аммиачного азота из более сложных белковых веществ) и вторичные процессы синтеза, например переход аммиачного азота в белки тел микроорганизмов. Часть аммиачного азота переходит в амидную форму.

Аммиачный азот во время хранения навоза теряется главным образом при разложении мочи. Она разлагается раньше и быстрее, чем другие составные части навоза.

Жидкие выделения животных содержат мочевину $CO(NH_2)_2$, гиппуровую кислоту $C_6H_5CONHCH_2COOH$ и мочевую кислоту $C_5H_4N_4O_3$. Из них быстрее разлагается при хранении навоза (и навозной жижи) мочевина, несколько медленнее — гиппуровая кислота и еще медленнее — мочевая кислота. Мочевина под действием фермента уреазы, выделяемого уробактериями, быстро превращается в углекислый аммоний:

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3.$$

Углекислый аммоний малоустойчивое соединение и быстро распадается на аммиак, углекислый газ и воду:

$$(NH_4)_2CO_3 \longrightarrow 2NH_3 + CO_2 + H_2O.$$

Гиппуровая кислота сначала распадается на бензойную и аминоуксусную кислоты:

$$C_6H_5CONHCH_2COOH + H_2O \longrightarrow C_6H_5COOH + CH_2NH_2COOH.$$

Образующаяся аминоуксусная кислота, в свою очередь, распадается на уксусную или оксиуксусную кислоту с выделением свободного аммиака:

$$CH_2NH_2COOH + H_2O \longrightarrow CH_2OHCOOH + NH_3.$$

Превращение мочевой кислоты идет через образование мочевины, а затем углекислого аммония:

$$C_5H_4N_4O_3 + O + H_2O = C_4H_6N_4O_3 \text{ (аллантоин, или глиоксилдиуреид)} + CO_2;$$
$$C_4H_6N_4O_3 + 2H_2O = 2CO(NH_2)_2 + HCOCOOH \text{ (глиоксиловая кислота);}$$
$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3;$$
$$(NH_4)_2CO_3 = 2NH_3 + CO_2 + H_2O.$$

Таким образом, все азотистые соединения жидких выделений животных при хранении отдельно или в составе навоза могут разлагаться до свободного аммиака. Это основной источник потерь азота в навозе, особенно при неправильном его хранении. В случае использования торфяной подстилки образующийся аммиак может быть поглощен торфом:

$$[\text{Торф}]H + NH_3 \longrightarrow [\text{торф}]NH_4, \text{ или } [\text{торф}]H + NH_4OH = [\text{торф}]\,NH_4 + H_2O.$$

В процессе разложения подстилочного навоза образуются органические кислоты и перегнойные вещества, обладающие высокой емкостью поглощения. Эти вещества сорбируют, в частности, аммиак и тем препятствуют его улетучиванию. Большее накопление органических кислот в навозе происходит при менее интенсивном его разложении. При более интенсивном разложении, например при усиленной аэрации, в навозе меньше остается веществ, способных удержать аммиак от потерь.

Насыщенность навоза угольной кислотой, выделяемой при разложении,— также важный фактор уменьшения образования свободного аммиака. Как указывалось выше, в результате деятельности микроорганизмов содержащийся в навозе аммиачный азот переходит частично в состав органических соединений. Поэтому создание условий для усиления синтетической деятельности микроорганизмов (например, увеличением количества подстилки) способствует уменьшению потерь азота при хранении навоза.

На скотных дворах при обычных нормах подстилки ею поглощаются не все жидкие выделения. Неопоглощенные жидкие выделения следует собирать в жижесборники.

В плотно закрывающихся жижесборниках при слабом доступе воздуха и при большой насыщенности его углекислым газом и парами воды в пространстве между жижей и крышкой сборника значительно уменьшается возможность потерь аммиака.

По скорости разложения органические вещества кала и подстилки можно разделить на две группы. Первая, составляющая небольшую

долю, включает сравнительно легко разлагающиеся соединения: сахара, крахмал, пентозаны, пектин, органические кислоты. Разложение их при доступе кислорода происходит очень быстро и сопровождается повышением температуры до 60...70°С. Вторая группа включает клетчатку и другие медленнее разлагающиеся органические вещества. Скорость разложения навоза зависит от соотношения в нем этих двух групп органических соединений. Чем больше содержится веществ первой группы, тем быстрее идет разложение. Важно, чтобы распад безазотистых органических веществ навоза в основном происходил при его хранении, еще до внесения в почву. В противном случае возникает опасность сильного биологического поглощения азота микроорганизмами после внесения навоза в почву и ухудшения в связи с этим условий азотного питания растений.

Безазотистые органические вещества навоза при доступе кислорода (под влиянием аэробных бактерий) распадаются до оксида углерода (CO_2) и воды, например:

$$(C_6H_{10}O_5)_n + n60_2 \longrightarrow n(6CO_2 + 5H_2O).$$

Без доступа кислорода (с участием анаэробных микроорганизмов) безазотистые вещества разлагаются до метана и CO_2:

$$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \longrightarrow n(3CH_4 + 3CO_2).$$

В аэробных условиях разложение органических веществ навоза происходит значительно быстрее, чем без доступа кислорода.

Масса навоза при хранении всегда уменьшается вследствие выделения и улетучивания оксида углерода, метана и паров воды. При этом потери сухого вещества происходят быстрее, чем потери азота. В связи с этим в навозе по мере разложения увеличивается процентное содержание не только фосфора и калия, но и азота (табл. 116).

В начальных стадиях разложения в подстилочном навозе в основном содержится две формы соединений азота: белковая и аммиачная. В дальнейшем, по мере повышения степени разложения навоза, количество белкового азота повышается, а аммиачного снижается. В свежем и слаборазложившемся навозе нитрификации нет и нитратный азот не образуется. Отсутствие нитратов объясняется тем, что при раз-

116. Влияние степени разложения навоза на его состав (в %)

Вещества, входящие в навоз	В свежем навозе	После двухмесячного хранения	После четырехмесячного хранения	После 5...8-месячного хранения
Вода	72,0	75,5	74,0	68,0
Органические вещества	24,5	19,5	18,0	17,5
Азот общий	0,52	0,60	0,60	0,73
Азот белковый	0,33	0,45	0,54	0,68
Азот аммиачный	0,15	0,12	0,10	0,05
Фосфор (P_2O_5)	0,31	0,38	0,43	0,48
Калий (K_2O)	0,60	0,64	0,72	0,84

ложении навоза в аэробных условиях нитрифицирующие бактерии погибают от высокой температуры, а при распаде в анаэробных условиях они вообще не развиваются, так как являются строгими аэробами. В связи с большим содержанием в подстилочном навозе клетчатки разлагающие ее бактерии усиленно усваивают минеральный азот. Вследствие отсутствия нитратов при хранении свежего и слаборазложившегося навоза не происходит также процесса денитрификации. Нитратный азот появляется в навозе по мере его гумификации. В более разложившемся навозе (например, в перегное-сыпце), наряду с белковым и аммиачным азотом содержится в небольшом количестве и нитратный азот (десятые доли процента от общего азота).

Подстилочный навоз различной степени разложения. По степени разложения различают свежий, полуперепревший, перепревший навоз и перегной.

Свежим или слаборазложившимся называется навоз, в котором использованная на подстилку солома еще сохраняет свою типичную (желтую) окраску и прочность. Водная вытяжка из такого навоза красновато-желтого или зеленоватого цвета.

В *полуперепревшем* навозе солома уже теряет свою прочность и приобретает темно-коричневую окраску. Водная вытяжка из такого навоза густая, черного цвета. Масса полуперепревшего навоза по сравнению со свежим уменьшается на 20...30%.

Перепревший, или сильноразложившийся, навоз — черная мажущаяся масса, в которой по внешнему виду совсем незаметны отдельные соломинки (или физические элементы другого вида подстилки). Водная вытяжка из такого навоза бесцветная. Перепревший навоз составляет примерно 50% массы исходного навоза.

Перегной — богатая органическим веществом черная однородная землистая масса. Он составляет не более 25% количества исходного свежего навоза.

При хранении навоз без особой необходимости не следует пропускать через все эти стадии разложения и превращать в перегной. Это привело бы к огромным потерям азота и органических веществ.

В зависимости от почвенно-климатических районов используют перепревший или полуперепревший навоз. В юго-восточных районах европейской части СССР в условиях засушливого климата без орошения, чтобы избежать дальнейшего иссушения почвы, для весеннего внесения рекомендуется перепревший навоз. В районах же достаточного увлажнения, в частности на малогумусных дерново-подзолистых почвах, лучше использовать полуперепревший навоз.

При заблаговременном внесении в почву (например, под яровые с осени под зябь), особенно под культуры с более продолжительным вегетационным периодом, в этих районах высокоэффективен даже свежий навоз, а на юго-востоке — полуперепревший.

Способы и условия хранения подстилочного навоза. В зависимости от конкретных условий рекомендуется несколько способов хранения навоза, при которых разложение его происходит в разных условиях, сопровождается неодинаковыми потерями азота и сухого вещества. Ниже описываются некоторые из этих способов.

Хранение навоза под скотом. Этот способ имеет значение для накопления навоза при беспривязном содержании скота на выгульных площадках и в полевых загонах. При этом на отведенных площадках настилают торф или резаную солому слоем 30—50 см, такая подстилка под скотом равномерно перемешивается с экскрементами животных и уплотняется. По мере переувлажнения верхнего слоя систематически добавляют небольшие порции новой подстилки. Полученный навоз убирают и используют на удобрение летом и осенью.

При хранении навоза под скотом отпадает необходимость ежедневной уборки его, строительства специальных навозохранилищ и жижесборников. Значительно удешевляется уход за животными и снижается себестоимость навоза. При обильном и своевременном использовании подстилки вся жижа остается в навозе и почти отсутствуют потери аммиачного азота.

Основную массу подстилочного навоза, накапливаемого в стойловый период, необходимо хранить в штабелях.

В зависимости от местных условий штабеля укладывают и хранят в них навоз плотно, рыхло-плотно или рыхло (без уплотнения).

Плотное хранение. Навоз укладывают в навозохранилище или в полевые штабеля послойно и каждый слой немедленно уплотняют. Ширина первого слоя 5...6 м и толщина 1 м, длина произвольная, в зависимости от количества навоза. После укладки навоз утрамбовывают. Далее настилают все новые и новые слои до тех пор, пока высота уплотненного штабеля не достигает 2,5...3 м. Сверху штабель накрывают резаной соломой, или торфом, или слоем земли (8...15 см).

При плотном способе хранения навоз за весь период разлагается в анаэробных условиях (за исключением поверхности штабеля) и в нем сохраняется более или менее постоянное увлажнение. Во время зимнего хранения температура в штабеле поднимается не выше 20...25°С, а летом — до 30...35°С, поэтому такой способ хранения навоза называют иногда холодным. Все поры навозной массы при плотном хранении максимально насыщаются углекислым газом и парами воды, что препятствует распаду углекислого аммония на свободный аммиак, углекислый газ и воду. Потери органических веществ и азота при плотном способе хранения навоза гораздо меньше, чем при других способах хранения его в штабелях.

Плотный способ хранения рассчитан на получение полуперепревшего навоза, который в зимний период может получиться через 3...4 месяца после закладки штабеля. Перепревший навоз при таком хранении получается через 7...8 месяцев.

Рыхло-плотное хранение. Свежий навоз укладывают метровыми слоями сначала рыхло, без уплотнения, а затем, когда температура в слое достигает 60...70°С (на 3...5-й день), сильно уплотняют. Так укладывают слой за слоем до полной высоты штабеля, уплотняя каждый слой лишь после сильного разогревания.

В первой стадии хранения навоза (до уплотнения) в штабеле идет интенсивный аэробный процесс разложения с участием термофильных бактерий, теряется значительная часть азота и органического вещества. Чтобы уменьшить потери азота, применяют повышенные нормы под-

стилки. Высокая температура при рыхлом хранении навоза способствует обезвреживанию его от возбудителей желудочно-кишечных заболеваний.

Во второй стадии хранения (после уплотнения) температура в навозе снижается до 30...35°С и он разлагается в дальнейшем в анаэробных условиях.

Навоз при рыхло-плотном хранении разлагается значительно быстрее, чем при плотном. Полуперепревший навоз образуется через 1,5...2 месяца, а перепревший спустя 4...5 месяцев после закладки штабеля.

Рыхло-плотное хранение навоза применяют, когда за сравнительно короткий срок необходимо получить более разложившийся навоз или когда в нем обнаруживаются возбудители желудочно-кишечных заболеваний и необходимо биотермическое обеззараживание навоза.

Рыхло-плотное хранение применяют также в тех случаях, когда необходимо ускорить разложение навоза, содержащего большое количество соломенной подстилки.

Рыхлое хранение. При таком хранении навоза штабеля закладывают и оставляют без уплотнения. В связи с этим разложение навоза происходит в аэробных условиях и при высокой температуре (горячий навоз), что сопровождается большими потерями азота и органического вещества, повышенным выделением навозной жижи. Такой способ допустим лишь при хранении торфяного навоза.

Азота, органических веществ и жижи теряется больше при рыхлом хранении навоза, при плотном — меньше, рыхло-плотное хранение навоза в этом отношении занимает среднее положение (табл. 117).

При плотном способе хранения навоза, а также при использовании торфяной подстилки можно свести до минимума потери азота, органических веществ и жижи.

Хранение подстилочного навоза в навозохранилище. Хранить и накапливать навоз в зависимости от конкретных условий можно как в специальных навозохранилищах вблизи животноводческих помещений, так и в штабелях, закладываемых на удобряемом поле.

Существует два основных типа навозохранилищ: котлованный и наземный. При высоком стоянии грунтовых вод лучше иметь навозохранилище наземного типа. В засушливых районах, где в открытых

117. Потери азота, жижи и органических веществ навоза за 4 месяца (в %) в зависимости от способа хранения и вида подстилки

Хранение	Потеряно из навоза на соломенной подстилке			Потеряно из навоза на торфяной подстилке		
	органических веществ	азота	жижи	органических веществ	азота	жижи
Рыхлое	32,6	31,4	10,5	40,0	25,3	4,3
Рыхло-плотное	24,6	21,6	5,1	32,9	17,0	3,4
Плотное	12,2	10,7	1,9	7,0	1,0	0,6

штабелях навоз быстро высыхает, следует делать навозохранилище котлованного типа. При хранении навоза в котлованном навозохранилище легче создать анаэробные условия разложения, сохранять навоз с меньшими потерями азота и органических веществ.

Любой тип навозохранилища должен удовлетворять следующим требованиям:

для предотвращения потерь навозной жижи в навозохранилище должно быть непроницаемое дно, лучше всего бетонированное; такое дно должно выдержать используемые при погрузке и разгрузке автомашины и другие транспортные средства;

для сбора навозной жижи по продольным сторонам навозохранилища должны быть жижесборники;

дно навозохранилища должно иметь уклон в сторону жижесборника;

вдоль длинных сторон навозохранилища (снаружи) должны быть канавы для стока дождевых и талых вод;

для удобства вывозки навоза необходимо иметь въезд и выезд на всю ширину узких сторон навозохранилища с соответствующим уклоном;

навозохранилище должно быть расположено на возвышенной незатапливаемой площадке на значительном расстоянии (не менее 200 м) от жилых домов.

Нельзя строить навозохранилище в заболоченных местах, на затопляемых участках, а также на участках вблизи рек, озер, прудов и колодцев. Место для навозохранилища выбирают с ветеринарным врачом.

Размер навозохранилища зависит от ожидаемого накопления навоза за стойловый период. Ориентировочно для хранения навоза в течение 2,5...3 месяцев и при высоте уплотненного штабеля 1,5 м требуется на одно животное следующая площадь навозохранилища (в м²):

для крупного рогатого скота	2,0...2,5
» рабочей лошади	1,40...1,75
» молодняка крупного рогатого скота и лошадей	1,00...1,25
» свиней	0,40...0,50
» овец	0,20...0,30

В процессе разложения навоза и уменьшения массы органических веществ из него выделяется навозная жижа. Ее необходимо собирать в *жижесборники*, устраиваемые ниже дна навозохранилища, по его продольным сторонам. Объем жижесборника 1,3 м³ на каждые 100 т навоза. Емкость жижесборника должна быть не менее 3...4 м³.

Собранную навозную жижу можно использовать непосредственно на удобрение, для приготовления компостов или смачивания навоза в навозохранилище по мере его высыхания.

При укладке штабелей необходимо следить за тем, чтобы навоз различной степени разложения не перемешивался, а находился в отдельных частях навозохранилища. Укладку навоза в штабеля шириной 2...3 м начинают поперек с одного конца хранилища, уплотняя каждый метровый слой навоза, а затем доводят штабель до полной высоты

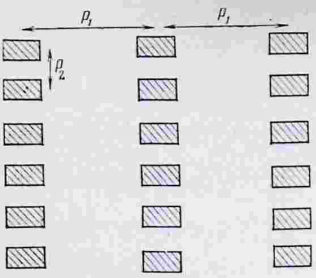


Рис. 33. Схема размещения штабелей навоза на поле.

(2,5...2 м). После того как первый штабель будет полностью уложен, вдоль него по мере поступления навоза укладывают второй штабель, затем третий и т. д. до заполнения навозохранилища. Штабеля должны плотно примыкать один к другому. При таком порядке закладки на одном конце навозохранилища будет находиться более разложившийся навоз (в штабелях более ранней закладки), на другом — менее разложившийся. Это позволяет использовать навоз нужного качества.

При сильном горении навоза штабель немедленно увлажняют навозной жижей и уплотняют.

Хранение навоза в полевых штабелях. В связи с большой загруженностью транспортных средств в весенне-летний период целесообразно организовать вывозку навоза в поле зимой. Можно вывозить навоз, подготовленный в навозохранилище, или же свежий навоз непосредственно со скотных дворов.

При зимней вывозке навоза площадку для укладки штабеля в поле выбирают на возвышенном, не затопляемом весной месте. Ее очищают от снега, застилают торфом или резаной соломой слоем 20...25 см. Навоз укладывают в достаточно крупные штабеля и уплотняют для предотвращения его промерзания и потерь азота. Ширина штабелей 3...4 м и более, высота 2,5...2 м.

Штабеля на поле размещают так, чтобы при внесении навоза максимально сокращать холостые проезды навозоразбрасывателей.

Лучше всего навоз укладывать в штабеля рядами (рис. 33). Расстояние между рядами равняется рабочему ходу навозоразбрасывателя, что определяется по формуле:

$$P_1 = \frac{10\,000 \cdot Г}{Д \cdot Ш},$$

где P_1 — расстояние между рядами (в м); $Г$ — грузоподъемность навозоразбрасывателя (в т); $Д$ — норма навоза (в т на 1 га); $Ш$ — ширина разбрасывания навоза навозоразбрасывателем (в м); 10 000 — площадь 1 га (в м²).

Одновременно определяют расстояние между штабелями в каждом ряду; оно зависит от величины штабеля, грузоподъемности навозоразбрасывателя, ширины его захвата:

$$P_2 = \frac{В \cdot Ш}{Г},$$

где P_2 — расстояние между штабелями в ряду (в м); $В$ — масса штабеля (в т); $Ш$ — ширина разбрасывания навоза навозоразбрасывателем (в м); $Г$ — грузоподъемность навозоразбрасывателя (в т).

Во избежание промерзания каждый штабель в зимний период укладывают в 1...2 дня. После укладки штабель закрывают торфом или резаной соломой слоем 15...25 см.

Нельзя хранить на полях свежий или полуперепревший навоз в мелких кучах, так как в этом случае он промерзает (зимой) или пересыхает (весной и летом); из него теряется значительное количество аммиачного азота. При этом качество навоза резко ухудшается. Кроме того, места, занятые небольшими штабелями, а тем более мелкими кучами навоза, мешают своевременной весенней обработке полей, потому что под ними почва оттаивает позднее.

Способы уменьшения потерь при хранении подстилочного навоза. При неблагоприятных условиях хранения и накопления навоза из него теряется значительное количество питательных веществ, тем самым снижается его удобрительная ценность. В процессе разложения навоза больше всего может быть потеряно азота в виде аммиака. В жидких выделениях животных и навозной жиже при стекании их в сторону или просачивании в грунт на месте хранения навоза может быть потеряна наряду с азотом и значительная часть калия.

К общедоступным приемам, которые не только резко увеличивают выход навоза, сводят до минимума потери питательных веществ, но и значительно улучшают его качество, относится использование повышенных норм подстилки, применение на подстилку торфа, соломы в виде резки, плотное хранение навоза, устройство жижесборников у скотных дворов и навозохранилищ. Кроме этого, для повышения удобрительной ценности навоза большое значение имеет добавление к нему фосфоритной муки, компостирование навоза с торфом и другими материалами.

Добавление фосфоритной муки. При добавлении к навозу фосфоритной муки в нем повышается содержание фосфора, резко усиливаются микробиологические процессы, ускоряется гумификация навоза и создаются условия для сильного поглощения аммиачного азота микроорганизмами в период хранения. Все это приводит к снижению потерь аммиачного азота при хранении навоза (табл. 118).

Компостирование навоза с фосфоритной мукой не только улучшает качество навоза, но и повышает эффективность фосфоритной муки —

118. Влияние компостирования навоза с фосфорными удобрениями на уменьшение потерь в нем органических веществ и азота (данные И. П. Мамченкова)

Вариант опыта	Потери (в % от исходного) за 4 месяца хранения навоза	
	органического вещества	азота
Без компостирования	58,1	19,6
Компостирование с 3% фосфоритной муки	42,6	5,4
Компостирование с 2% суперфосфата	41,4	3,3

самого дешевого, но труднорастворимого фосфорного удобрения. Под влиянием угольной кислоты и органических кислот, образующихся при разложении навоза, фосфор фосфоритной муки становится более доступным растениям:

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2CO_3 \longrightarrow 2CaHPO_4 + Ca(HCO_3)_2.$$

Часть фосфора фосфоритной муки при компостировании с навозом поглощается микроорганизмами и временно переходит в органическую форму (в плазму бактерий). Этот фосфор становится доступным растениям при последующей минерализации тел микроорганизмов.

В компостах фосфоритная мука должна составлять 1...4% массы навоза (т. е. на 1 т навоза 10...40 кг, чаще 20...30 кг фосфоритной муки). Целесообразнее всего это соотношение установить исходя из планируемой нормы компоста, чтобы с ним внести на каждый гектар пашни необходимое количество фосфорного удобрения.

Фосфоритную муку можно добавлять к навозу в любое время в период от его нахождения на скотных дворах до момента запашки. Чем длительнее взаимодействие обоих видов удобрений, чем тщательнее они перемешаны, тем более высокий эффект достигается от применения компоста. Поэтому добавлять фосфоритную муку к навозу лучше всего на скотных дворах прямо в стойлах перед их очисткой. При этом в процессе последующих работ по перевозке и хранении навоза достигается более тщательное перемешивание фосфоритной муки с навозом и более полное их взаимодействие. Высококачественный компост можно получать, добавляя к навозу фосфоритную муку в стойлах или на выгульных площадках при беспривязном содержании скота.

Фосфоритную муку к навозу можно добавлять также при закладке штабеля. В последнем случае рассчитанное количество фосфоритной муки вносят послойно, равномерно пересыпая ею навоз после укладки каждого 10...20-сантиметрового слоя.

Навозно-фосфоритные компосты в штабелях созревают (полуперепревший навоз) в весенне-летний период за 2...3 месяца, а в зимнее время за 3...4 месяца.

Данные полевых опытов Центральной опытной станции ВИУА, проведенных на дерново-подзолистых суглинистых почвах, показывают, что при внесении навозно-фосфоритного компоста получаются более высокие прибавки урожая сельскохозяйственных культур, чем суммарная прибавка от раздельного применения навоза и фосфоритной муки на разных полях. Действие этих удобрений на первую культуру (картофель и озимая рожь) при совместном внесении в почву без предварительного компостирования было слабее, чем компоста. Однако последействие на урожай второй культуры (яровая пшеница и многолетние травы) было почти одинаковым (табл. 119).

Навозно-фосфоритные компосты лучше вносить под вспашку в норме 20 т на 1 га. Под овощные, силосные культуры, картофель и корнеплоды в основном удобрении можно применять более высокие нормы. Эффективность таких компостов может быть значительно повышена при внесении их совместно с азотными удобрениями.

119. Действие и последействие компоста из навоза и фосфоритной муки и смеси этих удобрений на урожай культур севооборота

Культура	Урожай (в ц с 1 га)				
	без удобрений	по навозу (20 т на 1 га)	по фосфоритной муке (3 ц на 1 га)	по навозу и фосфоритной муке	
				при компостировании	при смешивании на поле
Картофель	234,0	307,0	272,0	354,0	314,0
Яровая пшеница (последействие)	12,1	14,7	13,2	16,7	16,5
Озимая рожь	10,4	17,8	10,9	21,3	19,8
Многолетние травы, сено (последействие)	9,1	32,4	14,8	48,3	45,0

Определение количества подстилочного навоза. При составлении плана использования удобрений требуется хотя бы приблизительно знать размер накопления навоза в хозяйстве (табл. 120).

Количество накопленного в хозяйстве подстилочного навоза можно определить непосредственным измерением объема штабеля и умножением полученной цифры на массу каждого кубического метра удобрения. Объем его подсчитывают умножением длины штабеля на его ширину и высоту. Масса 1 м³ неуплотненного свежего навоза равняется 0,3...0,4 т, уплотненного — 0,7 т, полуперепревшего — около 0,8 т и сильно перепревшего — 0,9 т.

Наряду с определением фактического количества накопленного навоза важно сделать предварительные расчеты его планового выхода. При таких расчетах устанавливают размер выхода свежего навоза и вносят соответствующую поправку на требуемую степень его разложения.

120. Примерное количество свежего навоза, накапливаемого за 1 сутки от одной головы животных при различных нормах соломенной подстилки

Норма подстилки (в кг на 1 день)	Выход навоза (в кг) за 1 день от одной головы			
	крупного рогатого скота	лошадей	свиней	овец и коз
0 (без подстилки) *	25	17	1,7	2
1	28	21	4,7	4
2	32	24	8,0	5
3	37	25	9,0	—
4	39	26	—	—
5	42	27	—	—
6	44	28	—	—

* Без подстилки в составе навоза сохраняются только твердые выделения животных, жидкие выделения теряются.

Расчет выхода свежего навоза основан на том, что в навоз переходит после переваривания кормов животным примерно половина их сухого вещества $\left(\frac{К}{2}\right)$ и вся сухая подстилка ($П$). Так как в свежем навозе содержится лишь около 25% сухого вещества (и 75% воды), количество навоза будет в 4 раза больше суммарной массы подстилки и неперевариимой части корма. Отсюда выход навоза ($Н$) рассчитывается по формуле:

$$Н = \left(\frac{К}{2} + П\right) \cdot 4.$$

Исходя из данных таблицы 120, общий выход свежего навоза со всего стада за стойловый период ($Вс$) можно рассчитать по формуле:

$$Вс = \frac{Вд \cdot Дс \cdot Чс}{1000},$$

где $Вд$ — выход свежего навоза (в кг за 1 день, по табл. 120); $Дс$ — длина стойлового периода (в днях); $Чс$ — численность стада (поголовье); 1000 — для перевода килограммов в тонны.

После установления планового выхода свежего навоза вносят соответствующую поправку на требуемую степень его разложения и определяют количество навоза с учетом разложения. Так, массу полуперепревшего навоза находят умножением найденной массы свежего навоза на коэффициент 0,7...0,8 (количество полуперепревшего навоза составляет 70...80% от массы исходного). Для определения массы перепревшего навоза применяют коэффициент 0,5, для перегноя —0,25.

При подсчете накопления навоза в хозяйстве к одной голове крупного рогатого скота (по выходу навоза на каждую корову) приравнивают соответственно 1,5 лошади, 2 головы молодняка до двух лет, 3...5 телят, 4...5 взрослых свиней, 10 овец.

Подстилочный навоз как источник питательных веществ для растений. Навоз — полное органическое удобрение, содержит все необходимые для растения питательные элементы. После внесения его в почву он под влиянием микроорганизмов минерализуется. По данным многолетних опытов Долгопрудной агрохимической опытной станции им. Д. Н. Прянишникова, заложенных на дерново-подзолистых почвах, из общего количества органических веществ внесенного навоза в среднем 72% минерализуется и 28% переходит в состав почвенного гумуса. Скорость минерализации зависит как от качества навоза, так и от свойств почвы, ее водно-воздушного режима, реакции и т. д. Большая часть углерода, содержавшегося в составе органических веществ навоза, в процессе разложения в почве окисляется до углекислого газа, причем его образуется тем больше, чем меньше степень разложения навоза до внесения.

Доступность для растений азота и зольных элементов навоза зависит от его состава, степени разложения перед внесением и скорости минерализации после заделки в почву. Из трех главнейших элементов питания в навозе больше всего содержится калия, и он находится в нем в наиболее подвижной форме. Характерно и то, что в навозе калий представлен бесхлорной формой и поэтому имеет явное преимущество

перед калием хлорсодержащих минеральных удобрений, особенно для таких чувствительных к хлору культур, как табак, картофель, ягодные, цитрусовые. Калий из навоза и минеральных удобрений первой культурой усваивается примерно одинаково (60...70% от внесенного количества).

Фосфор навоза в основном входит в состав твердых выделений животных и подстилки. В жиже его содержится очень мало. По мере минерализации органических веществ фосфор выделяется в виде солей ортофосфорной кислоты различной степени растворимости. Эти фосфаты благодаря защитному влиянию органических веществ навоза значительно меньше закрепляются почвой, чем фосфор минеральных удобрений, внесенных в чистом виде. В связи с этим усвояемость фосфора навоза растениями в первый год действия удобрения бывает выше, чем фосфора минеральных удобрений, и достигает 35% и более от содержания общего фосфора в навозе (против 15...20% в минеральных удобрениях). Органические (гуминовые) вещества навоза повышают доступность растениям не только фосфора навоза, но и фосфора почвы и совместно вносимых фосфорных удобрений.

Азот содержится во всех составных частях навоза. Однако лишь азот жидких выделений непосредственно доступен растениям. Азотистые вещества кала и подстилки (как и содержащиеся в них соединения фосфора) становятся доступными только после минерализации. Конечным продуктом разложения азотистых веществ навоза в почве является аммиачный азот, который непосредственно используется растениями и микроорганизмами или же нитрифицируется. В щелочной среде при повышенной влажности почвы, недостатке кислорода и большом количестве клетчатки во внесенном навозе возможна также денитрификация. Часть азота удобрения под влиянием микроорганизмов переходит в состав гумуса почвы. Таким образом, навоз, особенно слаборазложившийся, служит источником азота не только для первой удобряемой культуры, но и для последующих. В первый год внесения навоза растения усваивают из него в основном аммиачный азот. За счет минерализации органических соединений навоза в первый год его действия удовлетворяется лучше потребность в азотистом питании культур с относительно длинным вегетационным периодом (поздние сорта капусты или картофеля, корнеплоды, кукуруза, озимые зерновые и т. д.). Чем длиннее вегетационный период растений, тем выше коэффициент использования ими азота и других питательных веществ навоза.

Использование азота навоза первой удобряемой культурой зависит преимущественно от аммиачного азота, оставшегося при его хранении.

При использовании торфа в подстилку и плотном хранении навоза в нем остается значительно больше аммиачного азота и усвоение азота навоза первым удобряемым растением бывает выше.

Коэффициент использования азота подстилочного навоза первой удобряемой культурой неодинаков для навоза от разных животных. Он наиболее высокий для овечьего навоза (около 30% от общего содержания азота), несколько меньше для конского (около 20%) и коровьего (около 18%) и минимален в случае свиного навоза (около 10%).

На этот коэффициент сильное влияние оказывает степень разложения навоза. Так, в опыте ВИУА первое удобряемое растение усвоило из слаборазложившегося навоза 7,8%, полуперепревшего 23,4%, перепревшего 17,5% и из перегноя 4,8% азота от общего его содержания в навозе. Следовательно, в полуперепревшем навозе азот находится в более доступной для растений форме. Второе место в этом отношении занимает перепревший навоз и последнее — перегной.

Из внесенного в почву слаборазложившегося навоза в процессе его разложения в почве значительная часть минерализованного азота поглощается микроорганизмами. Если такой навоз вносят незадолго до посева удобряемой культуры, то она в первый период вегетации будет испытывать недостаток в азоте. При заблаговременном же внесении слаборазложившегося навоза, например под яровые с осени под зябь, доступность азота и других питательных веществ в нем сильно повышается.

Считается, что первая удобряемая культура использует в среднем 20...25% азота навоза, это значительно ниже усвоения растениями азота минеральных удобрений (60...70%).

Таким образом, фосфор навоза усваивается первой удобряемой культурой лучше, чем фосфор суперфосфата, а азот — хуже, чем азот минеральных азотных удобрений. Усвояемость же калия навоза близка к усвояемости калия минеральных удобрений. В связи с этим при непосредственном внесении навоза под различные сельскохозяйственные культуры (особенно под пропашные) часто необходимо дополнительно вносить прежде всего азотные удобрения.

Благодаря большому содержанию калия в навозе и высокой его подвижности при внесении обычных норм навоза потребность первой удобряемой культуры в калийном питании может быть удовлетворена даже без дополнительного применения калийных минеральных удобрений.

Так, если исходить из среднего содержания в 1 т навоза 5 кг N, 2,5 кг P_2O_5 и 6 кг K_2O, с обычной нормой навоза (30 т на 1 га) в почву будет внесено около 150 кг N, 75 кг P_2O_5 и 180 кг K_2O. Из этого количества элементов питания первой культурой может быть использовано из навоза (при средних коэффициентах использования растениями из навоза в первый год 20...25% для азота, 30% для фосфора и 60% для калия) примерно 30...40 кг N, 22,5 кг P_2O_5 и 100 кг K_2O. Сопоставление этих количеств питательных веществ с выносом азота, фосфора и калия урожаями сельскохозяйственных культур (см. табл. 13) убедительно свидетельствует о необходимости первоочередного внесения азотных минеральных удобрений в дополнение к навозу (особенно на бедных органическим веществом почвах), затем фосфорных и далее калийных удобрений для обеспечения необходимого соотношения между основными элементами питания культур.

При учете не только прямого действия навоза на первую удобряемую культуру, но и его длительного последействия выяснилось, что находящиеся в нем фосфор и калий лучше используются растениями, чем фосфор и калий эквивалентных доз минеральных удобрений. В то же время азот навоза усваивался хуже азота минеральных удобрений.

В соответствии с этим, как показывают данные опытов, суммарное действие с учетом последействия навоза на урожай сельскохозяйственных культур несколько ниже, чем действие и последействие эквивалентных доз минеральных удобрений. Меньшее использование растениями азота навоза связано, кроме влияния возможных потерь перед запашкой навоза, с бо́льшим обогащением почвы гумусом (т. е. с переходом части азота этого удобрения в состав почвенного гумуса), чем при внесении минеральных удобрений. Поэтому на хорошо окультуренных почвах навоз не имеет преимущества перед эквивалентным количеством минеральных удобрений. Наоборот, на малогумусных и слабоокультуренных почвах применение навоза и других органических удобрений — необходимое средство улучшения свойств почвы и повышения эффективности минеральных туков.

Применение подстилочного навоза. Основной способ эффективного применения подстилочного навоза — внесение его под вспашку во влажный слой почвы.

Норма навоза, вносимого под вспашку, в зависимости от степени его разложения, особенностей удобряемой культуры, почвенных и климатических условий колеблется от 15 до 50 т и более на 1 га. Под зерновые хлеба (в частности, под озимые) в различных зонах вносят 15...25 т (в среднем 18...20 т) навоза на 1 га. Более высокие нормы навоза и притом менее разложившегося вносят в северных районах страны. В засушливых районах без орошения, где рекомендуется вносить хорошо разложившийся навоз, норму его под зерновые уменьшают до 12...15 т на 1 га.

Под силосные, овощные культуры, картофель и корнеплоды вносят навоза больше, чем под зерновые колосовые. Так, под картофель на дерново-подзолистых суглинистых почвах можно вносить 25...30 т, а на легких песчаных и супесчаных почвах — даже 30...40 т на 1 га. Примерно такие же нормы считаются оптимальными для сахарной свеклы. Под кукурузу, коноплю и огурцы в Нечерноземной зоне нередко рекомендуют вносить 40...50 т, а в Черноземной зоне — 25...35 т на 1 га. При повторных посевах этих культур на данной площади нормы навоза уменьшают. Сочетание и совместное использование навоза с минеральными удобрениями позволяют значительно снизить указанные выше нормы.

121. Прибавка урожая озимой ржи и картофеля от внесения разных норм навоза на дерново-подзолистых почвах Полесской и Житомирской опытных станций (А. М. Вышинский, 1959)

Культура и продукция	Прибавка урожая (в ц на 1 га) от внесения навоза (в т на 1 га)			Оплата на 1 т навоза прибавками урожая (в кг)		
	18...30	35...40	54	первые 18 т	вторые 18 т	третьи 18 т
Озимая рожь (зерно)	2,7	5,7	7,6	15	16	11
Картофель (клубни)	37,2	79,9	129,5	207	237	276

На повышение норм навоза более отзывчивы пропашные культуры, чем зерновые (табл. 121).

Чем беднее почва гумусом и подвижными питательными веществами, тем больше при прочих равных условиях надо вносить навоза.

Для быстрого повышения плодородия слабоокультуренных почв и максимального увеличения урожая целесообразнее применять в один прием более высокие нормы навоза под наиболее отзывчивые на него культуры севооборота (кукуруза, огурцы, картофель, свекла, озимые и т. д.), а под другие культуры преимущественно вносить минеральные удобрения. Для бездефицитного баланса гумуса в почве в севооборотах с 1...2 полями многолетних трав требуется средне ежегодно навоза по 8...10 т на 1 га на суглинистых почвах и 15...20 т на 1 га на легких почвах.

При определении места навоза и других органических удобрений в севообороте необходимо учитывать биологические особенности и экономическое значение каждой культуры. В полевом севообороте навоз целесообразнее вносить под озимые или пропашные культуры или же при большой обеспеченности им хозяйства под те и другие. Перед озимыми, идущими после занятого пара, навоз лучше внести под парозанимающую культуру.

Органические удобрения особенно ценны для культур, чувствительных к высокой концентрации солей в почвенном растворе в начале их роста и отличающихся продолжительным вегетационным периодом, а также для растений, сильно отзывчивых на питание углекислотой. Так, в овощном севообороте целесообразно прежде всего удобрять навозом (в сочетании с небольшим количеством минеральных удобрений) огурцы, которые очень хорошо отзываются на органические удобрения и более чувствительны к концентрации почвенного раствора. Капуста и свекла, хорошо реагирующие на внесение навоза, в отличие от огурца лучше переносят высокую концентрацию солей; следовательно, для получения высоких урожаев этих культур можно использовать более высокие нормы минеральных удобрений и последействие навоза. При внесении под морковь или петрушку свежего или полуперепревшего навоза происходит раздвоение корнеплода, что снижает товарность урожая. Такие культуры должны идти на второй-третий год после заделки органических удобрений или по более разложившемуся навозу (перегной), вносимому совместно с минеральными удобрениями.

Свежий навоз из-за неравномерного распределения в почве вызывает пестроту стеблестоя льна и снижает качество урожая. В связи с этим в льняных севооборотах такой навоз лучше использовать под предшественники, а под лен вносить преимущественно минеральные удобрения.

Требования к степени разложения навоза зависят от ряда условий. В засушливых районах страны предпочтение отдается перепревшему навозу, в Нечерноземной зоне — полуперепревшему, а осенью под зябь здесь можно вносить даже свежий навоз. В выборе навоза той или иной степени разложения большую роль играют особенности культуры, под которую вносят это удобрение. Так, культуры с более коротким вегетационным периодом (ранние сорта капусты и картофеля, лук

и т. п.) лучше развиваются при внесении более разложившегося навоза, в то время как поздно убираемые культуры (поздние сорта капусты и картофеля, свекла, бобы и т. д.) и озимые зерновые хлеба хорошо используют и менее разложившийся навоз, внесенный заблаговременно.

Из овощных на свежий навоз хорошо отзываются огурцы, а на перегной и сильно разложившийся навоз или компосты — лук и морковь.

Эффективность навоза зависит не только от условий его хранения и накопления, но и от того, насколько тщательно и равномерно он был разбросан по полю и насколько своевременно запахан после разбрасывания.

Для погрузки навоза (и других органических удобрений) из штабелей на любой вид транспорта используют погрузчики. В различных частях штабеля степень разложения навоза бывает неодинаковой. Чтобы избежать неравномерного (по качеству) распределения навоза по полю, его снимают погрузчиком не по горизонтали со всего штабеля, а по вертикали и с небольшой площади во всю высоту штабеля.

После разбрасывания свежего или полуперепревшего навоза его следует немедленно заделать. Эффективность навоза, оставленного незапаханным в течение 24 ч, сильно снижается, а разбросанный, но незапаханный навоз теряет весь аммиачный азот в первые несколько дней.

Глубина заделки навоза под вспашку 15...30 см, в зависимости от конкретных условий. С глубиной заделки связаны разложение навоза в почве и степень использования его питательных веществ первой удобряемой культурой. При мелкой запашке во влажной почве навоз разлагается интенсивнее. Глубокая заделка, особенно в переувлажненную почву, затрудняет разложение этого удобрения вследствие слабой аэрации. В случае недостатка влаги в почве (в засушливых районах) мелкая запашка ухудшает условия разложения навоза и ведет к более сильному иссушению почвы.

На тяжелых почвах северной части Нечерноземной зоны требуется относительно более мелкая заделка навоза, а на легких почвах — более глубокая. В засушливых районах или в сухую почву запахивают навоз глубже, чем в хорошо увлажненную почву в районах, обеспеченных влагой. Глубина заделки навоза зависит также от возделываемой культуры, от глубины развития ее корневой системы в почве.

Навоз, особенно внесенный в высоких нормах, обладает сильным прямым действием и длительным последействием. Как правило, прибавки урожаев за ряд лет последействия навоза бывают значительно выше, чем от его прямого действия. Если сумму прибавок урожаев от навоза принять за 100%, то доля прибавок от его последействия составляет 60...80%, а от действия — 20...40%. Наиболее сильное прямое действие удобрения наблюдается в северной части Нечерноземной зоны. Это связано с тем, что почвы здесь содержат мало гумуса и питательных элементов, много подвижного алюминия, имеют повышенную кислотность. В направлении к югу и востоку эффективность навоза постепенно снижается.

122. Действие и последействие навоза на урожай сельскохозяйственных культур (прибавка в пересчете на зерно, в ц на 1 га)

Зона	Действие на первую культуру (озимые)	Последействие		За 3 года
		1-й год	2-й год	
Нечерноземная	6,5	3,4	2,5	12,4
Черноземная	4,5	4,0	3,2	11,7
Юго-Восточная	2,2	3,5	2,0	7,7

Продолжительность последействия навоза в различных районах страны в зависимости от почвенно-климатических условий неодинаковая. Так, на севере (например, в Архангельской области), особенно на легких почвах, последействие продолжается не более двух-трех лет. Здесь следует чаще вносить навоз. К югу период последействия удобрения увеличивается и достигает максимума на черноземных почвах (5...7 лет и более). Еще южнее период действия и последействия навоза снижается. Длительность последействия навоза зависит и от механического состава почвы. Так, на глинистых и суглинистых почвах Нечерноземной зоны оптимальные нормы навоза оказывают заметное действие на урожай иногда в течение всей ротации 7...8-польного севооборота. На песчаных почвах вследствие более быстрого разложения навоза его последействие менее продолжительно: 2...3 года.

В многочисленных опытах в различных зонах страны каждая тонна навоза в течение ротации 8...10-польного севооборота давала в пересчете на зерно прибавку урожая до 1 ц. Однако эффективность навоза во многом зависит от почвенно-климатических условий и характера севооборота. Навоз более эффективен в севооборотах с пропашными культурами и в плодосменных севооборотах зоны дерново-подзолистых почв. Уже за первые три года после внесения обычных норм (15...20 т) этого удобрения можно получить дополнительно от 7 до 12 ц продукции сельскохозяйственных культур на 1 га в пересчете на зерно (табл. 122).

БЕСПОДСТИЛОЧНЫЙ НАВОЗ

Накапливаемый на крупных животноводческих комплексах бесподстилочный навоз представляет собой смесь твердых и жидких экскрементов животных, разбавленную в той или иной степени водой. В том случае, когда количество такой воды ограничивается производственной необходимостью и неизбежностью (потери из автопоилок, вода, используемая для подмывания вымени коров, мытья кормушек и т. д.), влажность бесподстилочного навоза не превышает 90...91%. Такой навоз называют полужидким (табл. 123).

Дальнейшее разбавление навоза водой крайне нежелательно, ибо при этом резко увеличивается его объем и тем самым повышаются транспортные расходы, количество воды особенно велико при гидросмыве навоза. При доведении влажности навоза до 95% его объем увеличивается в два раза, а до 98% — в пять раз по сравнению с исходным объемом экскрементов. Бесподстилочный навоз, содержащий воды больше 92%, называется жидким.

123. Примерный состав полужидкого навоза

Вид животных	Содержание в навозе (в %)							
	воды	сухого вещества	общего азота	аммиачного азота	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Крупный рогатый скот	88,5	11,5	0,40	0,25	0,20	0,45	0,15	0,1
Свиньи	89,5	10,5	0,50	0,35	0,25	0,24	0,21	0,1

В бесподстилочном навозе 50...70% содержащегося в нем азота находится в аммонийной форме и 30...50% — в органической. В то же время в подстилочном навозе в аммонийной форме находится лишь в среднем около 20% от общего азота. В связи с этим азот бесподстилочного навоза более доступен растениям первой удобряемой культуры. Фосфор жидкого навоза также несколько более доступен первой культуре, чем фосфор подстилочного навоза. Весь калий бесподстилочного навоза находится в растворенном состоянии (в жидкой фазе) и легко доступен растениям. В связи со сказанным действие жидкого и полужидкого навоза на урожай первой удобряемой культуры проявляется сильнее, а его последействие несколько слабее, чем подстилочного навоза.

В некоторых случаях бесподстилочный навоз разделяют на твердую и жидкую фракции, используя их на удобрение в отдельности. В таких случаях 20...25% всех питательных веществ попадает в твердую фракцию и 75...80% — в жидкую. При сильном разбавлении водой общее количество питательных веществ, переходящих в жидкую фракцию, достигает 95%.

В твердой фракции жидкого навоза содержится примерно такое же количество азота и фосфора, как и в подстилочном навозе. По содержанию других питательных веществ твердая фракция также значительно богаче, чем жидкая фракция или даже чем жидкий навоз, не разделенный на фракции (табл. 124).

124. Содержание сухого вещества, азота, фосфора и калия в разбавленном водой жидком свином навозе и его фракциях (по А. Н. Ильченко, 1977)

Жидкий навоз и фракции	Содержание (в %)				
	сухого вещества	общего азота	в том числе аммиачного азота	P_2O_5	K_2O
Жидкий навоз (без разделения)	2...4,4	0,15...0,18	0,07...0,11	0,03...0,05	0,10...0,15
Жидкая фракция	0,4...0,5	0,05...0,06	0,04...0,05	0,014...0,019	0,03...0,04
Твердая фракция	21,6...24,2	0,25...0,50	0,02...0,15	0,12...0,25	0,07...0,23

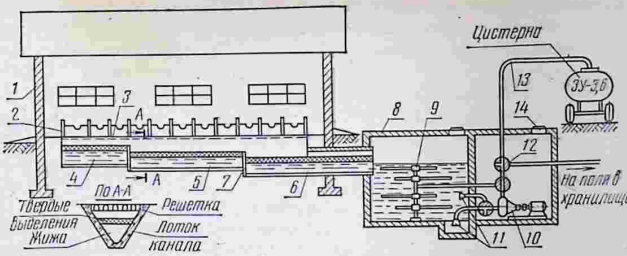


Рис. 34. Схема удаления навоза каскадно-сплавным способом:
1 — коровник; *2* — стойла; *3* — решетки; *4* — канал первого каскада; *5* — канал второго каскада; *6* — канал третьего каскада; *7* — порог канала; *8* — навозоприемник-отстойник; *9* — реактивная гидравлическая мешалка; *10* — фекальный насос; *11* — всасывающий патрубок; *12* — кран переключения; *13* — загрузочная колонка; *14* — люк.

Удаление бесподстилочного навоза из животноводческих помещений. Для удаления жидкого и полужидкого навоза из животноводческих помещений целесообразно использовать самотечную сплавную систему, систему гидротранспорта навоза на жидкой «подушке» (рис. 34). При самотечно-сплавном способе удаления жидкого навоза экскременты животных попадают через щелевые или решетчатые полы в сточные каналы, имеющие уклон 0,5...1°. По этим каналам жидкие и твердые выделения животных самотеком попадают в навозоприемник с полезным объемом на недельный выход навоза. Из навозоприемников навоз перекачивается по трубопроводу в навозохранилище или в специальные тележки-цистерны.

В целях нормальной работы самотечно-сплавной системы недопустимо применение подстилки животным. Важно также, чтобы остатки кормов не попадали в канал навозоудаления. Канал навозоудаления имеет несколько неподвижных порогов в виде ступенчатого каскада (первый каскад через 10...12 м и последующие через 15...20 м). Каждый последующий каскад следует устанавливать на 10...15 см ниже предыдущего. Каналы навозоудаления в конце каждого каскада должны быть оборудованы вытяжной вентиляцией, исключающей выход газов из-под решеток в помещение.

Во всей системе, начиная от каналов до хранилища включительно, необходима надежная, устойчивая к агрессивному воздействию растворов и газов гидроизоляция, исключающая фильтрацию жидкого навоза в грунт и загрязнение водных источников и подземных вод.

Определение инфицированности жидкого навоза возбудителями опасных заболеваний животных производят в приемнике. Навозоприемников, в которых выдерживают навоз в течение 7...8 дней, должно быть не менее двух. Пока происходит заполнение второго, в первом проверяют навоз на инфицированность. При отсутствии инфекции навоз направляют в хранилище. При наличии инфекции навоз по указанию ветеринарной службы подвергают дезинфекции и решают вопрос о возможности использования на удобрение.

Хранение бесподстилочного навоза. Для хранения бесподстилочного навоза в течение 2...6 месяцев (в зависимости от конкретных условий) строят прифермские и полевые хранилища. Прифермские хранилища строят закрытого типа, с емкостью, достаточной для хранения 25...40% выхода навоза, а полевые хранилища — заглубленные, открытого типа, с расчетом хранения 60...75% выхода навоза. Полевые хранилища размещают в центре удобряемых массивов. Прифермские и полевые навозохранилища по возможности соединяют трубопроводами с системой уборки (удаления) навоза. В других случаях бесподстилочный навоз доставляют к полевому хранилищу цистернами.

При наличии трубопроводов возможно хранение всей массы навоза в прифермских хранилищах. При этом прифермские хранилища целесообразно соединять трубопроводами с полевыми заправочными станциями для загрузки цистерн-разбрасывателей.

Бесподстилочный навоз в хранилище быстро расслаивается на три слоя. Сверху образуется плотный плавающий слой, внизу — осадок, а между ними — осветленная жидкость. Чтобы обеспечить однородность навоза, каждое хранилище должно быть оборудовано устройством для перемешивания. В период хранения необходимо систематическое перемешивание навоза для того, чтобы не допускать образования прочной корки на поверхности. В период применения навоза, т. е. во время погрузки в цистерны-разбрасыватели или перекачивания по трубопроводам, его следует перемешивать по нескольку раз в день.

Для нормальной работы насосов, трубопроводов, цистерн-разбрасывателей и дождевальных установок важное значение имеет измельчение содержащихся в навозе примесей (соломы, сена и др.) при помощи специальных устройств. Такое измельчение требуется как перед поступлением навоза в хранилище, так и перед выгрузкой.

В перекрытиях закрытых хранилищ должны быть люки с крышками, через которые навоз перемешивают и выгружают в транспортные средства. Подъездные пути к хранилищам должны иметь твердое покрытие. Вокруг хранилищ необходимо устройство водосточных канав.

Закрытые хранилища должны иметь вентиляцию, чтобы избежать накопления в них большого количества метана, сероводорода, аммиака и других газов. Зажигание спичек здесь может вызвать взрыв, а осмотр колодцев без противогаза — тяжелое отравление.

Особенности разложения бесподстилочного навоза. До тех пор, пока бесподстилочный навоз находится в приемниках или в хранилище (в анаэробных условиях), все процессы разложения его идут намного медленнее, чем подстилочного навоза. Поэтому при хранении бесподстилочного навоза в емкостях потери азота в виде аммиака, а также потери органических веществ бывают значительно меньше, чем при хранении обычного навоза в штабелях.

В связи с тем что в бесподстилочном навозе сохраняется большое количество аммиачного азота, доступного растениям, азота в нем в год внесения больше (до 40%), чем в подстилочном навозе (около 20%). Из бесподстилочного навоза в год внесения используется

40...50% фосфора (против 30...40% из подстилочного навоза) и 70...90% калия (против 60...70% из подстилочного).

Расчет количества бесподстилочного жидкого и полужидкого навоза за стойловый период ведут по формулам:

$$\textit{Полужидкий навоз}\ (\text{в м}^3) = \frac{(\textit{кал} + \textit{моча}) \cdot Дс \cdot Чс}{1000};$$

$$\textit{Жидкий навоз}\ (\text{в м}^3) = \frac{(\textit{кал} + \textit{моча} + \textit{вода}) \cdot Дс \cdot Чс}{1000},$$

где *(кал + моча)* — количество экскрементов животных, выделяемое за один день от одной головы скота (см. табл. 120); *(кал + моча + + вода)* — количество экскрементов животных (а также воды в случае разбавления водой), выделяемое за один день от одной головы скота; *Дс* — длина стойлового периода (в днях); *Чс* — численность поголовья; 1000 — для перевода в м³.

При расчетах массу 1 м³ жидкого (разбавленного) навоза можно принять равной 0,95 т и полужидкого (при умеренном разбавлении) — 0,90 т.

Для установления требуемого объема хранилищ жидкого навоза (в м) условно можно принять, что примерный его выход в сутки от одной головы крупного рогатого скота 40...55 л (25...30 л кала + + 10...15 л мочи и 5...10 л воды) и от одной свиньи 10...12 л.

Особенности применения бесподстилочного навоза. Как уже отмечалось выше, подстилочный навоз можно применять лишь в виде допосевного удобрения (под вспашку). Жидкий или полужидкий навоз можно использовать как в виде допосевного, так и послепосевного удобрения (для подкормки). При допосевном внесении его можно запахивать самостоятельно или совместно с измельченной соломой, оставленной на поле после уборки, или с торфом, предварительно разбросанным по полю. Жидкую фракцию навоза после отделения ее от твердой фазы можно внести в виде дождевания, а твердую его фракцию использовать на удобрение так же, как и обычный подстилочный навоз.

При ограниченности удобряемых площадей и при необходимости утилизации большого количества бесподстилочного навоза его нормы в основном удобрении могут быть значительно выше.

Бесподстилочный навоз можно использовать также для изготовления торфонавозных компостов, при котором соотношение торфа к навозу может быть 1 : 2 или 1 : 1. Из-за бедности торфа фосфором дальнейшее увеличение его доли в таких компостах может привести к снижению их эффективности. При добавлении к компосту фосфоритной муки (1...2%) долю торфа можно увеличить.

Нормы не разбавленного водой бесподстилочного навоза при ежегодном внесении его под основную обработку почвы могут быть до 35 т на 1 га для зерновых, 40...60 т для картофеля, 60...80 т для кукурузы, 80...90 т для кормовой и сахарной свеклы. На лугах и пастищах или на полях с многолетними травами общая ежегодная норма бесподстилочного навоза может быть 60...80 т на 1 га (при внесении после каждого скашивания или стравливания по 10...15 т на 1 га). Однако

во избежание чрезмерного накопления нитратов в зеленой массе растений или кормовых корнеплодах целесообразно внесение в составе ежегодных норм навоза не более 70...100 кг азота на 1 га.

В виде допосевного удобрения бесподстилочный навоз вносят на тяжелых почвах в течение всего теплого периода года (весной, летом, осенью), а на легких почвах во избежание вымывания питательных веществ — только весной (под яровые) или летом (под озимые). На пастбищных угодьях бесподстилочный навоз применяют круглый год (даже зимой по тонкому слою снега) на ровных местах. При этом не следует его вносить на затапливаемых весной участках или на склонах, где возможен его смыв при весеннем снеготаянии.

Для крупных ферм и животноводческих комплексов Министерством сельского хозяйства СССР рекомендовано несколько технологических схем транспортировки и применения бесподстилочного навоза (выбор которых зависит от конкретных условий хозяйства).

Одна из схем рекомендована для тех хозяйств, где нет трубопроводов. Согласно этой схеме, навоз из прифермского хранилища выгружают в большие цистерны-разбрасыватели, вывозят в поле, заполняют им полевые навозохранилища и хранят в них до момента внесения в почву. В период внесения навоз грузят из хранилищ (прифермских и полевых) в цистерны-разбрасыватели, разливают по поверхности поля, а затем заделывают в почву.

Другую схему применяют при наличии трубопроводов и дождевальных установок. По этой схеме жидкий навоз перекачивают по трубопроводам из хранилищ к дождевальным установкам. Предварительно его разбавляют водой (в смесительной камере) в соотношении 1 : 8 или 1 : 10 в вегетационный период и 1 : 1 или 1 : 3 во вневегетационный период. Затем при помощи дождевальных установок проводят орошение удобряемого поля.

Третья схема рассчитана на наличие трубопроводов. Сущность ее заключается в следующем. Бесподстилочный навоз транспортируют по трубопроводам из прифермского хранилища в полевое с последующим использованием цистерн-разбрасывателей для внесения. Погрузку жидкого навоза в цистерны или перекачку по трубопроводу на расстояние до 300 м проводят с помощью погрузчика ПНЖ-250. Для транспортировки и внесения жидкого навоза используют специальные цистерны-разбрасыватели РЖТ-4, РЖТ-8 и РЖТ-16.

Нередко жидкий навоз предварительно разделяют на твердую и жидкую фракции. Твердую фракцию вносят как удобрение при помощи тех же машин, что и подстилочный навоз. Жидкую фракцию, которая содержит до 90% питательных веществ жидкого навоза, хранят в навозохранилище и затем используют на орошение полей, лугов и пастбищ.

Поверхностно разбросанный бесподстилочный навоз во избежание потерь аммиачного азота необходимо немедленно заделывать.

НАВОЗНАЯ ЖИЖА

Навозная жижа представляет собой в основном перебродившую мочу животных.

При различных способах хранения навоза в навозохранилищах выделяется неодинаковое количество навозной жижи. Так, по данным ВИУА, за четыре месяца из 10 т исходного подстилочного навоза ее выделилось при плотном хранении 170 л, при рыхло-плотном 450 л и при рыхлом 1000 л.

Чем быстрее разлагается навоз, тем больше из него выделяется навозной жижи. Общее количество навозной жижи в среднем составляет 10...15% от массы свежего навоза. Сюда не входит та ее часть, которая поглощается и удерживается подстилкой.

В среднем в навозной жиже содержится азота (N) 0,25...0,30%, фосфора (P_2O_5) 0,03...0,06% и калия (K_2O) 0,4...0,5%.

Навозная жижа — преимущественно азотно-калийное удобрение. Все питательные вещества в ней находятся в легкодоступной для растений форме, поэтому она считается быстродействующим удобрением. По использованию растениями азота и калия (60...70%) навозная жижа приближается к минеральным тукам. Азотистые соединения в жиже под влиянием уробактерий быстро превращаются в углекислый аммоний, который легко распадается на углекислоту и аммиак.

Важнейшие условия уменьшения потерь азота из навозной жижи — использование достаточного количества подстилки, устройство жижесборников на скотных дворах и при навозохранилищах, добавление к жиже порошковидного суперфосфата (3...5% от массы навозной жижи).

При взаимодействии аммиачного азота жижи с суперфосфатом образуются устойчивые против разложения соли:

$$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 2CaSO_4 \cdot 2H_2O + 4NH_3 =$$
$$= (NH_4)_2SO_4 + Ca_3(PO_4)_2 \cdot H_2O + 2H_2O;$$
$$Ca(H_2PO_4)_2 + NH_3 = NH_4H_2PO_4 + CaHPO_4$$

Осадок всех фосфатов на дне жижесборников после использования жижи необходимо применять в качестве удобрений (лучше всего компостировать его с органическими удобрениями).

На тех скотных дворах, где нет жижесборников, но имеется торф в хозяйстве, лучше всего заполнять торфом жижестоки, заменяя его новой порцией каждый раз после полного насыщения жижей. 1 кг низинного торфа при влажности 40...50% может поглощать около 2 кг, а верхового торфа — до 5 кг жижи.

Навозную жижу на удобрение используют в чистом виде или при компостировании с другими органическими удобрениями. В чистом виде навозную жижу применяют как основное удобрение и для подкормки. В том и другом случае, чтобы избежать потерь азота, разлитую по поверхности почвы навозную жижу следует немедленно заделывать. В виде основного удобрения навозную жижу вносят в норме от 10 до 15 т на 1 га (под овощные 10...20 т), в зависимости от ее качества и особенностей удобряемой культуры.

Для подкормок лугов и пастбищ навозной жижи берут 10...20 т на 1 га. Для весенней подкормки озимых навозную жижу лучше вносить перед боронованием.

При подкормке пропашных культур для внесения навозной жижи на соответствующую глубину используют подкормочные машины. При первой подкормке пропашных культур навозную жижу лучше внести сбоку рядка в дозе 5...7 т, при второй — в середину междурядья в дозе 8...10 т на 1 га.

Установлено, что каждая тонна навозной жижи повышает урожай (в пересчете на зерно) в среднем на 1 ц. Дополнительное внесение суперфосфата значительно усиливает действие навозной жижи, так как она содержит мало фосфора.

Наибольший эффект навозная жижа дает при компостировании ее с торфом или другими органическими материалами.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛОМЫ НА УДОБРЕНИЕ

Солома содержит в среднем 0,5% N, 0,25% P_2O_5 и 0,8% K_2O. Иногда в хозяйствах после удовлетворения потребности животноводства в кормах и подстилке часть соломы остается неиспользованной. Между тем солому можно эффективно использовать на удобрение, запахав ее непосредственно на поле совместно с азотными (иногда и фосфорными) удобрениями или с жидким навозом.

При запашке соломы (4...6 т на 1 га), оставшейся на поле после уборки комбайном, отпадают транспортные расходы и затраты труда, которые неизбежны при использовании ее на подстилку.

Использование соломы на удобрение сводится к следующему.

По соломе, оставленной на поле после работы комбайна, разбрасывают бесподстилочный навоз или азотные минеральные удобрения (лучше аммиачные или мочевину) из расчета примерно 0,5...1,3% азота от массы соломы, или 40...80 кг N на 1 га. На бедных фосфором почвах полезно добавлять также фосфорные удобрения.

После внесения удобрений солому сразу заделывают лущильником на глубину 5...7 см. Через 2...3 недели, когда солома заметно разложится в почве, проводят зяблевую вспашку на нормальную глубину.

В хозяйствах промышленного животноводства вместо азотных удобрений для совместной запашки с соломой хорошо использовать жидкий навоз (40...50 т на 1 га). Указанные выше дозы азотсодержащих удобрений, рекомендованных для совместной запашки с соломой, рассчитаны на то, чтобы сузить соотношение C : N в разлагающейся в почве соломе до такой величины, при которой происходит сравнительно быстрая ее минерализация, без существенного уменьшения усвояемого азота в почве. Запашка же одной соломы без азотных удобрений привела бы к резкому уменьшению минерального азота в почве и снижению урожая.

Запашку соломы не следует откладывать до весны. Осенняя запашка соломы важна в целях обеспечения лучшего вымывания из

почвы вредных для растений фенольных соединений, образующихся при разложении соломы.

Опыты показывают, что внесение под поздние пропашные культуры 5...10 т соломы на 1 га совместно с азотными удобрениями в ряде случаев дает такой же эффект, как и внесение обычных норм навоза. Запахивать солому особенно желательно под бобовые культуры.

ПТИЧИЙ ПОМЕТ

Птичий помет — ценное, сравнительно концентрированное и быстродействующее органическое удобрение. Как и навоз, он содержит все основные питательные вещества, необходимые растениям, но в значительно большем количестве (табл. 125).

Содержание питательных веществ в помете сильно колеблется в зависимости от состава скармливаемых птицам кормов.

В течение года накапливается помета от каждой курицы по 6...7 кг, от утки 7...9 кг, от гуся 10...12 кг.

Все питательные вещества в птичьем помете находятся в усвояемых для растений соединениях. Основная часть азота в нем представлена в виде мочевой кислоты, которая при хранении превращается вначале в мочевину, а затем в углекислый аммоний. Последний при неблагоприятных условиях хранения быстро разлагается на аммиак, углекислый газ и воду, что может привести к потерям азота. При хранении в больших кучах птичий помет быстро разогревается и аммиак улетучивается сильнее. Много азота теряется при периодическом промерзании и оттаивании помета, хранящегося в небольших кучах.

Для предотвращения (или уменьшения) таких потерь при накоплении и хранении помета рекомендуется систематически добавлять к нему 7...10% (от его массы) порошковидного суперфосфата, или 20...40% сухого торфяного порошка, или 25...50% сухого перегноя. Еще лучше, если в птичнике применяется глубокая подстилка из мелкого сухого торфа или измельченной соломы. Ее лучше уложить вначале сразу слоем 25...30 см, а затем по мере накопления помета систематически (ежедневно) добавлять торф из расчета по 10...15 г на одну курицу или 20...25 г на утку и гуся. Когда слой подстилки с пометом достигнет 0,5...1 м (примерно через полгода), ее можно заменить новой.

На многих птицефабриках в качестве подстилки применяют древесные опилки. Такая подстилка удобна для поддержания чистоты в помещении. Однако она хуже, чем торф, разлагается после внесения

125. Среднее содержание воды и питательных веществ в помете различных птиц (в % от сырой массы помета)

Вид птицы	H_2O	N	P_2O	K_2O	CaO	MgO	SO_3
Куры	56	2,2	1,8	1,1	2,4	0,7	0,4
Утки	60	0,8	1,5	0,5	1,7	0,3	0,3
Гуси	80	0,6	0,5	0,9	0,6	0,3	1,1

в почву. В связи с этим лучше пользоваться опилками лиственных деревьев, а не хвойных (содержащих много смолистых веществ). Помет на опилках лучше внести в почву после длительного (6...7-месячного) компостирования.

Свежий бесподстилочный птичий помет, который еще не содержит аммонийного азота, можно подвергнуть быстрой сушке при высокой температуре. Полученный сухой помет содержит 4...6% азота (N), 2...3% фосфора (P_2O_5) и 2...2,5% калия (K_2O). Он более транспортабелен, чем сырой помет, и может храниться длительное время. Хранить его следует в сухом месте.

Птичий помет используют как до посева, так и в подкормки. Наибольшую ценность он представляет для льна, овощных и плодово-ягодных культур, картофеля и кормовых корнеплодов.

В основном удобрении чистый сухой птичий помет вносят под овощные культуры и под картофель в норме 1...2 т на 1 га. Норма сырого птичьего помета в основном удобрении 4...6 т, а торфяного 8...10 т на 1 га.

При подкормке различных культур вносят сырого чистого помета 8...10 ц, а при внесении в лунки или борозды — 4...6 ц на 1 га. Сухого помета берут вдвое меньше. Для жидкой подкормки сырой помет следует разбавлять водой в 6...7 раз.

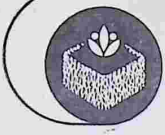
ГОРОДСКОЙ МУСОР

К городскому мусору относят различные кухонные отходы, бумагу, тряпье, грязь, пыль, золу. По содержанию питательных веществ и удобрительным качествам городской мусор приближается к навозу. Однако скорость разложения его в почве зависит от соотношения находящихся в нем компонентов. Так, городской мусор с большим количеством кухонных отходов и пыли разлагается быстрее. Такой мусор можно использовать на удобрение непосредственно без компостирования. Мусор, в котором много бумаги, тряпок, опилок, разлагается медленнее, и его лучше предварительно прокомпостировать.

В городском мусоре в расчете на сухое вещество содержится в среднем 0,6...0,7% N, 0,5...0,6% P_2O_5 и 0,6...0,8% K_2O.

В овощеводстве мусор используют как биотопливо в парниках. Здесь он становится однородным, рассыпчатым и хорошо разложившимся органическим удобрением, которое затем применяют под любую культуру.

Городской мусор в виде основного удобрения вносят в почву заблаговременно (например, под яровые с осени под зябь). Особенно это необходимо, когда применяют некомпостированный мусор на тяжелых почвах. Нормы некомпостированного мусора под различные культуры такие же, как и навоза (20...60 т на 1 га). После компостирования или пропускания мусора через парники норму уменьшают до 15...20 т на 1 га.



ТОРФ И ТОРФЯНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ

ТОРФ

Торф образовался в результате отмирания и неполного разложения болотных растений в условиях избыточного увлажнения и недостатка воздуха. Любой торф состоит из негумифицированных растительных остатков, перегноя и минеральных включений.

Виды и типы торфа многообразны и неравноценны по качеству. Поэтому способы использования его на удобрение неодинаковы. Торф целесообразнее применять на удобрение не в чистом виде, а в составе различных компостов.

Состав и свойства различных типов и видов торфа

Тип торфа определяется условиями его образования, в частности расположением торфяного болота по элементам рельефа. В то же время вид торфа определяется в основном растительными остатками, входящими в его состав.

По условиям образования торфяные болота (и, следовательно, добываемый торф) делят на три типа: верховые, низинные и переходные.

Верховой торф образовался на возвышенных элементах рельефа из сфагновых мхов, пушницы, багульника и других растений, которые отличаются малой требовательностью к пище и влаге.

Низинный торф образовался в пониженных частях рельефа под влиянием грунтовых вод. В его образовании участвуют гипновые мхи, из травянистых растений — осоки, тростники, вейники, хвощи, а из древесных — ольха, береза, ель, сосна, ива и другие влаголюбивые и требовательные к питательным веществам растения.

Переходный торф занимает промежуточное положение. Нижние слои его ближе к низинному, а верхние — к верховому.

Наименование вида торфа определяется названием растений-торфообразователей, содержание малоразложившихся остатков которых в торфе составляет не менее 20% от массы сухого вещества.

При агрономической оценке различных типов и видов торфа большое значение имеют их ботанический состав, степень разложения, зольность, содержание питательных веществ, кислотность, влагоемкость.

Ботанический состав — важный признак, характеризующий качество торфа в агрохимическом отношении. Так, сфагновый верховой торф отличается бедностью питательными веществами, малой золь-

ностью, кислой реакцией и низкой степенью гумификации. Поэтому сфагновый верховой торф непригоден для непосредственного использования на удобрение. В то же время благодаря большой влагоемкости и способности поглощать газообразные вещества сфагновый торф является хорошим материалом для подстилки. Торф, содержащий остатки травянистой растительности — осок, тростников, а также остатки древесных растений, богаче зольными элементами и характеризуется большой степенью разложения. Ольховый торф бывает богаче азотом в связи с развитием клубеньков на корнях ольхи. Он имеет высокую степень разложения и пригоден на удобрение сразу после добычи и проветривания даже без предварительного компостирования.

При оценке торфа как материала для получения удобрения имеют значение состав и соотношение в нем различных органических соединений. Такие вещества, как лигнин, битумы, смолы, воска и жирные кислоты, входящие в торф, очень устойчивы к разложению микроорганизмами. Повышенное их содержание в торфе замедляет его разложение в почве. Белковые и другие азотсодержащие органические соединения торфа легче разлагаются микроорганизмами.

Сфагновый верховой торф богат целлюлозой, гемицеллюлозой (суммарно около 40%) и очень беден гуминовыми веществами (не более 20%). Много содержится в нем также битумов. Низинный осоковый торф богат гуминовыми веществами (около 50%), причем эти вещества в нем качественно иные, чем у верхового торфа. Гуминовые вещества низинного торфа более связаны с кальцием, чем в верховом торфе.

Степень разложения торфа. Торф с содержанием 5...25% гумифицированных веществ называют *слаборазложившимся*. Его целесообразно применять на подстилку, пропуская через скотный двор, и использовать на удобрение в виде торфяного навоза.

При степени разложения 25...40% торф называют *среднеразложившимся*. Этот торф лучше применять на удобрение после компостирования.

Торф со степенью разложения более 40% называют *сильноразложившимся*. Его можно использовать на удобрение после добычи и проветривания даже без предварительного компостирования, но совместно с другими органическими и минеральными удобрениями. Моховой торф всех трех типов (верховой, переходный и низинный) обладает наименьшей степенью разложения (5...25%). Травяной торф имеет большую степень разложения (20...40%), а древесный — максимальную (35...70%).

Степень разложения торфа более точно определяют под микроскопом и выражают в процентах разложившейся части торфа от всей его массы. Приближенно степень разложения определяют также по внешнему виду торфа. Хорошо разложившийся торф по внешнему виду темно-коричневый, почти черный. При сжатии комка такого торфа в руке он липнет, пачкает и проходит между пальцами. Слаборазложившийся торф светло-коричневый. В нем простым глазом можно заметить неразложившиеся волокна растительных остатков. При сжатии комка такого торфа в руке масса его не проходит между пальцами, не пачкает руку (табл. 126).

126. Определение степени разложения торфа

Состояние растительных остатков	Пластичность торфа при сжатии в руке	Признаки выжимаемой жидкости	Степень разложения торфа (в %)
Хорошо сохранились и виды их легко различаются	Через пальцы не выдавливается и не мажет	Отжимается легко, бесцветная или слабоокрашенная, иногда мутная	До 20
Ясно различимы при внимательном рассмотрении	Почти не выдавливается между пальцами	Светло-коричневая, мутная	20...30
Трудноразличимы, заметно присутствие перегноя	Часть выдавливается между пальцами, мажет	Темно-серая или темно-коричневая, отжимается с некоторым усилием, по каплям	35...50
Малозаметны, могут встречаться кусочки коры	Легко выдавливается между пальцами, сильно мажет	Не отжимается	Более 50

Зольность торфа. Торф бывает нормальной зольности и высокозольный. Нормальнозольным называют торф, содержащий золы до 12%, а высокозольным — более 12%. Высокозольный торф встречается среди низинного. Если агрономические свойства нормальнозольного торфа в основном зависят от его ботанического состава, то свойства высокозольного торфа — от химического состава золы.

В верховом торфе содержится золы до 5%, в переходном — 5...10% и в нормальнозольном низинном — 8—12%. Иногда в низинном торфе ее бывает 30% и более. Такая зольность в отдельных случаях обусловливается наносами песка и глины или же содержанием в них извести или вивианита. Повышение зольности торфа от примесей глины и песка снижает его ценность как удобрения, так как удорожает добычу и перевозку.

Среди зольных элементов торфа наибольшее агрономическое значение имеют кальций и фосфор. Степень насыщенности кальцием в верховом торфе не превышает 20%, в переходном составляет 20...45% и в нормальнозольном низинном — 45...70% от емкости поглощения. Исключительно ценен низинный торф, содержащий известь или вивианит. Такой торф можно применять в качестве удобрения без предварительного компостирования.

При содержании извести (CaO) свыше 10% от массы сухого вещества торф может служить известковым удобрением. Норму такого торфа рассчитывают по содержанию в нем извести и по кислотности почвы.

Торф с содержанием P_2O_5 более 3% — хорошее фосфорорганическое удобрение. Такой торф называется вивианитовым. Норму его рассчитывают по фосфору.

Содержание питательных веществ в разных видах и типах торфа неодинаково. Торф, как и навоз, содержит все необходимые для расте-

ний питательные элементы, но в другом соотношении. Из трех элементов питания (N, P и K) в нем больше всего находится азота (в абсолютно сухой массе верхового торфа от 0,7 до 1,5%, в низинно-осоковом от 2,5 до 3,5%). Однако основная часть азота в торфе содержится в органической форме и становится доступной растениям по мере минерализации, которая происходит намного медленнее, чем разложение навоза. Содержание аммиачного азота (единственной усвояемой формы азота в торфе) в сухой массе хорошо разложившегося низинно-осокового торфа не превышает 0,09%, а в сухой массе верхового торфа — 0,035%. Поэтому торф становится источником азотного питания для растений лишь после биологического воздействия, в частности при компостировании его с навозом, навозной жижей, фекалиями.

Фосфора в нормальнозольном торфе значительно меньше, чем азота. В абсолютно сухой массе торфа содержание фосфора колеблется от 0,05% (в верховом) до 0,60% (в низинном). Две трети этого количества легко переходят в лимоннокислую вытяжку, следовательно, фосфор в торфе находится в сравнительно доступной форме для растений. Более богат фосфором древесный и древесно-осоковый низинный торф. При повышенной зольности он содержит больше фосфора, кальция и железа и меньше азота.

Калия в торфе мало, в абсолютно сухой массе 0,05...0,2%. Менее половины этого количества хорошо извлекается из торфа водой и находится в нем в легкодоступной для растений форме. Более половины калия торфа содержится в необменной форме.

В целом торф нормальной зольности богат азотом, беден фосфором и очень беден калием и микроэлементами (особенно медью).

Кислотность торфа — важный показатель при определении типа и способов использования торфа в сельском хозяйстве. Так, торф, у которого pH солевой вытяжки ниже 5,5, непригоден на удобрение в чистом виде, его необходимо предварительно пропускать через скотный двор или компостировать с навозом или с известью, золой или фосфоритной мукой. Наиболее кислый — верховой сфагновый торф и менее кислый — низинный.

Влагоемкость и поглотительная способность торфа имеют важное значение, особенно при использовании его на подстилку. Наивысшей влагоемкостью обладает верховой торф с небольшой степенью разложения. Влагоемкость его в расчете на абсолютно сухое вещество достигает 1000...1800%, в низинном торфе она равна 500...1000%. Емкость поглощения торфа значительно выше, чем самой высокогумусной почвы, и составляет 100...200 м.-экв. и более на 100 г сухого вещества.

В общем агрохимические свойства нормальнозольного торфа разных типов можно характеризовать следующими данными (табл. 127).

Верховой торф отличается меньшей степенью разложения, большей кислотностью и меньшей зольностью, он беднее по содержанию питательных веществ.

Для низинного торфа характерны высокая степень разложения, большее содержание азота и зольных веществ, меньшая кислотность. Переходный торф обладает промежуточными свойствами между вер-

127. Агрохимические свойства нормальнозольного торфа

Торф	pH вытяжки		Содержание (в % от массы абсолютно сухого вещества)					
	водой	солевой	органического вещества	золы	N	P_2O_5	K_2O	CaO
Верховой	3,0...4,5	2,6...3,2	95...98	2...5	0,7...1,5	0,05...0,15	0,05...0,10	0,2...0,4
Переходный	4,0...6,0	3,6...4,4	90...95	5...10	1,2...2,5	0,10...0,25	0,10...0,15	0,4...2,0
Низинный	5,5...7,0	4,8...5,8	85...92	8...15	2,5...3,5	0,20...0,60	0,15...0,20	2,0...6,0

ховым и низинным; в верхних слоях торфяников он по свойствам приближается к верховому, а в более глубоких слоях — к низинному.

Применение торфа в сельском хозяйстве

Торф находит самое разнообразное применение в сельском хозяйстве. Он используется на подстилку, как составная часть различных компостов, для изготовления торфоперегнойных горшочков, мульчирования и иногда непосредственно на удобрение совместно с минеральными туками. Использование большинства видов торфа в чистом виде на удобрение агрохимически неэффективно и экономически нецелесообразно.

Заготовка торфа складывается из процессов осушения торфяного болота, очистки его от лесокустарника и пней, удаления верхнего дернового слоя и добычи послойно-поверхностным способом. При такой добыче торф с поверхности торфяного болота собирают слоями после каждого рыхления. Лучше всего это сделать летом. Если слой дерна на торфянике нетолстый, то рыхлят его без предварительного удаления дернины.

При заготовке торфа на подстилку обработку и рыхление поверхности торфяных болот можно провести фрезой, после чего неоднократным ворошением рыхлого слоя довести его до требуемой влажности. По мере подсыхания торф собирают в валки или штабеля.

Часто вместо фрезерования поверхность осушенной торфяной залежи сначала вспахивают кустарниковым плугом на 40...50 см, а затем проводят многократное дискование. Верхний 6...8-сантиметровый слой торфа после сушки убирают и используют на подстилку, для изготовления компостов и т. д. За летний сезон можно снимать 4...5 таких слоев разрыхленного и осушенного торфа (по 600...800 м³ с каждого гектара торфяника).

Использование торфа на подстилку. Торф — прекрасный подстилочный материал. Высокая влагоемкость его обусловливает максимальное поглощение жидких выделений животных, а кислотность и большая емкость поглощения — сохранение аммиачного азота.

Согласно государственному стандарту (ГОСТ 12101—66), торф, заготавливаемый для подстилки, должен иметь степень разложения

до 25%, зольность до 10...15%, влажность 50%, содержать древесных частиц (размером до 60 мм) до 10%. Этим требованиям лучше всего отвечает верховой сфагновый торф. Менее пригодны на подстилку гипновый, осоковый и тростниковый торф. Используют только слаборазложившиеся их разновидности, со степенью разложения менее 20%.

Компостирование торфа — важный способ получения высококачественного органического удобрения. Для компостирования рекомендуется торф со степенью разложения выше 20%, зольностью до 25% и с содержанием древесных частиц до 10%. При компостировании к торфу добавляют известь, фосфоритную муку, растворимые минеральные удобрения или же биологически активные компоненты (навоз, навозную жижу, фекалии и т. д.).

На компостирование с известью, фосфоритной мукой или золой лучше использовать торф, имеющий pH менее 5, зольность ниже 10%, степень разложения 40...25%. С навозом, навозной жижей, фекалиями и растительными остатками можно компостировать все виды торфа.

Изготовление торфоперегнойных горшочков. Торф в овощеводстве используют для приготовления питательных рассадных кубиков и горшочков. В состав смесей, применяемых для их изготовления, входят различные органические и землистые материалы (торф, компост, перегной, птичий помет, дерновая земля, ил), минеральные удобрения (азотные, фосфорные, калийные и микроудобрения) и нейтрализующие добавки (известь).

Для изготовления рассадных горшочков лучше использовать низинный или переходный торф с нейтральной или слабокислой реакцией, степенью разложения 30...40% и зольностью 3...15%.

Использование торфа на удобрение без предварительного компостирования. Для этого подходит лишь сильноразложившийся низинный высокозольный торф, богатый известью или фосфором.

Непосредственно на удобрение применяют, в частности, торф, имеющий pH солевой вытяжки более 5,5, зольность свыше 10% (в том числе содержание CaO выше 4%), степень разложения не менее 40...50%. Особенно ценны в этом отношении торфо-туфы как известково-органические удобрения и торфо-вивианиты как фосфорные и органические удобрения. Применение торфа и торфяных компостов особенно важно на легких почвах.

Торф, предназначенный для непосредственного удобрения, после добычи тщательно проветривают. Для проветривания при механизированной заготовке (при фрезеровании или вспашке торфяника и последующем многократном дисковании) требуется при сухой погоде несколько дней.

Цель проветривания — устранение избыточной влажности торфа и окисление содержащихся в нем закисных соединений. Проветренный низинный торф, внесенный в почву в чистом виде, в первый год не может служить источником азотистого питания растений. В нормальнозольном торфе мало фосфора и особенно калия. Следовательно, несмотря на улучшение физико-химических свойств почвы, при использовании такого торфа без дополнительного внесения минеральных

(главным образом азотных) удобрений в первый год резко повысить урожай удобряемой культуры не удается.

Чтобы ускорить процесс разложения торфа, совместно с торфом запахивают в почву небольшое количество (5...10 т на 1 га) навоза, фекалий или навозной жижи. Если в чистом виде для получения заметного эффекта требуются очень высокие нормы нормальнозольного торфа (50...90 т на 1 га), то такие добавки позволяют снизить норму торфа до обычных норм навоза. Норму торфо-туфов устанавливают по содержанию в них извести, вивианита — по количеству фосфора.

Использование торфа в качестве мульчи. Проветренный торф в чистом виде — очень хороший материал для мульчирования, особенно при выращивании плодовых, ягодных и овощных культур. При мульчировании торф вносят в междурядья поверхностно и без заделки, слоем толщиной до 5 см. Цель мульчирования — поддержать в верхнем слое почвы лучшие условия водного, воздушного, пищевого и температурного режимов. Мульчу применяют также для предотвращения образования почвенной корки и развития сорняков.

После уборки мульчируемой культуры (или при междурядной обработке, или обработке приствольных кругов многолетних насаждений) торф, использованный для мульчи, запахивают. Для ускорения его разложения полезно при запашке мульчи добавлять небольшие дозы навоза, навозную жижу или фекалии.

Использование осушенных торфяников

Торфяники после их осушения можно использовать не только для получения торфа на удобрение, но и для возделывания на них сельскохозяйственных культур. В одних случаях это делают непосредственно после соответствующей мелиорации без снятия торфа на удобрение. В других случаях сельскохозяйственные культуры здесь начинают возделывать после частичного использования верхнего слоя торфа на удобрение для подстилки или изготовления компостов.

Необходимо, однако, при этом иметь в виду, что чем большей толщины снимается торфяной слой, тем менее плодородной становится почва и тем труднее превращение таких торфяников в высокопродуктивные сельскохозяйственные угодья. Поэтому толщина оставляемого торфяного слоя должна быть не менее 50 см.

Все кислые торфяные почвы при их освоении прежде всего следует известковать. Согласно данным Белорусского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии, торфяные почвы с pH солевой вытяжки менее 5 и степенью насыщенности основаниями менее 70% подлежат известкованию (табл. 128).

Нормы извести (в пересчете на $CaCO_3$) для кислых торфяных почв целесообразно устанавливать по их половинной гидролитической кислотности (0,5 *Не*):

$$CaCO_3 \text{ (т на 1 га)} = \frac{0{,}5Не \cdot 0{,}05 \cdot 10 \cdot d \cdot h \cdot 100\,000}{1000 \cdot 1000} = 0{,}5Не \cdot 0{,}05 \cdot d \cdot h,$$

где 0,05 — количество извести (в г на 1 м.-экв. гидролитической кислотности почвы); 10 — для выражения в 1 кг почвы; d — объемная

128. Группы торфяных почв по кислотности и степени потребности в известковании

Группа торфяных почв по кислотности	pH в KCl	*Hг* (в м.-экв. на 100 г)	*V* (в %)	Необходимость известкования
1. Чрезмерно кислая	<3,9	>85	<35	Острая
2. Сильнокислая	3,9—4,3	85—70	35—50	Сильная
3. Среднекислая	4,3—4,7	70—50	50—60	Средняя
4. Слабокислая	4,7—5,0	50—40	60—70	Слабая
5. Умеренно кислая или некислая	>5,0	<40	>70	Отсутствует

масса почвы (для торфяных почв 0,25; 0,3 или 0,4); *h* — глубина вспашки (в см); 100 000 — для пересчета на 1 га; 1000 и 1000 (в знаменателе) — для перевода граммов $CaCO_3$ в тонны.

При *Hг*, равной 30 м.-экв. на 100 г почвы, объемной массе 0,4 и глубине вспашки 20 см норма $CaCO_3 = 0{,}5 \cdot 30 \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}4 \cdot 20 = 6$ т на 1 га.

Торфяные почвы отличаются высоким содержанием органического вещества (до 85...95%) и в связи с этим большой емкостью поглощения и высокой влагоемкостью, большой пористостью, малой плотностью (0,25...0,5). Они выделяются также высоким содержанием общего азота, низким содержанием калия (за исключением торфяников, обогащенных наносами речного ила, богатого калием), а также малым содержанием фосфора (за исключением низинных торфяников, обогащенных фосфором грунтовых вод). Применение удобрений на торфяных почвах должно быть с учетом этих особенностей.

На большинстве торфяных почв, особенно на старопахотных, из минеральных удобрений наиболее эффективны фосфорно-калийные. Азот в этих почвах, особенно в почвах верховых и переходных болот, в первые годы освоения находится в основном в составе трудноминерализуемых органических соединений. К тому же эти почвы бедны микрофлорой. Поэтому первоначально, когда энергичного разложения органических веществ в торфяной почве еще не происходит, на фоне фосфорно-калийных удобрений следует применять также азотные удобрения. При этих условиях даже при возделывании бобово-злаковых смесей важное значение имеет полное минеральное удобрение (табл. 129).

129. Влияние удобрений на урожай горохо-овсяной смеси на осушенной торфяной почве в первые три года освоения (К. С. Колмыков, 1974)

Вариант опыта	Урожай зеленой массы (в ц с 1 га)		
	1967 г.	1968 г.	1969 г.
Фон ($CaCO_3$ 10 т на 1 га)	35	35	43
Фон + $N_{10}P_{60}$	198	206	217
Фон + $N_{10}K_{60}$	165	161	183
Фон + $P_{60}K_{60}$	180	186	230
Фон + $N_{10}P_{60}K_{60}$	250	259	270

На старопахотных торфяных почвах (примерно через 10 лет после их освоения) применение азотных удобрений неэффективно или малоэффективно.

С учетом бедности микрофлорой торфяных почв на вновь осваиваемых участках в целях ускорения разложения органических веществ целесообразно применение бактериальных препаратов или же небольших доз (5...8 т на 1 га) навоза, навозной жижи, фекальных удобрений (которые богаты микрофлорой).

Во многих торфяных почвах мало микроэлементов, особенно меди. Потребность в ней (как и в других питательных элементах) лучше всего устанавливать по данным анализа почвы. Максимальное содержание меди в торфяниках достигает 8 мг, тогда как в некоторых минеральных почвах — 20...100 кг на 1 кг сухой почвы. Потребность в медных удобрениях возникает при содержании меди в кислых торфяниках менее 4...5 мг и в известкованных торфяниках менее 6...7 мг на 1 кг почвы. Недостаток меди в торфяниках объясняется сильным закреплением ее в органическом веществе торфа. Медь в торфяные почвы вносят в виде медного купороса (25 кг на 1 га) или пиритных огарков (500 кг на 1 га) один раз через каждые 4—5 лет.

По данным Северного НИИ гидротехники и мелиорации, в северо-западных районах РСФСР, где много торфяных почв, перспективен комплексный метод использования осушенных торфяников. Сущность метода заключается в том, что на одном из участков торфяников ежегодно заготавливают торф на удобрение послойно-поверхностным способом, а на других участках по введенному севообороту сразу возделывают сельскохозяйственные культуры. Через несколько лет первый участок после такой послойной выработки верхней части торфяного горизонта с остаточным количеством торфа также используется для возделывания сельскохозяйственных культур.

КОМПОСТЫ

Компостирование — один из приемов накопления местных органических удобрений. Оно необходимо для сохранения (уменьшения потерь) питательных веществ в одних органических удобрениях при их разложении (навоз, навозная жижа) и усиления доступности для растений элементов питания в составе других (в торфе или в другом инертном материале).

Чаще всего компост состоит из двух главных компонентов, неодинаковых по устойчивости к разложению микроорганизмами. Один из них (торф, дерновая земля) играет преимущественно роль поглотителя влаги и аммиака и без компостирования слабо разлагается, другой богат микрофлорой, содержит достаточное количество легкораспадающихся азотистых органических соединений (фекалии, навозная жижа и т. п.). В таких компостах преобладает первый компонент (торф). Второго берут меньше (иногда 10...15% от общей массы компоста) и лишь для того, чтобы вызвать вспышку микробиологических процессов разложения органических веществ. Такое компостирование называется биологическим. Оно обеспечивает накопление большого количества высококачественного органического удобрения за счет

более инертных материалов, которые сами по себе представляют невысокую удобрительную ценность. К этой группе компостов относят торфонавозные, торфо-фекальные, торфо-жижевые компосты из соломы и других трудноразлагающихся органических материалов с фекальной массой, жижей и т. д. В состав органических компостов можно ввести также микрофлору в виде бактериальных препаратов.

Важное значение имеет также компостирование некоторых органических удобрений с минеральными и известью. Применяют его для обогащения органических удобрений недостающими питательными веществами и устранения их кислотности, которая угнетает развитие микроорганизмов. К таким компостам относят навозно-фосфоритные, торфо-фосфоритные, торфонавозно-фосфоритные, торфо-известковые, торфо-зольные, обогащенные торфяные компосты и т. д.

В ряде районов торф компостируют с жидкими аммиачными и минеральными удобрениями (торфо-минерально-аммиачные удобрения).

Кроме навоза и торфа, для компостирования используют солому и другие отходы и отбросы. Цель этого приема — разложить отходы и отбросы до такой степени, чтобы перевести содержащиеся в них питательные вещества в доступную для растений форму и устранить или значительно уменьшить возможность биологического связывания азота в почве после их внесения.

По подсчетам Украинского научно-исследовательского института экономики, при вывозке навоза и торфонавозных компостов на расстояние 4 км и внесении их под картофель и кукурузу стоимость прибавки урожая, выраженная в государственных закупочных ценах, более чем в два раза превышает стоимость затрат на приготовление, транспортировку и заделку этих удобрений. При вывозке их на расстояние 8 км затраты возрастают, но они все же окупаются стоимостью прироста урожая. Если учесть последействие навоза и торфонавозных компостов, то окупаемость затрат бывает выше. Согласно данным этого же института, применение чистого торфа оказалось экономически невыгодным не только при вывозке его на расстояние 8 км, но даже на 4 км.

Торфонавозные компосты — наиболее распространенный вид компостов. Приготовление их, как и торфяного навоза,— один из важнейших приемов увеличения накопления высококачественного органического удобрения. Торфяной навоз и торфонавозные компосты получают разными путями. Если торфяной навоз получают путем использования торфа на подстилку, то торфонавозный компост — смешиванием торфа и навоза при укладке штабеля или непосредственно на торфяном болоте.

Под влиянием навоза азот торфа за короткий срок становится более подвижным и более доступным для растений. Навоз уменьшает также кислотность торфа, создает более благоприятные условия для деятельности микроорганизмов, участвующих в разложении органических (в том числе азотистых) веществ. С другой стороны, торф как материал с высокой влагоемкостью и емкостью поглощения хорошо задерживает жижу и аммиачный азот, которые выделяются при разложении навоза, тем самым предотвращаются их потери.

Рис. 35. Схема послойного компостирования навоза и торфа.

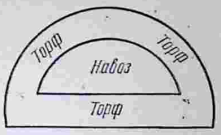


Рис. 36. Схема очагового компостирования навоза и торфа.

Для компостирования с навозом подходят все три типа торфа, однако лучше проветренный торф, влажность которого не превышает 65...70%. Заготавливают его в летнее время послойно-поверхностным способом.

Соотношение навоза и торфа при изготовлении торфонавозных компостов зависит от обеспеченности ими хозяйств, качества их и времени года. Так, в зимний период соотношение между ними может быть 1 : 1, а летом 1 : 3.

Существует два основных способа компостирования навоза и торфа в штабелях: послойное и очаговое.

Послойное компостирование. В штабелях шириной 4...5 м чередуют слои торфа и навоза (рис. 35). Вначале укладывают по всей ширине и длине штабеля торф слоем до 50 см, который должен препятствовать просачиванию навозной жижи в грунт. Затем кладут слой навоза. Так слои торфа и навоза чередуют до тех пор, пока высота штабеля не достигнет 1,5...2 м. Самый верхний слой штабеля также кладут из торфа, чтобы уменьшить улетучивание аммиачного азота навоза. Толщина слоев компонентов этих компостов зависит от соотношения взятых навоза и торфа. Так, при соотношении в компосте навоза к торфу 1 : 1 толщина слоев их в штабеле может быть по 25...30 см. Чем больше используется торфа, тем бóльшими должны быть слои его по сравнению с навозом.

Очаговое компостирование. Навоз укладывают сплошь или прерывисто внутри штабеля торфа. При этом сначала укладывают торф слоем 50...60 см, затем сверху вдоль и посередине всего штабеля слой навоза толщиной 70...80 см и шириной на 1,0...1,5 м у́же нижнего слоя торфа. При недостатке навоза или использовании бесподстилочного жидкого навоза его лучше укладывать в штабеле торфа в виде отдельных прерывистых очажков. После укладки навоз сверху и со всех сторон обкладывают торфом слоем 50...70 см (рис. 36).

Очаговое компостирование навоза и торфа больше всего подходит для районов с холодной зимой (для зимнего компостирования), когда возможно промерзание штабеля. При таком компостировании в течение зимы температура внутри штабеля не опускается ниже 25...30°С. Штабель навоза и компостов в зимний период закладывают в 1...2 дня, по возможности во время оттепели.

Укладка штабеля торфонавозного компоста в поле бульдозером. В летнее время штабель торфо-

навозного компоста закладывают бульдозером. При этом на удобряемое поле автосамосвалами и тракторными прицепами подвозят торф и укладывают в ряд кучами на расстоянии 5 м одна от другой. Затем подвозят навоз и сгружают его между кучами торфа. На площадке размещают три таких ряда. После этого бульдозером сдвигают два крайних ряда к среднему, перемешивают всю массу в двух противоположных направлениях и укладывают штабель.

При послойном и очаговом компостировании для получения однородной массы штабель перемешивают смесителями или бульдозером хотя бы один раз в период хранения.

При укладке торфонавозного компоста бульдозером дополнительного перемешивания штабеля не требуется.

При укладке штабеля торфонавозного компоста уплотнение не обязательно. Рыхлая укладка такого компоста ускоряет разложение органических веществ при почти полном отсутствии потерь аммиачного азота навоза (он поглощается торфом).

В летних условиях для предотвращения пересыхания штабеля его периодически поливают навозной жижей или (если ее нет) водой.

Более высококачественные торфонавозные компосты получают при добавлении к ним при укладке штабеля фосфоритной муки (15...30 кг на 1 т компостируемого материала).

Фосфоритной мукой пересыпают каждый слой навоза и торфа при укладке штабеля. Более равномерное распределение ее в массе компоста легче всего достигается при послойном компостировании навоза и торфа. Так получают торфонавозно-фосфоритные компосты. По эффективности эти компосты даже при содержании навоза 30...50% не уступают хорошо приготовленному навозу.

В некоторых случаях к таким компостам добавляют наряду с фосфорными удобрениями калийные из расчета 5...6 кг на 1 т торфа и известь (по кислотности торфа). Калийные удобрения и известь вносят в слой торфа, а фосфоритную муку — в слои навоза.

Торф с жидким навозом компостируют так же, как с навозной жижей.

Торфо-жижевые компосты. Навозную жижу по мере ее накопления в жижесборниках целесообразно использовать для компостирования с разными видами торфа, за исключением известкового. При компостировании известкового торфа с навозной жижей возможны большие потери аммиачного азота жижи.

Зимой торфо-жижевые компосты готовят в навозохранилище, а летом — в полевых штабелях или непосредственно на осушенных торфяниках.

При подготовке торфо-жижевых компостов на каждую тонну проветренного торфа в зависимости от его влажности берут 0,5...1 т навозной жижи. Компостируют торф с жижей двумя способами. 1. Закладывают штабель из одного торфа шириной 3...4 м и высотой 1,5...2 м, сверху посередине штабеля делают корытообразное углубление на 50...80 см и шириной около 1 м, которое заполняют необходимым количеством жижи. После полного впитывания жижи углубление засыпают торфом и поверхность штабеля заравнивают (рис. 37). 2. Торф

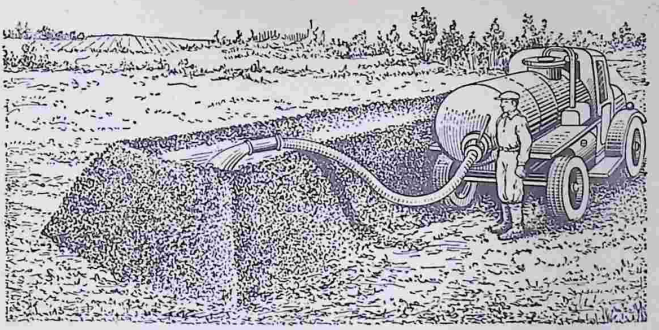


Рис. 37. Приготовление торфо-жижевого компоста.

укладывают в штабель слоями по 30...50 см до высоты 1,5...2 м и каждый слой, кроме самого верхнего, увлажняют навозной жижей. Лучше каждый новый слой торфа укладывать после разогревания предыдущего, которое наступает на четвертый-пятый день после внесения жижи.

Более высококачественный компост получается при добавлении к торфу фосфоритной муки (1,5...2% от массы торфа) перед увлажнением навозной жижей. Так готовят *торфо-жиже-фосфоритные компосты*, обогащенные одновременно микрофлорой, подвижным азотом и калием жижи, фосфором и кальцием минерального удобрения.

Торфо-жижевые компосты в зависимости от свойств компостируемого материала и времени года созревают в течение 1...4 месяцев. За это время наряду с другими микробиологическими процессами в компостных кучах происходит нитрификация. Слабощелочная реакция среды (pH 7...8) в торфо-жижевых компостах, богатство их углеводами и недостаток кислорода обусловливают также последующий процесс денитрификации. Чем энергичнее в штабелях нитрификация, тем больше опасность потери азота от последующей денитрификации. По данным ВИУА, при рыхлой укладке штабеля из торфо-жижевых компостов теряется больше азота, чем при плотной укладке, когда азота больше сохраняется в аммиачной форме.

Нитраты в плотных штабелях образуются лишь через 1...2 месяца. Следовательно, за это время не может наступить и процесс денитрификации.

Торфо-жижевые компосты лучше внести в почву до истечения этого срока.

Фекалии и фекальные компосты. В фекальной массе выгребных ям в среднем содержится 0,5...0,8% азота, 0,2...0,4% фосфора (P_2O_5) и 0,2...0,3% калия (K_2O).

Все эти вещества находятся в значительно более доступной форме для растений, чем в других органических удобрениях (за исклю-

чением навозной жижи, из которой питательные вещества легко усваиваются растениями). Поэтому фекалии относят к быстродействующим органическим удобрениям. Азот в них на 70...80% представлен аммиаком и мочевиной.

В настоящее время фекалий используют на удобрение после высушивания или разбавления водой. Высушенное и превращенное в порошок удобрение получило название *пудреты*. Они содержат около 2% азота (N), 4% фосфора (P_2O_5) и 2% калия (K_2O). Однако длительный процесс сушки сопровождается большими потерями азота (в виде аммиака). Для уменьшения этих потерь при сушке целесообразно добавлять к фекалиям сухой торфяной порошок (8...10%) или порошковидный суперфосфат (3...5%).

Пудреты можно применять в норме 2...3 т на 1 га. В год внесения из его состава используется растениями 50...60% N, 30...40% P_2O_5 и 60...70% K_2O.

В городах фекалии, как правило, удаляют в сильно разбавленном состоянии по канализационной системе в виде бытовых сточных вод. Применение их на полях орошения — один из эффективных способов использования фекалий на удобрение. При этом растения одновременно обеспечиваются водой и всеми элементами питания.

В 1 м³ сточных вод содержится в среднем 60...100 г азота (N), 10...20 г фосфора (P_2O_5), 20...40 г калия (K_2O), 60...110 г кальция (CaO), 25...50 г магния (MgO) и 60...70 г хлора (Cl). Как видно из этих данных, в сточных водах содержится относительно много азота. Поэтому они хорошо действуют на силосные и другие культуры, характеризующиеся повышенной потребностью в азоте. В фекалиях содержится значительное количество хлора, поэтому они малопригодны для удобрения табака, картофеля, ягодников, которые отрицательно реагируют на содержание хлора в питательной среде.

С санитарной и с агрономической точки зрения фекалии лучше применять в виде компостов. Компостирование фекальной массы с торфом, соломой и другими слаборазлагающимися органическими материалами дает высококачественные органические удобрения. Это лучший способ предотвращения потерь азота из фекалий и их обеззараживания. В течение 2...3 месяцев после закладки компоста в нем полностью погибают возбудители болезней и совершенно пропадает неприятный запах.

Торфо-фекальный компост — наиболее сильнодействующее (и быстродействующее) органическое удобрение. Для компостирования подходят все виды торфа. Количество фекалий при изготовлении этих компостов зависит от влажности и степени разложения торфа. Чем влажнее торф и чем выше степень его разложения, тем меньше фекалий требуется для компостирования. Так, на 1 т низинного торфа с влажностью около 70% берут около 0,5 т фекалий. При использовании слаборазложившегося, хорошо проветренного мохового торфа той же влажности дозу фекалий можно увеличить до 2 т, а при влажности около 50% — до 3,5 т на 1 т торфа.

Торфо-фекальный компост для обеззараживания фекалий выдерживают определенное время в штабелях без уплотнения.

Способы изготовления торфо-фекальных компостов такие же, как и торфо-жижевых. Процесс компостирования торфа и фекалий полностью механизирован. Так, при очаговом компостировании штабель торфа высотой до 2 м укладывают бульдозером. Им же делают углубление посередине штабеля и засыпают торфяной крошкой после заполнения фекальной массой. Примерно через месяц компост перемешивают бульдозером для получения однородной массы.

При послойном компостировании каждый слой торфа поливают фекальной массой, подвозимой автоцистерной.

Торфо-минеральные компосты. *Торфо-известковые и торфо-зольные компосты.* Во всех случаях кислый торф (pH солевой вытяжки менее 5) компостируют с известью или золой, пересыпая ими при укладке штабеля каждый 15—20-сантиметровый слой торфа. Из известковых удобрений для этой цели лучше применять доломитовую муку.

При компостировании торфа с известью устраняется его кислотность, он обогащается кальцием, а иногда и магнием. Количество извести при таком компостировании лучше всего устанавливать по 0,8 гидролитической кислотности торфа. Практически при влажности торфа 60...70% известь составляет 1...3% массы торфа (чем он кислее, тем больше извести идет на компостирование).

Торфо-известковые компосты созревают в течение 4...5 месяцев. Они богаты кальцием, но бедны калием и фосфором. Поэтому применять их надо совместно с фосфорно-калийными удобрениями.

Задача компостирования торфа с золой — обогащение его кальцием, фосфором и калием, а также частичное уменьшение кислотности. На каждую тонну проветренного торфа берут 25...50 кг соломенной или древесной золы или даже 100...200 кг торфяной золы.

Торфо-фосфоритные компосты. Компостирование торфа с фосфоритной мукой — важный прием повышения эффективности этих удобрений. При этом торф обогащается фосфором и кальцием фосфоритной муки, несколько снижается его кислотность (хотя и меньше, чем при компостировании с известью и золой). Под влиянием кислотности торфа повышается доступность фосфора фосфоритной муки для растений. Установлено, что уже через месяц после начала такого компостирования от 30 до 60% P_2O_5 фосфоритной муки переходит в легкоусвояемую для растений форму.

Для компостирования с фосфоритной мукой более пригоден кислый торф, но не содержащий подвижного алюминия. На каждую тонну торфа при влажности 65...70% требуется 10...30 кг фосфоритной муки. Фосфоритную муку добавляют к торфу во время укладки штабелей или непосредственно на осушенном торфянике при послойно-поверхностной его обработке. Срок созревания торфо-фосфоритных компостов 2...3 месяца.

Торфо-фосфоритные компосты эффективны на всех почвах, но особенно на тех, где фосфоритная мука в чистом виде оказывает слабое положительное действие (песчаные и супесчаные почвы, известкованные дерново-подзолистые или нейтральные и щелочные почвы).

Торфо-известковые и торфо-фосфоритные компосты лучше применять в сочетании с азотными минеральными удобрениями, так как в

первый год их внесения они еще не смогут удовлетворять потребность растений в доступном азоте.

Обогащенные компосты торфа. При их изготовлении берут повышенную дозу фосфоритной муки и добавляют аммиачную селитру. На каждые 100 кг абсолютно сухого торфа берут 30 кг фосфоритной муки и 8 кг аммиачной селитры, этим доводят содержание общего фосфора в нем до 6...7,5% и общего азота до 4...5%. При влажности торфа около 75% на каждую его тонну берут фосфоритной муки около 75 кг, а аммиачной селитры 20 кг (при доведении в составе органического удобрения фосфора до 1,5...2% и азота до 1%). Обогащенные компосты созревают в течение 1—$1^1/_2$ месяцев.

Торфо-минерально-аммиачные удобрения (ТМАУ) готовят насыщением торфа аммиачной водой (из расчета по 0,7 гидролитической кислотности низинного и по одинарной гидролитической кислотности верхового торфа) с одновременным добавлением фосфорных и калийных удобрений. Для этой цели больше подходит торф с зольностью не выше 25%, влажностью 55...65% и со степенью разложения 15...20 (для низинного) или 20...25% (для верхового) торфа. В состав ТМАУ вводят из расчета на 1 т сухого верхового торфа 30...35 кг фосфорных удобрений (фосфоритную муку или смесь суперфосфата и фосфоритной муки в равных долях), 10...12 кг хлористого калия (или соответствующее количество другого калийного удобрения) и 30...35 л 25%-ного водного аммиака. При использовании низинного торфа количество фосфорных удобрений снижают до 20...25 кг, хлористого калия — до 6...8 кг и аммиачной воды — до 20...25 л.

Компостирование торфа на осушенных торфяниках. На торфяных болотах вблизи удобряемых полей лучше всего компостировать торф на месте его залегания. Это значительно сокращает затраты труда на перевозки и снижает себестоимость компостов. Сущность такого компостирования заключается в том, что обработка и рыхление поверхности торфяника сочетаются с внесением фосфоритной муки, извести, навоза, навозной жижи или фекалий с последующим сгребанием полученной торфяной смеси в штабель. В некоторых случаях обработку поверхности торфяника совмещают с возделыванием здесь бобовых растений, запашкой всей выращенной массы или только пожнивных остатков и сгребанием торфо-растительной массы в штабель.

Весь процесс приготовления компоста на торфяниках, включая осушительные работы, складывается из следующих последовательно проводимых операций:

осушение болота путем нарезки канав гусеничными экскаваторами, канавокопателями и другими машинами;

удаление кустарников, пней и лесной поросли кусторезами, корчевателями-собирателями и кустарниковыми граблями;

вспашка осушенного и очищенного от пней и кустарника болота тракторным плугом на глубину 25...30 см и боронование (один или несколько раз);

разбрасывание навоза, фекалий, фосфоритной муки или других компонентов компоста в дозах, рассчитанных на один цикл сбора (верхнего 5...10-сантиметрового слоя) торфа;

заделка удобрений дисковой бороной и многократное перемешивание верхнего слоя торфяника культиваторами с доведением влажности этого слоя до 60%;

сбор торфяной смеси верхнего осушенного слоя в валы, а затем в штабеля бульдозером.

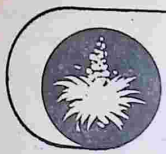
На торфяниках можно готовить все описанные выше торфяные, а также торфо-растительные компосты. При расчетах количества приготовляемого компоста исходят из того, что при глубине сгребаемого слоя торфа 20 см и массе 1 м³ торфа около 400 кг каждый гектар разрабатываемой площади дает за сезон около 800 т торфа. Нормы внесения органических и минеральных удобрений на торфянике определяют на основании этого расчета.

Торфо-растительные компосты. Торфо-растительными называют компосты, приготовленные путем выращивания на торфяниках бобовых растений с последующей их запашкой. Запахивают или всю выращенную массу (например алкалоидный люпин) или только корневые и пожнивные остатки после использования надземной массы на корм (кормовые люпины или другие бобовые). В первом случае получают торфо-сидеральный компост. При таком компостировании торф обогащается свежей легкоразлагающейся растительной массой, а также фосфором и калием, которые вносят в повышенных нормах перед посевом бобовых. Под посев бобовых осушенный торфяник распахивают с осени. Если торф кислый, то под вспашку вносят известь из расчета по 0,5 гидролитической кислотности. Весной под дискование вносят на 1 га 1...2 т фосфоритной муки и 3...4 ц хлористого калия. После прикатывания участка тяжелым катком высевают семена бобовых, обработанные нитрагином.

При выращивании бобовых на корм надземную массу стравливают скоту или скашивают, а затем вспахивают участок.

При выращивании сидератов растительную массу в фазе цветения прикатывают, измельчают и запахивают на глубину 15 см. Через 15...20 дней после запашки поверхность торфяника дискуют и торфо-растительную смесь сгребают в валы высотой 1,5...2 м и выдерживают 1...2 месяца.

Торфо-растительные компосты по эффективности на уступают полуперепревшему навозу, их применяют в тех же нормах, что и навоз.



ЗЕЛЕНОЕ УДОБРЕНИЕ

Зеленое удобрение — свежая растительная масса, запахиваемая в почву для обогащения ее органическим веществом и азотом. Часто этот прием называют сидерацией, а растения, выращиваемые на удобрение, — сидератами. В качестве сидератов преимущественно возделывают бобовые растения (люпин, сераделла, донник, озимая вика, астрагал, чина, эспарцет и т. д.).

В некоторых случаях на зеленое удобрение используют небобовые культуры (горчица, гречиха) или смеси бобовых со злаковыми. Однако азот в почве в значительном количестве накапливается лишь при выращивании и запашке бобовых растений.

Значение зеленого удобрения. Зеленое удобрение, как и любое другое органическое удобрение, оказывает многостороннее положительное действие на свойства почвы и на урожай сельскохозяйственных культур.

Зеленое удобрение прежде всего обогащает почву органическим веществом и азотом. Нередко в зависимости от условий его применения на гектаре пашни запахивают 35...45 т сырой органической массы, содержащей 150...200 кг азота, фиксированного из воздуха клубеньковыми бактериями (при посеве бобовых сидератов).

При внесении зеленого удобрения в пахотном слое почвы накапливаются как азот, так и другие питательные вещества. Все зольные элементы в составе зеленого удобрения извлекаются корнями бобовых сидератов во время их вегетации не только из пахотного слоя, но и из более глубоких горизонтов почвы. Происходит как бы перекачка зольных элементов из нижних слоев почвы в верхние. В зеленой массе сидератов находится примерно такое же количество (или даже большее) азота, как и в навозе; фосфора и калия в ней меньше (табл. 130).

130. Содержание (в %) основных питательных веществ в зеленой массе сидератов и в навозе (данные Е. К. Алексеева)

Удобрение	N	P_2O_5	K_2O	CaO
Навоз смешанный (плотного хранения)	0,50	0,24	0,55	0,70
Зеленая масса люпина	0,45	0,10	0,17	0,47
Зеленая масса донника	0,77	0,05	0,19	0,97

Недостаток зеленого удобрения, связанный с малым содержанием фосфора и калия, можно устранить внесением фосфорных и калийных удобрений непосредственно под сидераты или при их запашке.

Коэффициент использования растениями азота зеленого удобрения (в первый год действия) почти вдвое больше, чем азота навоза. При запашке зеленого удобрения полностью исключаются потери накопленного в нем азота, тогда как при хранении, перевозке и заделке навоза в почву очень трудно избежать потерь азота. Зеленое удобрение в почве разлагается значительно быстрее, чем другие органические удобрения, богатые клетчаткой.

Зеленое удобрение, как и другие органические удобрения, запаханные в почву, несколько снижает ее кислотность, уменьшает подвижность алюминия, повышает буферность, емкость поглощения, влагоемкость, водопроницаемость, улучшает структуру почвы. Зеленое удобрение резко улучшает жизнедеятельность почвенных микроорганизмов. Микробиологические процессы в почве значительно усиливаются еще в период роста и развития сидератов. Именно в это время наблюдается повышенная деятельность клубеньковых бактерий. Еще лучшие условия для почвенной микрофлоры создаются после запашки зеленого удобрения.

При разложении запаханного зеленого удобрения почвенный и надпочвенный воздух обогащается угольной кислотой.

Зеленое удобрение — важное средство повышения плодородия малоокультуренных (особенно песчаных и супесчаных) почв. Применять его необходимо в первую очередь в тех районах, где ощущается острый недостаток органических удобрений, или там, где затруднена их перевозка. Запашка сидератов на месте выращивания исключает их транспортировку. Это дает возможность успешно использовать зеленое удобрение в сочетании с минеральными для окультуривания почвы отдаленных участков полей или горных склонов, а такие малотранспортабельные органические удобрения, как навоз, торф и компосты, применять в более высоких нормах на ближайших полях (в первую очередь в прифермских и овощных севооборотах) и тем резко уменьшить расходы, связанные с перевозкой органических удобрений.

ПРИЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ СИДЕРАТОВ И ФОРМЫ ЗЕЛЕНОГО УДОБРЕНИЯ

В зависимости от того, возделываются ли сидераты в чистом виде или в смеси с другими культурами, различают *самостоятельные* и *уплотненные* (или *смешанные*) посевы сидератов.

При самостоятельном посеве сидераты занимают поле один-два сезона или даже несколько лет. Часто сидераты на поле находятся сравнительно короткий промежуток времени, например в некоторых районах субтропиков—в период после снятия урожая одной культуры до посева другой. Такие посевы сидератов называют вставочными или промежуточными.

Уплотненные посевы сидератов — прием совместного выращивания на одной площади какой-либо основной полевой культуры и сидерата

или сидерата в междурядьях другого растения. Это позволяет получать значительное количество зеленой массы сидерата еще во время роста и развития основной полевой культуры. Растения на зеленое удобрение при этом запахивают сразу или вскоре после уборки основной культуры.

В зависимости от того, занимают ли сидераты весь участок или только часть его в виде отдельных полос, различают сплошную и кулисную культуру растений на зеленое удобрение.

При кулисной культуре на участке чередуют полосы различной ширины, занятые и не занятые сидератами, зеленую массу которых используют на удобрения на соседней полосе. Пример кулисной культуры — возделывание сидератов в междурядьях сада, чайных и цитрусовых плантаций. Кулисную культуру сидератов применяют также на горных склонах (полосы поперек склона) для борьбы с эрозией почвы (многолетний люпин, астрагал, люцерна, клевер и т. д.). Иногда участок засевают сидератами сплошь, а затем делают кулисы. Например, при окультуривании песчаных почв Нечерноземной зоны участок первые несколько лет сплошь занимают многолетним люпином, а затем распахивают так, чтобы запаханные полосы чередовались с незапаханными. Запаханные полосы в течение ряда последующих лет отводят под продовольственные и кормовые культуры и удобряют их укосной массой люпина с оставленных полос.

В зависимости от посева сидератов, до уборки или после уборки основной предшествующей продовольственной культуры, различают *подсевную* и *пожнивную* культуру сидератов. В первом случае подсевают сидераты (люпин, донник, сераделлу и т. д.) под предшествующую основную продовольственную культуру, во втором сеют растения на зеленое удобрение (однолетний люпин, горох и т. д.) непосредственно после ее уборки.

В районах, где период между уборкой предшественника сидерата до посева следующей основной (удобряемой) культуры очень короткий и за это время трудно вырастить достаточное количество зеленой массы, или там, где климатические условия после уборки основной культуры неблагоприятны для развития сидерата в начале вегетации, лучше использовать подсевной способ его возделывания. В районах с теплой влажной и длинной осенью хорошие результаты дают и пожнивные сидераты, предназначенные для удобрения сахарной свеклы, кормовых корнеплодов, кукурузы, пшеницы.

В орошаемых районах Средней Азии, во влажных субтропиках Черноморского побережья Закавказья распространены осенние, или подзимние, культуры сидератов. Сеют их в сентябре — октябре, а запахивают весной следующего года. В зависимости от условий осенняя или подзимняя культура сидератов бывает как подсевная, так и пожнивная.

Разнообразны также и способы использования выращенной зеленой массы сидератов. На зеленое удобрение применяют или всю растительную массу (как надземную, так и корни), или же только ее определенную часть.

По этому признаку различают три основные формы зеленого удоб-

рения: полное зеленое удобрение, укосное зеленое удобрение и отавное зеленое удобрение.

Полным зеленое удобрение называют тогда, когда запахивают всю выращенную растительную массу.

Укосным зеленое удобрение называют в том случае, если заделывают в почву лишь надземную массу сидерата, выращенную на другом участке и перевезенную с него после ее скашивания.

Отавным зеленое удобрение называют тогда, когда запахивают стерневые и корневые остатки растений после некоторого отрастания отавы (например, запашка стерневых остатков с отрастающей отавой после скашивания и использования зеленой массы многолетнего люпина, однолетнего кормового люпина, сераделлы, донника, клевера или других бобовых).

РАЙОНЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЗЕЛЕНОГО УДОБРЕНИЯ

Наиболее обширной зоной, где зеленое удобрение дает хорошие результаты, является Нечерноземная зона с дерново-подзолистыми почвами, бедными гумусом и подвижными питательными веществами. Роль зеленого удобрения в этой зоне особенно велика в окультуривании песчаных и супесчаных почв. В европейской части Нечерноземной зоны могут найти широкое применение все основные формы зеленого удобрения (полное, укосное, отавное или комбинированное) при самостоятельной или смешанной подсевной или пожнивной культуре сидератов (преимущественно люпинов).

В Сибири с успехом могут быть использованы самостоятельное зеленое удобрение из однолетнего и многолетнего люпина (на дерново-подзолистых почвах) или донник (на солонцеватых и слабощелочных почвах).

Зеленое удобрение приобретает важное значение также в районах Дальнего Востока, отличающихся обилием тепла и влаги, но с почвами, бедными гумусом. В этих районах в качестве сидератов заслуживает большого внимания люпин однолетний (узколистный) и многолетний.

При поливном земледелии сравнительно ранняя весна и поздняя осень, обилие тепла и света, искусственное орошение создают благоприятные условия для выращивания за короткий срок высоких урожаев растительной массы сидератов и последующего использования их на зеленое удобрение.

В районах поливного хлопководства (Средняя Азия и Закавказье) почвы (преимущественно сероземы) отличаются малым содержанием гумуса и в связи с этим большой потребностью в органических удобрениях. Однако возможности их накопления ограничены. Сидератами служат здесь озимый горох (для подзимнего посева в августе—сентябре или пожнивного посева в июле — августе), озимая вика и инкарнатный клевер (для подзимнего посева в междурядьях хлопчатника в августе), чина, маш, коровий горох.

В районах орошаемого земледелия (Поволжье, Ростовская область, Краснодарский край, Крымская область и юг Украины) в ка-

честве сидератов можно выращивать донник белый однолетний, вику, чину, тригонеллу.

По данным Ершовского опытного поля (Саратовская область), на темно-каштановых почвах и южных черноземах лучшими сидератами являются тригонелла, вико-овсяная смесь, а из подсевных сидератов — донник белый однолетний.

Сидераты в районах орошаемого земледелия целесообразно высевать непосредственно после уборки других растений (пожнивные сидераты) или же подсевать весной под покровную культуру, например под яровую пшеницу (подсевные сидераты). В первом случае сидераты (вико-овсяная смесь, чина или тригонелла) сеют после уборки ранних культур и после полива участка, а запахивают осенью или рано весной. Во втором случае сидераты (например, подсевной донник) продолжают расти на том же участке после уборки покровной культуры и их зеленую массу запахивают осенью.

ПРИЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ СИДЕРАТОВ

К наиболее распространенным сидератам относятся люпин, сераделла и донник.

Люпин. В Нечерноземной зоне выращивают как однолетний, так и многолетний люпин с различным содержанием алкалоидов. Алкалоидный люпин возделывают лишь на удобрение, тогда как безалкалоидный используют комбинированно: надземную часть на корм, а корни с пожнивными остатками на удобрение. Основные районы возделывания люпина: Белоруссия, Украина и Нечерноземная зона РСФСР.

Все виды люпина способны давать большую зеленую массу и накапливать значительное количество азота даже на самых бедных песчаных почвах. Мощно развитая корневая система люпина способна хорошо растворять труднодоступные фосфаты почвы и удобрений. Это дает возможность вносить под люпин фосфоритную муку, фосфор которой становится доступным для всех последующих (высеваемых на этой площади) сельскохозяйственных культур.

Как мощный азотсобиратель, люпин способен обеспечить азотом не только себя, но и злаковую культуру в смешанных посевах. Поэтому такие посевы не нуждаются в азотных удобрениях, но хорошо реагируют на внесение фосфорных и калийных. Применение фосфорных удобрений под люпин имеет особенно большое значение в начале его роста на известкованных почвах, когда слаборазвитая корневая система люпина еще не в состоянии полностью обеспечить потребность в фосфоре за счет почвенных фосфатов. Фосфорные и калийные удобрения вносят под люпин до посева.

В отличие от других бобовых растений люпин хорошо растет на кислых почвах. В ряде случаев однолетний люпин плохо переносит известкование. Многолетний люпин отрицательно реагирует на известкование лишь в самом начале развития. Исследования показали, что одна из причин угнетения люпина на свежеизвесткованных почвах — ухудшение условий фосфатного питания в первый период веге-

тации. Внесенная в кислую почву известь мешает люпину усваивать фосфор труднорастворимых фосфатов почвы и удобрения. Фосфор фосфоритной муки при совместной заделке ее с известью в первые месяцы развития люпина плохо им используется или вовсе не усваивается.

Следовательно, при возделывании люпина на свежеизвесткованных почвах лучше применять в качестве фосфорного удобрения гранулированный суперфосфат, хотя бы в малых нормах при посеве. В остальных случаях главным фосфорным удобрением для всех видов люпина должна быть фосфоритная мука.

Чтобы окультурить дерново-подзолистые почвы, известь и фосфоритную муку вносят под люпин одновременно, но в разные слои пахотного горизонта: известь глубже, под вспашку плугом с предплужником, а фосфоритную муку помельче, под предпосевную культивацию.

Такое послойное внесение под люпин извести и фосфоритной муки, а также применение калийных удобрений и последующая запашка сидерата способствуют одновременному обогащению почвы органическим веществом, азотом, фосфором, калием и кальцием и устранению избыточной почвенной кислотности. Все это создает хорошие условия для выращивания высоких урожаев зерновых и пропашных культур даже на самых малоплодородных песчаных и супесчаных кислых дерново-подзолистых почвах.

Однолетний алкалоидный люпин. Для северной части Нечерноземной зоны в качестве сидератов наиболее подходят люпин синий узколистный (Lupinus angustifolius) и люпин желтый (Lupinus luteus).

Выращивают однолетний люпин как в чистом виде, так и в смешанных посевах. Возделывают его в пару для удобрения озимых зерновых хлебов или же на полях после раннеспелых культур (в виде пожнивной или подсевной культуры) для запашки под яровые (под зябь).

Однолетний люпин лучше всего запахивать в период образования блестящих бобиков на главном стебле. Именно к этому времени он накапливает максимальное количество азота. При более поздней запашке удобрительная ценность сидерата уменьшается вследствие увеличения содержания клетчатки. Сидерат в пару запахивают не позднее чем за 2...3 недели до посева озимых. За указанное время почва оседает, и тем предотвращается обнажение у посеянных здесь озимых узла кущения после появления всходов.

Перед запашкой люпина (однолетнего и многолетнего) зеленую массу предварительно измельчают дисковыми орудиями, перед посевом озимых поле прикатывают.

Многолетний люпин (Lupinus polyphyllus) благодаря холодостойкости вызревает даже на севере. В первый год жизни не цветет, а образует прикорневую розетку с 10...15 пластинками длинночерешковых пальчатосложных листьев. Массовое цветение и плодоношение его начинаются со второго года жизни. Наибольшее количество зеленой массы многолетний люпин при выращивании без удобрений образует на третий — четвертый год жизни.

При однолетнем использовании многолетний люпин подсевают под овес или ячмень и запахивают на второй год жизни в пару в период

массового цветения или же при появлении зеленых бобиков на нижней части кистей.

Если по люпиновому пару предполагается сеять яровые, то растительную массу первого укоса используют для удобрения соседних полей. Отрастающую после скашивания отаву запахивают на том же месте под зябь.

Запашка многолетнего люпина в пару создает благоприятные условия для развития озимых и следующих за ними культур.

В опытах кафедры агрохимии ТСХА, проведенных на среднесуглинистой дерново-подзолистой почве учхоза «Дубки» (Московская область), при использовании многолетнего люпина в пару были получены следующие урожаи (в центнерах с 1 га) озимой ржи (прямое действие зеленого удобрения) и горохо-овсяной смеси (последействие):

	Рожь (зерно)	Горохо-овсяная смесь (сено)
Без удобрения	20,5	28,1
Навоз 35 т на 1 га	38,1	37,3
Зеленая масса многолетнего люпина 35 т на 1 га	38,8	35,1

Под посев многолетнего люпина отводят участки не только в севообороте, но и запольные (выводные поля), склоны оврагов, пустоши, междурядья в плодовых садах и лесных питомниках. На этих участках многолетний люпин иногда оставляют на 6...8 лет и больше, используя его укосную массу на удобрение соседних полей (первый укос — под озимые, второй — под яровые) или же для внесения в приствольные круги в садах.

Однолетний кормовой люпин возделывают для получения дешевого высокобелкового корма и повышения плодородия почв. Желтый кормовой люпин отличается высокой урожайностью, высоким кормовым достоинством, а его стерневые и корневые остатки — хорошим удобрительным качеством.

В районах Нечерноземной зоны наиболее перспективно выращивать и использовать кормовой люпин в занятых парах; укосная масса его при этом идет на зеленый корм или на силос, а отава — на удобрение под озимые. Скашивать кормовой люпин лучше всего в период цветения. В Полесье и западных районах УССР перспективны также смешанные посевы кормового люпина с овсом, кукурузой или озимыми на зеленый корм. Оптимальный срок подсева под кукурузу — первая половина июня, когда основная культура достигает высоты 20...25 см и уже проведена двукратная междурядная обработка.

Лучшие сроки сева кормового люпина (при самостоятельной культуре) спустя 5...6 дней после начала посева ранних яровых культур.

При возделывании кормового люпина на корм и зеленое удобрение скашивают надземную массу в фазе бутонизации или цветения на высоту 8...10 см. Это обеспечивает хорошее отрастание отавы. При более низких срезах, под данным Научно-исследовательского института кормов, в условиях Подмосковья отава плохо отрастает. На зеленый корм и на силос его косят в период от фазы цветения до образования бобиков.

Сераделла (Ornithopus sativus Broth). Однолетнее бобовое растение. В чистом виде ее возделывают в поле яровых культур и в паровых полях. На зеленое удобрение в зависимости от условий используют всю растительную массу (полное зеленое удобрение), укосную массу или только отрастающую отаву. Большой интерес представляет комплексное возделывание сераделлы: укосная масса — на корм, а отрастающая отава — на удобрение.

Сераделла — влаголюбивое растение, предпочитает легкие почвы со слабокислой реакцией (pH солевой вытяжки 5...5,5). Для нее менее пригодны тяжелые глинистые, сильнокислые и щелочные почвы. В первые 4. . .6 недель у сераделлы преимущественно развивается корневая система и очень медленно растет надземная масса. На песчаных и супесчаных почвах она хорошо реагирует на внесение калийных удобрений, особенно содержащих магний. Сераделла хорошо использует фосфор фосфоритной муки.

На более влажных почвах сераделлу возделывают как подсевную культуру. Ее подсевают рано весной под озимые или под яровые после посева. При недостатке в почве влаги подсевная культура сераделлы не удается. После уборки покровного растения сераделла развивается до глубокой осени и может быть использована на корм (укосная масса) и на зеленое удобрение (вся масса или только отава).

Донник очень хорошо растет на нейтральных, богатых кальцием почвах. На известкованных дерново-подзолистых почвах он дает более высокие урожаи зеленой массы и семян, чем однолетний и многолетний люпин.

Донник бывает однолетний и двулетний, белый (Melilotus albus) и желтый (Melilotus officinalis). Белый донник более урожайный, но желтый раньше созревает. Корневая система донника развита сильнее, чем у всех остальных бобовых сидератов. Благодаря этому он отличается высокой засухоустойчивостью и высоким удобрительным качеством даже при сравнительно слаборазвитой зеленой массе. Донник используют как на корм, так и на зеленое удобрение, хотя повышенное содержание кумарина в нем несколько снижает его кормовое достоинство. Имеются сорта, не содержащие кумарина.

На зеленое удобрение лучше возделывать двулетний донник. Формы использования донника самые разнообразные:

возделывание в качестве парозанимающей самостоятельной культуры для запашки под озимые;

комплексное — скашивание надземной массы в начале цветения на корм и запахивание отрастающей отавы на удобрение;

применение зеленой массы первого укоса на удобрение и отрастающей отавы или массы второго укоса на корм;

использование растительной массы первого укоса на корм, а второго на удобрение. В отличие от однолетнего кормового люпина и сераделлы донник быстрее зацветает, это позволяет раньше его скашивать и раньше запахивать отаву на удобрение.

Первый раз надземную массу донника скашивают до цветения или в крайнем случае в начале его. При более поздних укосах стебли очень быстро грубеют, снижается их кормовое и удобрительное качество (зе-

леная масса в почве медленно разлагается при большом связывании ее минерального азота). Отаву на зеленое удобрение запахивают осенью или ранней весной.

УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕЛЕНОГО УДОБРЕНИЯ

Эффективность зеленого удобрения зависит от урожая сидерата. Чем он выше и чем большая масса запахана в почву, тем сильнее действие и последействие зеленого удобрения.

Срок запашки сидератов связан с рядом условий. Если в почве подвижного азота недостаточно для первого периода питания удобряемой культуры, то зеленое удобрение запахивают раньше (необходимо достаточное время для его разложения). При опасности иссушения почвы нельзя запаздывать с запашкой зеленого удобрения. При слишком поздней запашке сидерата нередко почва оседает после появления всходов озимых, у них обнажается узел кущения и снижается зимостойкость.

Скорость разложения запаханного сидерата зависит от глубины заделки, возраста сидерата, механического состава и влажности почвы. Чем больше глубина заделки и старше растения (более огрубевшие стебли), тяжелее механический состав почвы, тем медленнее разлагается в ней масса сидерата, и наоборот. Чтобы несколько замедлить разложение зеленого удобрения в почве, применяют более позднюю (ближе к посеву удобряемой культуры) и более глубокую запашку его, а в целях ускорения разложения — менее глубокую заделку и более ранние сроки запашки зеленой массы. Использование в качестве сидерата смесей бобовых и злаковых культур или запашка вместе с бобовыми сидератами более инертных, медленно разлагающихся материалов (торф, солома, камыш и т. д.) замедляют разложение зеленого удобрения в почве; добавление к зеленому удобрению небольших доз конского навоза или фекалий (для обогащения микроорганизмами) ускоряет разложение.

При возделывании бобовых (кормовых, зерновых или сидеральных) культур обычно ограничиваются внесением в почву фосфорно-калийных удобрений. Потребность бобовых в азотном питании должна быть удовлетворена в основном за счет деятельности клубеньковых бактерий. Один из важных приемов усиления фиксации азота бобовыми — применение бактериального препарата нитрагина, содержащего активные расы клубеньковых бактерий. Эти бактерии специфичны: отдельные виды или расы их способны образовать клубеньки на корнях клевера, но не могут заражать корни гороха, люцерны, люпина и других бобовых. Группы бактерий, которые образуют клубеньки на корнях люпина и сераделлы, не заражают корни клевера и гороха и т. д.

Расы клубеньковых бактерий различаются также по вирулентности и активности. Вирулентность — способность клубеньковых бактерий проникать через корневые волоски в корень бобового растения и образовывать клубеньки. Если вирулентность клубеньковых бактерий нитрагина выше вирулентности находящихся в почве менее активных бактерий, то клубеньковые бактерии нитрагина проникают в корень быстрее и в большем количестве. Активность — способность клубень-

ковых бактерий к усвоению азота атмосферы. Только активные штаммы этих бактерий снабжают бобовые растения азотом, неактивные даже угнетают растение-хозяина. Клубеньковые бактерии, используемые для приготовления нитрагина, должны обладать большой вирулентностью и высокой активностью.

В старопахотных окультуренных почвах, на которых часто возделывают бобовые растения, активных клубеньковых бактерий достаточно и на корнях бобовых даже без внесения нитрагина появляется много клубеньков. Однако при посеве бобовых там, где их раньше не выращивали, клубеньки на корнях (без заражения нитрагином) не образуются. На кислых почвах клубеньковые бактерии быстро переходят в малоактивную форму. В болотных же почвах они совсем отсутствуют. Следовательно, на этих почвах нитрагин целесообразно применять при каждом новом посеве бобовых. При известковании кислых почв, применении органических, фосфорно-калийных и микроудобрений (бор, молибден), увеличении влажности почвы до оптимальной активность и вирулентность повышаются, а при внесении азотных минеральных удобрений снижаются.

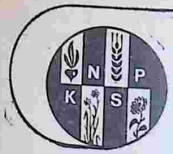
Одной бутылки (500 г) заводского нитрагина достаточно для заражения около гектара посева бобовых. Нитрагин сохраняется 9 месяцев со дня изготовления. При более длительном хранении активность клубеньковых бактерий сильно снижается. Хранят нитрагин в сухом и прохладном помещении при температуре от 0 до 10°С. В сыром помещении образуются плесени, среди которых много антагонистов клубеньковых бактерий. При попеременном замораживании и оттаивании препарата количество активных бактерий в нем также уменьшается.

Нельзя хранить нитрагин в одном помещении с летучими ядохимикатами, так как пары их убивают бактерии.

Вносят нитрагин в почву с семенами бобовых. Для этого в день посева необходимое количество препарата помещают в чистую посуду (ведро), наливают в нее чистую воду из расчета два стакана на каждые 10 кг мелких семян (клевера, люцерны, донника, сераделлы) или же один стакан на каждые 20 кг крупных семян (гороха, люпина, кормовых бобов, фасоли, сои и т. д.). Затем деревянной палочкой нитрагин перемешивают с водой 3...5 мин и, не давая болтушке отстаиваться, равномерно смачивают семена, рассыпанные ровным слоем на чистом деревянном полу или брезенте. Семена перелопачивают до тех пор, пока все они будут равномерно увлажнены. Как только семена обсохнут, их насыпают в мешки и отправляют к месту посева. В один прием нитрагином обрабатывают лишь ту часть семян, которая будет высеяна в течение дня.

В той же порции воды, которую используют для изготовления болтушки нитрагина, предварительно можно растворить молибденовое микроудобрение из расчета 25...50 г Мо на гектарную норму семян.

При одновременной необходимости нитрагинизации и протравливания семян формалином сначала семена протравливают, а затем хорошо проветривают и высушивают и лишь после этого инокулируют. Семена, протравленные гранозаном, обрабатывают нитрагином (как и другими бактериальными препаратами) только в день посева.



СИСТЕМА ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

ЗАДАЧИ СИСТЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Рациональная система удобрения, отвечающая природным и организационно-экономическим условиям хозяйства, является ведущим фактором повышения урожая и улучшения его качества, роста почвенного плодородия или его сохранения. Систему удобрения в процессе ее развития можно подразделить на два этапа:

1) составление документа-рекомендации по применению удобрений с экономическим обоснованием;

2) реализация этого документа на практике, на полях данного совхоза или колхоза.

На первом этапе систему удобрения в севообороте можно назвать планом применения органических и минеральных удобрений, в котором предусматриваются их виды, нормы, время внесения и способы заделки под отдельные культуры в зависимости от почвенно-климатических и других условий. Составить такой план в хозяйстве должен специалист — агроном по удобрениям. Для этого необходимо иметь контрольные цифры из организационно-хозяйственного плана по динамике урожайности сельскохозяйственных культур за предшествующие 3...5 лет и на перспективу, севообороты (или хотя бы реально возможное чередование культур по полям), агрохимические картограммы, почвенную карту и план накопления органических удобрений. Часто такой документ разрабатывается для хозяйства научно-исследовательским учреждением.

Особое значение имеет реализация плана применения удобрений на практике, на полях совхоза или колхоза. На этом этапе необходимо осуществить комплекс организационных и агротехнических мероприятий. Систему удобрения нельзя рассматривать в отрыве от всего организационного комплекса хозяйства.

Таким образом, система удобрения в севооборотах хозяйства — это организационно-хозяйственный, агрохимический и агротехнический комплекс мероприятий, направленных на выполнение научно обоснованного плана применения удобрений, в котором предусматриваются виды, нормы удобрений, сроки их внесения и способы заделки под сельскохозяйственные культуры. Этот план составляется с учетом биологических особенностей культур, величины планируемого урожая, почвенно-климатических условий, последействия удобрений, особенностей каждого поля, баланса питательных веществ за севооборот, влияния удобрений на качество урожая и повышение (или сохранение) плодоро-

дия почвы. Обязательное условие системы удобрения — ее экономическая эффективность. Система удобрения рассчитана на планомерное применение удобрений на каждом поле в течение длительного периода времени.

Система применения удобрений ставит перед собой следующие основные задачи.

1. Увеличение урожая сельскохозяйственных культур и получение продукции высокого качества.

2. Повышение и постепенное выравнивание плодородия полей, а в некоторых случаях сохранение существующего их плодородия.

3. Эффективное использование удобрений, повышение темпа интенсификации земледелия и охрана окружающей среды.

В хозяйствах в зависимости от их специализации и удаленности полей севооборотов от животноводческих ферм или промышленно-животноводческих комплексов могут складываться три типа системы удобрений: 1) навозно-минеральная или комбинированная; 2) минеральная, или безнавозная, основанная на применении одних минеральных удобрений; 3) навозная, характерная прежде всего для хозяйств промышленно-животноводческого направления и предусматривающая утилизацию бесподстилочного навоза от комплексов.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УДОБРЕНИЯХ

Поступление питательных веществ в растения в различные периоды роста. Поступление элементов питания в растение существенно изменяется с возрастом. В процессе питания растений выделяют критический и максимальный периоды поступления того или иного питательного элемента. Под первым понимается такой период, когда недостаток какого-либо элемента в питательной среде особенно отрицательно сказывается на росте растений и последующее обеспечение их этим элементом не в состоянии полностью исправить положения.

Исследованиями показано, что в отношении фосфора и азота критическим периодом для сельскохозяйственных культур являются первые 10...15 дней после появления всходов. Резкий недостаток калия в начальные фазы развития растений также значительно снижает урожай, но существенно выправить урожайность. Недостаток же фосфора или азота в этот период не может быть возмещен в последующем.

В полевых условиях критический период в отношении минерального питания обычно совпадает с пониженной активностью микроорганизмов, минерализующих органическое вещество почвы. Это проявляется ранней весной, когда низкая температура тормозит микробиологическую деятельность почвы.

Максимальным в питании растений называется период, когда среднесуточное потребление элемента питания достигает своего максимума. Этот период соответствует более поздним фазам развития растений. В большинстве случаев он совпадает с периодом наибольшего накопле-

ния сухой биомассы, хотя в этом и не отмечается строго прямой пропорциональности. Так, у молодых растений поступление питательных веществ всегда существенно опережает накопление сухой массы. Поэтому в молодом возрасте растения содержат больше азота, фосфора, калия и других элементов питания на единицу сухого вещества, чем в более поздние периоды развития.

У ряда растений период питания значительно короче периода вегетации (конопля, лен и большинство злаковых культур). У других он растянут и почти совпадает с периодом вегетации растений (сахарная свекла, картофель, капуста и др.). Питание растений с учетом их биологических особенностей можно регулировать по периодам роста, что позволяет формировать величину и качество урожая. Периодичность питания растений явилась теоретическим обоснованием дробного внесения удобрений (в разные слои почвы и в различные сроки). При внесении удобрений в один прием и в один слой почвы не всегда можно добиться полного использования потенциальных возможностей удобрений. Вот почему правильная система питания растений в полевых условиях предусматривает сочетание основного удобрения (на глубину 15...25 см), припосевного (на глубину 3...10 см) и иногда корневых и некорневых подкормок.

Вынос питательных веществ урожаем сельскохозяйственных культур. Из одной и той же почвы различные растения потребляют не только разные количества питательных элементов, но и в различном соотношении. Помимо видовых и сортовых особенностей растений, в поглощении питательных веществ имеют большое значение почвенно-климатические условия. Данные о потребности культур в питательных веществах выражают либо их выносом с общим урожаем, либо на единицу урожая основной продукции с учетом соответствующего количества побочной части урожая (солома, ботва). Накопление элементов минерального питания в растении достигает максимума в начале созревания. Это соответствует понятию «потребность растений в питательных веществах». В конечные фазы развития имеют место некоторые потери элементов питания в результате опадения листьев, оттока веществ из корневой системы в почву. Следует отличать биологический вынос питательных элементов от хозяйственного.

Биологический вынос — это такое количество питательных веществ, которое потребляется растениями для создания биологической массы данного урожая (зерно + солома + пожнивно-корневые остатки, в том числе и питательные вещества, частично возвращенные в почву). Он подразделяется на хозяйственный вынос и остаточный.

Хозяйственный вынос представляет собой ту часть питательных веществ, которая содержится в товарной продукции, увозимой с поля при уборке (например, зерно и солома, корнеплоды и ботва). Если нетоварную часть урожая (солому или ботву) оставляют на поле, то питательные вещества, содержащиеся в ней, не учитывают в хозяйственном выносе.

Остаточная часть выноса включает питательные вещества, остающиеся на поле в виде пожнивно-корневых остатков, опавших листьев, потерь зерна, а также некоторое количество элементов питания, перешед-

131. Примерное содержание N, P_2O_5 и K_2O в хозяйственной части урожая сельскохозяйственных культур (в % от биологического выноса) (по данным ряда авторов)

Культура	N	P_2O_5	K_2O
Многолетние травы (клевер с тимофеевкой)	48	48	52
Клевер 1-го года пользования	40	40	50
Клевер 2-го 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
Томаты	66	72	86
Огурцы	53	60	58
Капуста белокочанная	55	49	38
Лук-репка	67	73	80
Капуста цветная	25	21	27

ших из корней в почву. Исследованиями установлено, что в остаточной части выноса может содержаться значительная доля питательных веществ, использованных в создании урожая (табл. 131).

Следовательно, внесение удобрений в расчете на размеры хозяйственного выноса питательных веществ не отражает полной потребности в них растений. Растению необходимы элементы питания не только для создания хозяйственной части урожая, но и для формирования корневой системы, стебля, листьев, которые остаются на поле. Поскольку остаточная часть выноса остается на поле и оказывает в результате минерализации последействие на другие культуры, в практических целях потребность растений в питательных веществах чаще всего характеризуют хозяйственным выносом в пересчете на 10 ц основной продукции с учетом соответствующего количества побочной.

В практике при определении норм удобрений под сельскохозяйственные культуры обычно используется вынос питательных веществ на 10 ц основной продукции (табл. 132).

Зерновые культуры потребляют питательные вещества в соотношении ($N : P_2O_5 : K_2O$) 2,5...3,0 : 1 : 2,2...3,0; силосные 2,1...2,7: 1 : 3,3...3,8; овощные 2,0...2,9 : 1 : 3,0...3,6; картофель, кормовые корнеплоды, сахарная свекла 3,0...3,3: 1 : 4,2...4,7. Следовательно, силосные и овощные культуры используют калий интенсивнее, чем зерновые, но меньше потребляют азота и особенно калия, чем картофель, кормовые корнеплоды и сахарная свекла. Вынос питательных веществ на единицу основной продукции урожая (с учетом побочной) не является постоянной величиной. Он может существенно изменяться (до 1,5 раза и более) в зависимости от почвенно-климатических условий, сорта, величины урожая, уровня вносимых удобрений, орошения. Вынос питательных веществ на единицу основной продукции, как правило, увеличивается при внесении удобрений. Прежде всего это каса-

132. Примерный вынос N, P_2O_5 и K_2O на единицу урожая некоторых культур (по данным ряда авторов)

Культура	Основная продукция	Вынос (в кг) на 10 ц основной продукции с учетом побочной			Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$
		N	P_2O_5	K_2O	
Пшеница озимая	Зерно	35	12	25	3,0:1:2,2
Рожь озимая	»	30	12	28	2,5:1:2,3
Пшеница яровая	»	38	12	25	3,2:1:2,1
Ячмень	»	27	11	24	2,5:1:2,2
Кукуруза	»	34	12	37	2,8:1:3,0
Овес	»	30	13	29	2,3:1:2,3
Просо	»	33	10	34	3,3:1:3,4
Гречиха	»	30	15	40	2,0:1:2,7
Горох	»	30 *	15	20	2,0:1:1,3
Вика	»	30 *	14	16	2,1:1:1,1
Подсолнечник	Семена	60	26	180	2,3:1:7,0
Лен-долгунец	Волокно	80	40	70	2,0:1:1,8
	Солома	15	7	12	2,1:1:1,7
Конопля	Волокно	200	60	100	3,3:1:1,7
Хлопчатник	Хлопок-сырец	45	15	50	3,0:1:3,3
Картофель ранний	Клубни	5,0	1,5	7,0	3,3:1:4,7
Картофель поздний	»	6,0	2,0	9,0	3,0:1:4,5
Сахарная свекла	Корни	5,9	1,8	7,5	3,3:1:4,2
Кормовая свекла	Корнеплоды	4,9	1,5	6,7	3,3:1:4,5
Горох с овсом	Зеленая масса	3,5 *	1,4	5,0	2,7:1:3,8
Вика с овсом	То же	3,5*	1,2	4,5	2,9:1:3,8
Кукуруза	» »	3,0	1,2	4,5	2,5:1:3,8
Озимая рожь	» »	3,0	1,2	4,5	2,5:1:3,8
Клевер с тимофеевкой	Сено	14 *	6	20	2,3:1:3,3
Тимофеевка	»	16	7	24	2,3:1:3,4
Вика с овсом	»	15 *	6	20	2,5:1:3,3
Капуста белокочанная	Кочаны	3,4	1,3	4,4	2,6:1:3,4
Морковь столовая	Корнеплоды	3,2	1,2	5,0	2,7:1:4,2
Свекла столовая	»	2,7	1,5	4,3	1,8:1:2,9
Томаты	Плоды	3,2	1,1	4,0	2,9:1:3,6
Огурцы	»	2,8	1,4	4,4	2,0:1:3,1
Лук-репка	Луковица	3,7	1,3	4,0	2,8:1:3,1
Плодовые и ягодные	Плоды и ягоды	5,0	3,0	6,0	1,7:1:2,0
Виноград	Ягоды	1,7	1,4	5,0	1,2:1:3,6
Чай	Сухой лист	50	7	23	7,2:1:3,3

* Азот, используемый из почвы и удобрений без азотфиксации.

ется калия, затем азота и в меньшей степени фосфора. Если доля побочной продукции в урожае повышается, то увеличивается и вынос элементов питания на 10 ц основной продукции (с учетом побочной). Если растение обеспечено питательными веществами, но испытывает неблагоприятное влияние со стороны какого-либо фактора внешней среды или совместного действия ряда факторов, то вынос питательных веществ на единицу основной продукции в этом случае повышается. И наоборот, благоприятное сочетание различных факторов способствует более экономному расходованию питательных веществ на создание урожая.

Использование питательных веществ растениями из почвы. Коэффициент использования растением того или иного элемента питания из почвы показывает долю его потребления по отношению к общему содержанию подвижной формы этого элемента в пахотном слое на 1 га и выражается в процентах (или десятичной дробью):

$$K = \frac{a}{b} \cdot 100,$$

где a — количество элемента питания, вынесенное с урожаем на неудобренной почве с 1 га (в кг); b — содержание подвижной формы элемента питания в пахотном слое на 1 га (в кг).

Содержание элемента питания (в килограммах) в пахотном слое (обычно 0...20 см) на 1 га определяется путем умножения его содержания по картограмме (в миллиграммах на 100 г почвы) на коэффициент пересчета 30. Например, 10 мг P_2O_5 на 100 г почвы $\cdot 30 = 300$ кг P_2O_5 на 1 га.

Коэффициенты использования подвижных форм питательных веществ из почвы могут существенно изменяться не только в силу биологических особенностей разных культур, но и в результате изменения окружающих факторов (плодородие почвы и ее кислотность, погодные условия, уровень агротехники и пр.). Это затрудняет их применение для определения расчетных норм удобрений. Чем выше содержание элемента питания в доступной форме в почве, тем ниже коэффициент его использования растениями. При внесении органических, минеральных удобрений и извести усиливается мобилизация питательных веществ почвы и коэффициенты их использования растениями увеличиваются. Положительное влияние оказывает орошение. В этом случае коэффициенты использования питательных веществ из почвы могут увеличиваться в 1,5...2 раза. Обработка почвы, уровень агротехники также влияют на величину этих коэффициентов. Например, в чистых парах интенсивность ежегодной минерализации гумуса выше в 3...5 раз, чем в почвах, занятых культурами. В результате этого в чистых парах может накапливаться до 80...120 кг минерального азота на 1 га, а также возрастает содержание других элементов питания, что повышает урожай и коэффициенты использования питательных веществ из почвы.

Условность коэффициентов объясняется также тем, что учитывается содержание элементов питания только в пахотном слое почвы. Растения же используют питательные вещества также с более глубоких слоев.

Для каждого общепринятого метода агрохимического анализа данного типа почв по определению подвижных форм фосфора и калия должны быть свои коэффициенты использования питательных веществ из почвы (табл. 133).

В таблице 133 коэффициенты определены на дерново-подзолистых и серых лесных почвах при среднем содержании подвижных P_2O_5 и K_2O в почве; на некарбонатных черноземах при среднем содержании P_2O_5 и повышенном содержании K_2O; на карбонатных черноземах,

133. Средние коэффициенты использования P_2O_5 и K_2O из разных почв сельскохозяйственными культурами (в %)

Культура	Почвы					
	дерново-подзолистые	серые лесные	черноземы некарбонатные	черноземы карбонатные	каштановые	сероземы
	метод Кирсанова		метод Чирикова	метод Мачигина		
	P_2O_5					
Зерновые, однолетние и многолетние травы	5	8	10	15	15	15
Кукуруза на силос	5	8	10	15	15	—
Лен-долгунец	3	—	—	—	—	—
Картофель	7	10	10	—	—	—
Кукуруза на зерно	—	10	10	30	30	—
Сахарная свекла	—	10	10	—	—	—
Подсолнечник	—	—	15	30	30	—
Хлопчатник	—	—	—	—	20	20
	K_2O					
Зерновые, однолетние и многолетние травы	10	12	12	5	5	5
Кукуруза на силос	20	25	20	7	7	—
Лен-долгунец	5	—	—	—	—	—
Картофель	20	25	25	—	—	—
Кукуруза на зерно	—	30	25	10	10	—
Сахарная свекла	—	40	30	—	—	—
Подсолнечник	—	—	40	20	15	—
Хлопчатник	—	—	—	—	10	10

каштановых почвах и сероземах при среднем содержании P_2O_5 и высоком содержании K_2O.

Коэффициент использования легкогидролизуемого азота растениями на дерново-подзолистых, серых лесных, каштановых почвах и сероземах принимается равным примерно 20%, а на черноземах — 20...30%.

Усвоение растениями питательных веществ из органических и минеральных удобрений. Коэффициент использования питательных веществ из удобрений показывает долю их потребления растениями от общего количества вносимого с удобрением элемента питания на создание прироста урожая. Определяется коэффициент чаще всего разностным методом — отношением разности в выносе данного элемента с урожаем в вариантах опыта с удобрением и контрольном (без удобрений) к количеству вносимого в почву с удобрением питательного вещества и выражается в процентах (или десятичной дробью):

$$K = \frac{B_у - B_0}{C} \cdot 100,$$

где $B_у$ — вынос питательного вещества (в кг с 1 га) с урожаем на удобренном участке; B_0 — вынос питательного вещества (в кг с 1 га) с урожаем на контрольном (неудобренном) участке; C — количество элемента питания (в кг), внесенное с удобрением на 1 га.

134. Средние коэффициенты использования питательных веществ растениями из удобрений (в %)

Год действия	Из органических удобрений			Из минеральных удобрений		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1-й год	20...25	25...30	50...60	50...60	15...20	50...60
2-й год	20	10...15	10...15	5	10...15	20
3-й год	10	5	—	5	5	—
В целом за ротацию севооборота	50...55	40...50	60...75	60...70	30...40	70...80

Правильнее определять коэффициент использования растениями какого-либо элемента питания из соответствующего удобрения на фоне других питательных веществ, внесенных с удобрениями, чем в сравнении с вариантом опыта без внесения удобрений (абсолютный контроль).

Разностный метод расчета имеет очень серьезный недостаток. Здесь условно принимается, что при внесении удобрений количество используемых растениями питательных веществ самой почвы не изменяется. На самом же деле это не так.

Коэффициенты использования питательных веществ растениями из удобрений являются, как правило, более стабильными, чем коэффициенты использования из почвы. Однако и они могут значительно изменяться в зависимости от свойств почвы, погодных условий, биологических особенностей культур, норм, форм применяемых удобрений, способа их внесения и др. Так, например, коэффициент использования питательного вещества из удобрений уменьшается при возрастании нормы вносимого удобрения, с увеличением содержания в почве данного элемента питания, с увеличением кислотности почвы, при разбросном способе внесения удобрений по сравнению с локальным.

Для практического применения в таблице 134 даны средние коэффициенты использования питательных веществ из удобрений по годам и в целом за ротацию севооборота при нормальных условиях выращивания растений.

По данным П. М. Смирнова, использование азота в 1-й год последействия составляет в среднем 2...3%, а на 2-й год последействия — 1...1,5% от внесенного. Тем не менее за счет усвоения в последействии за ротацию севооборота суммарный коэффициент дополнительного использования азота удобрений растениями составляет 8...10% по сравнению с первым годом. Поэтому при расчетах норм удобрений под сельскохозяйственные культуры принимают коэффициент использования азота из минеральных удобрений в первый год 60...70%, не учитывая последействия.

Влияние пожнивных и корневых остатков сельскохозяйственных культур на пищевой режим почвы. Выше было показано (табл. 131), какая часть элементов питания от биологического выноса содержится

135. Примерное количество пожнивно-корневых остатков разных культур и содержание в них питательных веществ

Культура	Урожай основной продукции (в ц с 1 га)	Количество сухих пожнивно-корневых остатков в пахотном слое почвы (в ц на 1 га)	Содержание питательных веществ в корневых и пожнивных остатках (в кг на 1 га)			Отношение C:N
			N	P_2O_5	K_2O	
Клевер 1-го года пользования (сено)	20	36	78	22	37	12
	58	74	158	44	64	
Клевер 2-го года пользования (сено)	36	50	106	30	47	12
	57	91	194	55	78	
Горох на зерно	25	22	40	8	24	12
Озимая пшеница	22	25	27	5	14	25
	40	32	28	7	18	
Ячмень	20	25	22	6	14	25
Кукуруза на силос	—	46	29	12	72	40
Картофель	—	13	11	3	32	23
Конопля	—	20	12	4	13	44
Капуста	—	13	17	5	6	—
Томаты	—	10	16	5	6	—
Огурцы	—	8	11	3	4	—
Морковь	—	8	9	3	5	—
Лук	—	5	6	2	2	—

в остаточной части урожая (в пожнивно-корневых остатках). Наиболее сильное последействие на питание последующих культур оказывают корневые и пожнивные остатки бобовых культур (табл. 135). Поэтому их прежде всего и следует учитывать при составлении системы применения удобрений в севообороте. В пожнивно-корневых остатках бобовых по сравнению с другими культурами наиболее узкое соотношение между углеродом и азотом, близкое к хорошему навозу. В связи с этим минерализация пожнивно-корневых остатков бобовых трав и зерновых бобовых культур протекает интенсивно; коэффициенты использования питательных веществ растениями из пожнивно-корневых остатков предшествующей бобовой культуры примерно такие же, как из органических удобрений. Прежде всего следует учитывать их последействие по азоту. Так, использование азота из пожнивно-корневых остатков бобовых первой, второй и третьей культурой можно принять соответственно 25, 15 и 10%. Принято считать, что многолетние бобовые и бобово-злаковые травы оставляют на 1 т сена в виде корневых и пожнивных остатков 10...15 кг азота. Поэтому если урожай сена за два года составит 80 ц с 1 га, то в почве на 1 га останется примерно 120 кг азота. Первая последующая культура (например, зерновая) использует 25% азота, или 30 кг, что позволит повысить урожай зерна примерно на 10 ц на 1 га. Это количество азота эквивалентно 50 кг азота минеральных удобрений ($\frac{30}{60} \cdot 100 = 50$ кг, где 60 — коэффициент использования азота растением в 1-й год из минеральных

удобрений). В пожнивно-корневых остатках зерновых бобовых культур (однолетних трав) содержится примерно $^1/_2$ часть азота от хозяйственного его выноса с урожаем.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Почвенно-климатические условия. Наиболее высокий эффект от полного минерального удобрения (NPK) отмечается в зоне дерново-подзолистых почв. Понижение эффективности удобрений происходит в европейской части СССР с северо-запада к юго-востоку (от лугово-лесной к степной и сухостепной зонам), а в азиатской части СССР с переходом от востока к западу. Это объясняется различиями в почвенном плодородии и влагообеспеченности. Действие азотных удобрений наиболее сильно проявляется на дерново-подзолистых почвах и серых лесных почвах лугово-лесной и лесостепной зон, а также на оподзоленных, выщелоченных черноземах северных и западных районов лесостепи и на всех почвах орошаемого земледелия. На юге и востоке степной зоны европейской части СССР на выщелоченных и мощных черноземах в результате недостаточного увлажнения азотные удобрения действуют слабее и менее устойчиво. Снижение эффективности азотных удобрений отмечается также на почвах, бедных фосфором и калием.

Наибольшее влияние фосфорных удобрений на урожай характерно на типичных, обыкновенных, южных черноземах, каштановых почвах и сероземах, т. е. в лесостепной, степной, сухостепной, полупустынной и пустынной зонах, где содержание подвижного фосфора в почвах низкое (табл. 136). Поскольку в почвах лугово-лесной зоны большой дефицит фосфора, действие фосфорных удобрений при достаточной обеспеченности азотом здесь также высокое.

Действие калийных удобрений наиболее сильно проявляется на легких по механическому составу (песчаных и супесчаных) дерново-подзолистых почвах, а также на торфяно-болотных и пойменных почвах. Как правило, хорошо обеспечены калием почвы среднесуглинистые, тяжелосуглинистые и глинистые. Наименьшая эффективность калийных удобрений отмечается на черноземах, каштановых, бурых почвах и сероземах, которые хорошо обеспечены подвижным калием (табл. 136).

При высокой культуре земледелия минеральные удобрения дают больший прирост урожая.

Органические удобрения наиболее эффективны в районах дерново-подзолистых, серых лесных почв и оподзоленных черноземов. Действие их уменьшается с северо-запада на юго-восток в европейской части СССР и с востока на запад в азиатской. Последействие органических удобрений в южных областях более высокое, чем в северных. В северных, северо-западных, холодных и влажных районах, а также на слабоокультуренных почвах рекомендуются более высокие нормы органических удобрений, чем на юге и на засушливом юго-востоке, на черноземах и высокоокультуренных почвах.

136. Распределение площади пашни по содержанию подвижных форм фосфора и калия по почвенным зонам СССР (в % от обследованной площади) (Л. М. Державин, 1976)

Зона (почвы)	Содержание в почве подвижных форм фосфора/калия			
	очень низкое и низкое	среднее	повышенное	высокое и очень высокое
Лугово-лесная (дерново-подзолистые)	67/52	20/28	6/11	7/9
Лесостепная (серые лесные, оподзоленные, выщелоченные и типичные черноземы)	41/15	38/27	13/20	8/38
Степная (обыкновенные и южные черноземы)	51/4	36/19	9/22	4/55
Сухостепная (темно-каштановые и каштановые)	53/4	35/13	7/19	5/65
Полупустынная (светло-каштановые и бурые)	44/3	37/9	11/18	8/70
Пустынная и предгорно-пустынно-степная (серо-бурые, сероземы, такыровидные, солончаки)	85/25	12/22	—/14	3/39
Влажных субтропиков (желтоземы и красноземы)	7/51	15/29	—/—	78/20

При использовании удобрений необходимо учитывать погодные условия текущего и предшествующего годов. Так, при недостаточном количестве осенних атмосферных осадков снижается эффективность азотных удобрений в следующем году и повышается роль фосфорных. Если осенью выпадает много осадков, то в следующем году возрастает эффективность азотных удобрений. В условиях избыточного увлажнения растениям особенно необходим калий, а при кратковременных весенних похолоданиях — фосфор. Удобрения на 10...20% снижают расход воды на образование единицы урожая и сглаживают пагубное действие засухи (особенно органические). В свою очередь, орошение или обеспеченность влагой способствуют более эффективному использованию удобрений.

В засушливых районах чаще всего ограничиваются только внесением одного рядкового удобрения, прежде всего фосфора.

Низкие температуры в начале роста растения оказывают наиболее сильное отрицательное влияние на азотное и фосфорное питание. Чрезмерно высокая температура также снижает поступление элементов питания в растение.

На эффективность удобрений оказывает влияние также микробиологическая деятельность почвы.

При систематическом внесении удобрений довольно быстро изменяются кислотность почвы, сумма поглощенных оснований, степень насыщенности основаниями, содержание подвижных калия и фосфора и очень медленно — содержание гумуса и емкость поглощения, изменение которых зависит прежде всего от органических удобрений.

Агротехнические условия. Своевременная и качественная обработка почвы, посев или посадка культур в лучшие агротехнические сроки, подбор хорошего предшественника, соблюдение севооборота, борьба с сорняками, вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур — все это оказывает значительное положительное влияние на эффективность удобрений. Своевременная, качественная обработка почвы создает лучший водно-воздушный и микробиологический режимы почвы, лучшие условия для роста растений и усиливает использование корневой системой питательных веществ почвы и удобрений. Особенности влияния предшественников определяются тем, что они оставляют в почве разные количества пожнивно-корневых остатков, поразному удобряются, неодинаково используют воду и питательные вещества, оказывая различное влияние на влажность и пищевой режим почвы, ее микробиологическую активность, на засоренность и развитие вредителей и болезней. Некоторые сельскохозяйственные культуры (люпин, горчица, эспарцет, донник), хорошо использующие труднодоступные питательные вещества почвы, переводят их в доступное состояние для других культур в результате минерализации пожнивно-корневых остатков или запаханной сидеральной массы. Овощные, а также пропашные культуры полевых севооборотов интенсивно используют калий. Ранние культуры по сравнению с поздними, имеющими более длинный вегетационный период, как правило, используют из почвы меньше питательных веществ и раньше освобождают поле, в результате после них создаются лучшие условия для мобилизации питательных веществ почвы и питания растений. Бобовые на окультуренных почвах не только обеспечивают себя азотом, но и обогащают им почву. Поэтому под культуры, следующие за бобовыми, азотные удобрения вносят в меньших количествах или совсем не вносят. Однако бобовые интенсивно используют из почвы фосфор и калий и последующая культура будет испытывать недостаток в этих элементах. Своевременная вспашка пласта многолетних бобовых трав создает лучшие условия для разложения дернины и накопления в связи с этим в почве подвижных питательных веществ, особенно азота.

Способ обработки почвы и связанная с ним глубина заделки удобрений также играют важную роль в питании растений. При заделке удобрений во влажный непересыхающий слой почвы создаются лучшие условия питания растений и повышается эффективность вносимых удобрений по сравнению с мелкой их заделкой или поверхностным внесением. Кроме того, обработка почвы является приемом борьбы с сорняками, что также улучшает условия питания культурных растений. Обработкой достигается углубление пахотного слоя, в результате чего у растения развивается более мощная корневая система и допол-

нительно извлекаются питательные вещества из более глубоких слоев почвы.

Роль отдельных элементов питания изменяется в зависимости от биологических особенностей сорта. Более продуктивные сорта требуют и больших норм удобрений. Так, для современных высокоурожайных сортов зерновых культур характерен повышенный уровень требований к условиям азотного и фосфорного питания.

Количество вносимых удобрений должно согласовываться с нормами и сроками посева. В общих чертах на хорошо удобренных почвах рекомендуется некоторое снижение норм высева за счет более высокой кустистости или более сильного мощного развития растений в благоприятных условиях. Менее кустистые, низкорослые и устойчивые к полеганию сорта лучше отзываются на повышенные нормы удобрений без изменения при этом нормы высева.

В условиях орошения важно соблюдать поливной режим. При поливе эффективность удобрений возрастает в 1,5...2 раза и прежде всего повышается роль азотных удобрений.

Севооборот, объединяя ряд культур в определенном чередовании, бесспорно не может не оказывать влияния на эффективность применения удобрений. В севообороте она значительно выше по сравнению с монокультурой ввиду более полного использования питательных веществ почвы и удобрений разными культурами и фитосанитарной роли севооборота.

Существенно повышает эффективность минеральных и органических удобрений известкование кислых почв и гипсование солонцовых.

СОВМЕСТНОЕ ВНЕСЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Д. Н. Прянишников писал: «Максимальные же урожаи достигаются комбинацией навоза и минеральных удобрений, которая позволяет обильно снабдить растения усвояемой пищей на первых стадиях развития и дать в то же время в виде навоза резерв постепенно приходящих в действие питательных веществ»*.

Сочетание навоза с минеральными удобрениями в большинстве случаев превосходит по своей эффективности эквивалентные количества питательных веществ одного навоза или раздельно применяемых минеральных удобрений. Этот дополнительный эффект достигается прежде всего усилением микробиологической деятельности почвы (вследствие обогащения почвы микроорганизмами, вносимыми с навозом, и поступления легкодоступных микроорганизмам питательных веществ в виде минеральных удобрений), а следовательно, и более интенсивным разложением органического вещества навоза и почвы. Уменьшается степень закрепления в почве фосфора минеральных удобрений. С навозом в почву вносится также значительное количество микроэлементов. При разложении навоза выделяется углекислый газ, который обогащает приземной слой воздуха, повышая тем самым продуктивность фотосинтеза растений.

* Прянишников Д. Н. Избр. соч., т. 1, 1952, с. 563.

Совместное применение навоза и минеральных удобрений наиболее желательно при возделывании культур, которые не выносят повышенной концентрации почвенного раствора, но требуют значительного количества питательных веществ в течение вегетации для формирования урожая (огурцы, лук, кукуруза).

Здесь уместно также рассмотреть влияние органических и минеральных удобрений на один из самых важных показателей почвенного плодородия — содержание гумуса. В практике сельскохозяйственного производства забота о сохранении гумуса в богатых почвах и увеличении его в бедных должна быть одной из первоочередных задач. Данные многолетних опытов свидетельствуют о том, что при длительном возделывании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений происходит значительное снижение содержания гумуса в почве. Например, на дерново-подзолистых почвах оно уменьшается за 30..50 лет на 25...50% и даже более. На черноземах Михайловской целины (Сумская область) содержание гумуса в слое почвы 0...25 см за 100 лет снизилось с 8 до 5%, или в 1,6 раза. В пахотном слое дерново-подзолистых почв в среднем ежегодно минерализуется 1% гумуса, а в черноземах — 0,4...0,5%. В чистых же парах интенсивность ежегодной минерализации гумуса в 3...5 раз выше. Как показывают длительные стационарные опыты, при внесении малых норм навоза или одних минеральных удобрений разрушение органического вещества почвы идет интенсивнее, чем создание, и содержание гумуса снижается по сравнению с первоначальной его величиной. Процесс образования гумуса во многом зависит от типа севооборотов и количества вносимых минеральных и особенно органических удобрений. По данным длительных опытов, для сохранения содержания гумуса на исходном уровне на дерново-подзолистых почвах среднего и тяжелого механического состава следует вносить в среднем на 1 га ежегодно не менее 10 т хороших органических удобрений, на легких — около 15 т, а на черноземах — 6...8 т.

На фоне применения навоза к нему прежде всего следует дополнительно вносить азотные удобрения, так как в 1-й год культуры интенсивнее используют из навоза фосфор и калий.

Навоз лучше вносить под пропашные культуры. Междурядная обработка усиливает минерализацию органического вещества, и растения полнее используют элементы питания навоза, особенно культуры длительного вегетационного периода.

Правильное сочетание навоза и минеральных удобрений в севообороте в значительной мере повышает его продуктивность.

ПРИЕМЫ, СРОКИ, СПОСОБЫ И ТЕХНИКА ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Следует правильно использовать терминологию, связанную с внесением удобрений.

Обычно различают три приема внесения удобрений: основное удобрение (допосевное, предпосевное), рядковое (припосевное) и подкормку (послепосевное удобрение).

Срок внесения удобрений может быть осенью, весной, летом, в определенные месяцы и т. д.

Способ внесения — сплошной (разбросной), местный (гнездовой, очаговый, рядковый), локально-ленточный, в запас, механизированный, наземный, с воздуха и др.

Способ заделки — под плуг, культиватор, дисковую борону и пр.

Техника для внесения удобрений — это машины для внесения основного, припосевного удобрения и проведения подкормки.

Удобрения следует вносить в почву так, чтобы они в наибольшей степени были доступны для растений в течение вегетационного периода, находились в зоне развития корневой системы, лучше способствовали росту ее и минимально фиксировались почвой. Удобрения, заделанные в более глубокий, влажный пахотный слой почвы, хорошо используются растениями в течение почти всей вегетации. Для легких почв глубина заделки должна быть больше, чем для тяжелых.

При заделке удобрений следует учитывать возможное передвижение питательных веществ в почве с гравитационными водами и в результате диффузии, а также возможные пути всяких потерь. Процесс диффузионного передвижения питательных веществ в почве выражен довольно слабо, особенно для фосфорных. Наиболее важное значение имеет передвижение питательных веществ удобрений в почве с нисходящим и восходящим токами воды. Прежде всего это касается азотных удобрений, когда вымывание нитратов приводит к потерям азота и загрязнению окружающей среды. В условиях влажного климата значительное вымывание нитратного азота (до 20 кг с 1 га и более) отмечается только на легких почвах и паровых полях. Из засеянных суглинистых почв потери азота вследствие вымывания нитратов при средних нормах внесения азотных удобрений обычно ниже. Вымывание нитратов происходит в основном в ранневесенний и позднеосенний периоды, когда на поле нет растений. В условиях орошения в районах с жарким климатом наблюдается подъем нитратов с капиллярным током воды (в результате испарения) на поверхность и накопление их в верхнем пересыхающем слое почвы. Поэтому важное значение имеет время внесения азотных удобрений и интенсивность процесса нитрификации аммиачного азота. Накопление значительного количества нитратов в почве может привести также к существенным потерям азота в результате денитрификации. Потери азота удобрений в результате денитрификации достигают 10...35 % от внесенного количества. Причем из нитратных удобрений потери азота значительно больше, чем из аммиачных. Поэтому при внесении азотных удобрений следует стремиться по возможности снизить интенсивность нитрификации. В этом случае чем короче срок внесения азотных удобрений до посева, тем меньше потери азота. При поверхностном внесении твердых аммонийных и амидных удобрений или мелкой их заделке возможны потери аммиака, которые возрастают с увеличением pH, нормы удобрений и влажности почвы. Если при поверхностном внесении аммиачной селитры и сульфата аммония потери аммиака составляют, как правило, не более 1...3%, то при применении высоких норм мочевины — 20...30% от внесенного количества азота.

При внесении жидких аммиачных удобрений потери аммиака снижаются с увеличением глубины их внесения и влажности почвы. На супесчаных почвах потерь практически не отмечается при заделке аммиачной воды на глубину 10...12 см, а безводного аммиака на 16 см. На суглинистых почвах минимальная глубина заделки аммиачной воды 7...8 см, а безводного аммиака 12...14 см.

Фосфорные удобрения сосредоточиваются в месте их внесения и очень слабо мигрируют по почвенному профилю даже на легких (песчаных и супесчаных) почвах. Поэтому вероятность вымывания фосфора из корнеобитаемого слоя незначительна.

Калий поглощается почвой главным образом обменно и хорошо удерживается, особенно на связных почвах. Некоторое вымывание его возможно на почвах песчаных и супесчаных.

Процесс фиксации фосфора и калия удобрений в почве в основном происходит сразу же после их внесения (в течение суток) и заканчивается практически в первый месяц. При этом фосфор переходит в малоподвижные соединения в значительно больших количествах (50...70%), чем калий. Наиболее сильно закрепляется фосфор на кислых дерново-подзолистых почвах, содержащих большое количество полуторных окислов железа и алюминия. Калий в наиболее сильной степени фиксируют почвы, содержащие минералы монтмориллонитовой группы. Фиксация калия усиливается в гумусированных и известкованных дерново-подзолистых почвах. При колебаниях влажности почвы (попеременное высушивание и увлажнение) фиксация калия удобрений существенно усиливается, а фосфора не изменяется. Следует отметить, что степень закрепления фосфора и калия удобрений на связных почвах при осеннем и весеннем внесении до посева (посадки) практически одинаковая. Из фосфорных удобрений это относится прежде всего к порошковидным водорастворимым и цитратнорастворимым формам. Исключение составляет фосфоритная мука. Чем раньше до посева она будет внесена на кислых дерново-подзолистых почвах, тем больше доступного фосфора в почве образуется для растений. Гранулированный суперфосфат, однако, лучше вносить ближе к посеву или во время посева, чтобы уменьшить закрепление фосфора почвой. Гранулирование суперфосфата обеспечивает меньшее соприкосновение с почвой по сравнению с порошковидным, что снижает степень фиксации фосфора. Но если гранулированный суперфосфат внесен задолго до посева, то гранула растворяется и закрепление фосфора почвой возрастает.

При мелкой заделке фосфорных и калийных удобрений до посева в пересыхающий слой почвы фосфор и калий ввиду очень слабой подвижности не будут использованы растениями, так как корневая система вскоре после появления всходов в поисках влаги будет развиваться вглубь. При внесении этих удобрений культиватором-растениепитателем в подкормку они также часто попадают в недостаточно увлажненный слой почвы и поэтому обычно дают меньший эффект, чем при заделке под плуг до посева. Поэтому фосфорные и калийные удобрения, за исключением небольшой их части при внесении в рядки при посеве, следует заделывать плугом с предплужником в более глубокие

137. Примерное распределение минеральных удобрений и извести в пахотном слое почвы (в %) при заделке их различными орудиями

Орудие и глубина заделки	Слой почвы (в см)		
	0...5	5...10	10...20
Плуг ПН-4-35 с предплужником, глубина 20 см	—	—	100
Плуг ПН-4-35 без предплужника, глубина 20 см	—	23	77
Борона дисковая тяжелая БДТ-2,2 (в два следа)	27	45	28
Культиватор с пружинными лапами, глубина 20 см	32	31	37
Культиватор с универсальными стрельчатыми лапами, глубина 20 см	38	34	28
То же, глубина 10 см	84	16	—
Борона зубовая легкая	100	—	—
Борона зубовая тяжелая	97	3	—

влажные слои почвы, в основную зону развития корневой системы растений.

Основное (допосевное) удобрение обеспечивает питание растений в основном на протяжении всей вегетации, особенно в период интенсивного роста, когда отмечается наибольшее потребление питательных веществ растением. Основное удобрение включает бо́льшую часть питательных веществ от общей нормы. Его можно вносить или осенью, или весной. Это зависит от почвенно-климатических условий, особенностей удобрений, их наличия в хозяйстве и других организационных причин.

Размещение удобрений в почве зависит от орудия заделки (табл. 137).

Глубокая заделка удобрений достигается плугом с предплужником, затем плугом без предплужника и тяжелой дисковой бороной. При одинаковой глубине обработки почвы культиватор с пружинными лапами лучше заделывает удобрения, чем культиватор с универсальными стрельчатыми лапами. При глубине рыхления 10 см в верхнем, пересыхающем слое почвы 0...5 см остается около 80% удобрений, что особенно нежелательно для фосфорных и калийных удобрений.

Выбор оптимальных сроков внесения основного удобрения в значительной мере определяется прежде всего механическим составом почвы, условиями увлажнения и свойствами самих удобрений. Азотные удобрения нитратной и аммиачно-нитратной форм в условиях избыточного и достаточного увлажнения на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, выщелоченных и оподзоленных черноземах следует вносить весной, чтобы избежать лишних потерь азота. В этом случае их заделывают под перепашку зяби или чаще всего культиватором. Учитывая, что нитратный азот быстро мигрирует по почвенному профи-

лю с осадками, большой тревоги неглубокая заделка удобрений культиватором не вызывает. Аммиачный азот в теплый весенний период практически полностью в течение двух недель превращается в нитратный и легко продвигается вниз с атмосферными осадками или поливной водой. В зонах недостаточного увлажнения на почвах непромывного режима (обыкновенные, типичные, южные черноземы, каштановые) рекомендуется вносить азотные удобрения с осени под зябь. При весенней мелкой заделке они попадают в быстро пересыхающий слой почвы и эффективность их снижается, особенно если долгое время не выпадают осадки. Иногда на тяжелых дерново-подзолистых почвах рекомендуют вносить твердые аммиачные удобрения с осени. В этот период, если температура будет ниже 10°С, процесс нитрификации практически приостанавливается. Но при изменении погодных условий возможна нитрификация, что приведет к потерям азота. Поэтому и на таких почвах наиболее целесообразно твердые аммиачные удобрения применять весной.

Жидкие аммиачные удобрения (аммиачная вода, безводный аммиак) в зоне достаточного увлажнения на дерново-подзолистых почвах тяжелого и среднего механического состава можно вносить с осени под плуг. Фосфорные удобрения во всех случаях лучше заделывать более глубоко, т. е. под вспашку зяби или весной под ее перепашку.

Калийные удобрения вносят весной только на песчаных и супесчаных почвах влажной зоны (или при орошении). На других почвах их лучше вносить осенью под зябь, особенно хлорсодержащие. В этом случае за осенне-весенний период хлор вымывается из верхних слоев почвы и оказывает значительно меньшее отрицательное действие на хлорофобные культуры.

Навоз (компост) вносят под зябь или под весеннюю перепашку. Весеннее внесение навоза практикуется в том случае, если к осени его накопилось в хозяйстве недостаточно, а также на песчаных и супесчаных почвах ввиду возможных потерь азота и калия.

В засушливых районах страны предпочтение отдается перепревшему навозу, так как он меньше иссушает почву. Для Нечерноземной зоны лучшим является полуперепревший и даже свежий навоз, если он внесен с осени под зябь. На тяжелых почвах северной части Нечерноземья требуется более мелкая заделка навоза, чем на легких почвах. При мелкой заделке на влажных и тяжелых почвах он разлагается интенсивнее, чем при глубокой, где более слабая аэрация. В засушливых районах навоз запахивают глубже, чем в увлажненных.

Неравномерность внесения удобрений не должна превышать 15...20%.

Основное удобрение можно вносить вразброс и локально. В настоящее время испытываются следующие способы локального внесения удобрений.

1. Допосевное ленточное внесение основного удобрения под зерновые культуры специальными машинами типа рядовой туковой сеялки или комбинированными почвообрабатывающими агрегатами.

2. Ленточное внесение основного удобрения при посеве зерновых культур зернотуковыми сеялками или комбинированными агрега-

тами, совмещающими внесение удобрений и посев с другими операциями.

3. Ленточное внесение основного минерального удобрения под картофель комбинированными сажалками.

По данным опытов, при локально-ленточном внесении основного удобрения урожай повышается на 3...23% по сравнению с разбросным. Однако при систематическом ежегодном локально-ленточном внесении в севообороте средних и высоких доз удобрений результативность такого способа снижается.

За последние годы повысился интерес к запасному (периодическому) внесению фосфорных и калийных удобрений. Это также один из способов внесения основного удобрения. Сущность его заключается в том, что удобрения вносят не ежегодно (например, по 60 кг P_2O_5 в год на 1 га), а сразу на несколько лет вперед (например, 240 кг P_2O_5 на 1 га на четыре года). Существуют различные мнения по поводу этого способа. В одних случаях он имеет преимущество по сравнению с ежегодным внесением удобрений, в других равен или уступает последнему. На тех почвах, где происходит сильное закрепление фосфора удобрений и сильная необменная фиксация калия, запасное внесение удобрений уступает ежегодному.

Запасное внесение удобрений находит в производстве ограниченное применение: прежде всего при удобрении покровной культуры многолетних трав, при создании культурных пастбищ, в садах и в отдельных хозяйствах, получающих много удобрений. В тех хозяйствах, где удобрений применяется недостаточно, неразумно их использовать в запас на части площади (кроме отмеченных выше случаев) и не удобрять другие поля, так как эффект от удобрений в целом по хозяйству снизится. Калийные удобрения не следует вносить в запас на песчаных и супесчаных почвах, где возможно вымывание калия. Разовое применение высоких норм калийных удобрений может способствовать повышенному содержанию калия в урожае (свыше 3% K_2O на сухое вещество) и тем самым действовать отрицательно на организм животных. Кроме того, высокие нормы хлорсодержащих калийных удобрений в первые годы после их внесения могут ухудшить качество урожая хлорофобных культур.

Припосевное (рядковое) удобрение. Припосевное удобрение всегда размещается в почве локально, тем самым повышается коэффициент использования фосфора из суперфосфата (при внесении его под зерновые культуры при посеве коэффициент может составлять 40...60 и даже 80%). Припосевное удобрение существенно улучшает рост молодых растений, когда они еще очень плохо могут использовать фосфор почвы, способствует большей устойчивости всходов к неблагоприятным условиям. Нормы внесения припосевного удобрения, как правило, невелики (на 1 га 5...20 кг каждого элемента питания). Это связано с тем, что при прямом контакте (без прослойки почвы) удобрений с семенами может отрицательно сказаться на их всхожести высокая концентрация раствора солей, а также с очень слабым передвижением фосфора и калия из очага внесения.

Наиболее чувствительны к повышенной концентрации почвенного раствора кукуруза, лен, морковь, лук, огурцы, брюква, турнепс; наименее чувствителен картофель. Наилучший эффект от рядкового удобрения достигается в том случае, если между удобрениями и семенами имеется прослойка почвы. Это особенно важно, когда в составе припосевного удобрения находятся азот и калий.

В рядковом удобрении первостепенное значение принадлежит фосфору, значительно меньшее — азоту, а калий часто не дает эффекта (кроме калиелюбивых культур) и даже может несколько снизить урожай, особенно мелкосемянных культур. Азот в составе рядкового удобрения зерновых культур по хорошо удобренному предшественнику, как правило, не дает прибавки урожая.

В качестве припосевного удобрения применяют гранулированный простой и двойной суперфосфат, а также комплексные удобрения (аммофос, диаммофос, нитрофос, нитрофоску, нитроаммофос и нитроаммофоску). Для внесения в рядки не следует готовить смесь простых удобрений, так как при этом часто образуется мажущаяся трудновысеваемая масса. В этом случае лучше применять один гранулированный суперфосфат. При высоких дозах основного удобрения положительное действие припосевного удобрения заметно ослабевает или исчезает.

Подкормка или послепосевное удобрение. Результаты опытов научно-исследовательских учреждений свидетельствуют о том, что в большинстве случаев на почвах среднего и тяжелого механического состава, где малая вероятность вымывания питательных веществ, перенесение части даже азотных удобрений, не говоря уже о калийных и фосфорных, из основного удобрения в подкормку сопровождается снижением урожая. Объясняется это тем, что удобрения, внесенные поверхностно или даже культиватором-растениепитателем в течение вегетации растений, попадают часто в этот период в сухую почву и поэтому слабо используются растениями. Подкормки могут дать неплохой результат только при наличии влаги. Особенно нежелательно использовать в подкормку фосфорные, а на связных почвах — калийные удобрения, которые очень слабо мигрируют по почвенному профилю. Послепосевное удобрение оправдывает себя при следующих обстоятельствах.

1. Подкормка озимых азотными удобрениями.

2. Подкормка азотными и калийными удобрениями пропашных культур, возделываемых на легких почвах (песчаных и супесчаных) при орошении или в зоне достаточного и избыточного увлажнения.

3. При планировании высоких годовых норм минеральных удобрений под культуры, наиболее чувствительные к повышенной концентрации солей.

4. Для плодово-ягодных насаждений и долголетних культурных пастбищ.

5. Для многолетних трав в полевых севооборотах, когда всю норму фосфорных и калийных удобрений по ряду не зависящих от хозяйства причин не удалось внести сразу под покровную культуру.

6. Подкормка льна в фазу «елочки», если оказалось недостаточным количество азотных удобрений до посева.

Иногда подкормку используют как вынужденный прием из-за отсутствия удобрений в допосевной период.

Для подкормки минеральными удобрениями культур сплошного сева (озимые, травы, лен) применяются те же машины, что и для внесения основного удобрения.

Кроме наземной техники, применяется сельскохозяйственная авиация.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ

Определение норм минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры является одной из важных и сложных задач агрохимии. Имеются понятия оптимальной, рациональной и предельной нормы.

Оптимальная — это норма, которая обеспечивает получение высокого урожая хорошего качества при максимальном чистом доходе с 1 га при условии повышения или сохранения плодородия почвы за ротацию севооборота.

При возрастании норм вносимых удобрений оплата 1 кг питательных веществ прибавкой урожая, начиная с какого-то уровня, снижается. Поэтому если хозяйство имеет мало минеральных удобрений, то ему выгоднее применять меньшие нормы на большей площади и получить больший валовой урожай, чем применять более высокие нормы удобрений на меньшей площади. Но если хозяйство из года в год вносит большое количество удобрений, получает высокие урожаи, интенсивно повышая плодородие полей, то дальнейшее повышение урожая, естественно, снижает отдачу от дополнительного внесения удобрений. Однако в этом случае получается больше продукции с 1 га и возрастает интенсивность земледелия. Так появляется понятие рациональной нормы удобрений. *Рациональная* — норма, которая при сложившихся организационно-хозяйственных условиях производства позволяет получить возможно больший выход продукции хорошего и удовлетворительного качества с 1 га пашни и интенсивно повышать плодородие почвы при обязательном экономическом эффекте от применения удобрений.

Однако должен существовать предел внесения удобрений при определенных почвенно-климатических условиях. В противном случае растениеводство может давать убытки, может ухудшиться качество продукции и возникнуть опасность загрязнения окружающей среды. *Предельная* — норма, которая обеспечивает максимально высокий урожай допустимого качества при условии как минимум самоокупаемости от удобрений. Ввиду важности получения максимального количества сельскохозяйственной продукции с единицы площади это в некоторых случаях может быть оправдано, особенно тогда, когда все хозяйства будут иметь достаточное количество удобрений, либо в районах интенсивной химизации под важнейшие сельскохозяйственные культуры.

Определение норм минеральных удобрений на основе прямого использования результатов полевых опытов и агрохимических картограмм

На основании обобщения данных полевых опытов научно-исследовательскими учреждениями нашей страны разработаны рекомендации по внесению средних норм удобрений под различные культуры для хозяйств своей зоны.

В качестве примера в таблице 138 приведены нормы удобрений для дерново-подзолистых почв в районах интенсивной химизации. Рекомендуемые нормы фосфорных и калийных удобрений корректируются в зависимости от обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и калия с использованием ориентировочных поправочных коэффициентов (табл. 139). Нормы азотных удобрений, как правило, корректируются по картограмме фосфора (чаще всего именно фосфор находится в минимуме после азота в почве), так как по азоту картограмма не составляется. При поправочном коэффициенте, равном 1,0, норма берется без изменений. Доза рядкового удобрения применяется во всех случаях без поправок.

Несмотря на большую перспективу в использовании данного метода определения норм минеральных удобрений, в настоящее время на него нельзя полностью полагаться из-за недостатка необходимой информации.

Рекомендуемые в таблице 138 нормы удобрений рассчитаны на получение урожая зерна 30...35 ц, волокна льна 6...8, картофеля 200...250, корнеплодов 400...500, зеленой массы кукурузы 350...400, капусты 500...600 ц с 1 га.

Если рекомендуемые нормы минеральных удобрений получены в конкретном полевом опыте на почве с определенным содержанием подвижных форм фосфора и калия, то в производственных условиях

138. Примерные нормы удобрений под некоторые культуры на дерново-подзолистых суглинистых почвах

Культура	Навоз (в т на 1 га)	Минеральные удобрения (в кг на 1 га)		
		N	P_2O_5	K_2O
Озимые зерновые:				
по занятым парам	20...30	100...120	80...100	40...60
после клевера с тимофеевкой	—	70...100	100...120	100...120
Яровые зерновые	—	80...120	80...100	60...80
Лен-долгунец по клеверищу	—	20...40	60...90	80...100
Картофель	30...40	100...120	80...100	100...120
Кукуруза и другие силосные	30...40	100...120	80...100	80...100
Кормовые корнеплоды	30...40	180...220	120...150	180...220
Капуста белокочанная	30...40	150...180	80...100	150...180

139. Поправочные коэффициенты к нормам удобрений с учетом содержания подвижных форм фосфора и калия в почве

Содержание в почве питательных веществ по картограмме	Зерновые культуры, травы, лен, пропашные	Овощные культуры
	Азотные удобрения	
P_2O_5		
Очень низкое	1,2	—
Низкое	1,1	1,2
Среднее	1,0	1,1
Повышенное	0,9	1,0
Высокое	0,8	0,9
Очень высокое	0,7	0,8
	Фосфорные и калийные удобрения	
P_2O_5 или K_2O		
Очень низкое	1,5	—
Низкое	1,2...1,3	1,5
Среднее	1,0	1,2...1,3
Повышенное	0,7...0,8	1,0
Высокое	0,4...0,6	0,7...0,8
Очень высокое	0,1...0,3	0,4...0,6

их необходимо корректировать в соответствии с классом почвы конкретного поля. Корректировка проводится следующим образом. Если класс почвы поля по содержанию подвижного фосфора (или калия) отличается от класса почвы опытного поля по этому показателю на 1 или 2, то норма фосфора (или калия) изменяется на ±25 и ±50% соответственно, а норма азота — на ±10 или ±20%. Причем корректировка нормы азота проводится, как правило, по элементу, находящемуся в почве в минимуме после азота (на средних и тяжелых по механическому составу почвах по фосфору, на легких по калию), так как картограмма по содержанию подвижных форм азота в почве в настоящее время не составляется.

Величина полученного урожая в опыте от применяемой нормы удобрений должна быть приведена в соответствие с производственными условиями. Так, установлено, что на малых делянках эффективность удобрений выше, чем на больших производственных площадях (по зерновым культурам на 30%, по картофелю на 50%). Например, в Латвийской ССР эффективность удобрений в производственных условиях в среднем на 30% ниже, чем в опытах, а в ГДР при высокой культуре земледелия — в среднем на 20...25%.

Определение норм удобрений под сельскохозяйственные культуры проводится также на основе математической обработки результатов полевых опытов. В этом случае наибольшую ценность представляют многофакторные полевые опыты, дающие наиболее полную информацию. Математическая обработка результатов многофакторных опытов ведется в следующем порядке: 1) обработка результатов опыта методом

множественной регрессии; 2) выбор математической модели; 3) разработка производственной функции; 4) вычисление коэффициентов корреляции между различными показателями.

Расчетные методы определения норм минеральных удобрений

Определение норм минеральных удобрений на планируемый урожай (метод элементарного баланса). В этом методе используют справочные данные по выносу питательных веществ на единицу основной продукции урожая (на 10 ц или на 100 ц) с учетом побочной, коэффициенты использования питательных веществ растениями из почвы, удобрений и пожнивно-корневых остатков (обычно бобовых культур). Недостающая часть питательных веществ почвы для создания планируемого урожая восполняется внесением органических и минеральных удобрений. Ориентировочные коэффициенты, которые можно использовать для расчета норм удобрений на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, даны в таблице 140. Последействие удобрений отражено в таблице 134. Коэффициент использования легкогидролизуемого азота из почвы принимается равным 0,2 (или 20%).

Для разных методов определения питательных веществ в почвах должны быть свои коэффициенты использования элементов питания растениями из почвы (см. табл. 133).

Рассмотрим метод элементарного баланса на конкретном примере.

140. Коэффициенты использования растениями питательных веществ из почв и удобрений (в %) (для дерново-подзолистых и серых лесных почв)

Культура	Из почвы (при среднем содержании питательных веществ и выше) *		Из минеральных удобрений в 1-й год			Из органических удобрений в 1-й год		
	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5 **	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Зерновые, однолетние и многолетние травы	5	10	50...60	15...25	40...50	20	30	40...50
Лен	3	5	30...40	10...15	30...40	—	—	—
Пропашные (картофель, кормовые корнеплоды, силосные)	5	20	60...70	20...25	50...70	20...25	30	50...60
Капуста белокочанная	5	20	60...70	20	60...70	20...25	30	60
Морковь, свекла столовая, томаты	5	10	50...60	15...20	50...60	20	20	50
Огурцы	3	5	30...40	10...15	30...40	15...20	20	30

* При низкой обеспеченности почвы питательными веществами коэффициенты увеличиваются в 1,5...2 раза.

** Из суперфосфата при рядковом внесении используется 30...60% P_2O_5.

Планируется получить урожай картофеля 200 ц с 1 га на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. По картограмме двухлетней давности в почве содержится 5...10 мг P_2O_5 и 8...12 мг K_2O на 100 г почвы (по методу Кирсанова). Намечается внести органических удобрений 30 т на 1 га. По данным агрохимического анализа, в них содержится 0,3% N, 0,15% P_2O_5 и 0,4% K_2O.

Картофель выращивается в звене севооборота: ячмень + многолетние травы, травы 1-го года пользования, травы 2-го года пользования, озимая пшеница, картофель. Под ячмень было внесено $N_{80}P_{160}K_{180}$ (с учетом обеспечения фосфором и калием многолетних трав), под озимую пшеницу — $N_{50}P_{80}K_{80}$. Ежегодный урожай сена многолетних трав составил 40 ц с 1 га.

Учитывая эти данные, необходимо определить норму минеральных удобрений под планируемый урожай картофеля.

100 ц клубней картофеля вместе с ботвой выносят 60 кг N, 20 кг P_2O_5 и 90 кг K_2O (табл. 132). Следовательно, с урожаем в 200 ц будет вынесено 120 кг N, 40 кг P_2O_5 и 180 кг K_2O.

Поскольку последействие удобрений на практике обычно учитывается не более двух лет, то в примере определяется только последействие от удобрений, внесенных под озимую пшеницу. Если бы данные агрохимического анализа почвы по содержанию подвижного фосфора и калия были текущего года (чего практически не бывает), то последействие фосфора и калия ранее внесенных удобрений на картофель не надо было учитывать. Последействие азота органических удобрений и пожнивно-корневых остатков бобовых должно учитываться во всех случаях, так как картограмму содержания подвижных соединений азота в почве не составляют.

В примере общий урожай сена клевера с тимофеевкой за 2 года составил 80 ц с 1 га. Как показывают исследования, 1 т сена оставляет после себя в виде пожнивно-корневых остатков 10...15 кг на 1 га азота. Следовательно, в корневых и пожнивных остатках многолетних трав на 1 га будет содержаться примерно 120 кг азота. Первая культура после трав (в данном случае озимая пшеница) может использовать около 25% азота из пожнивно-корневых остатков, или 30 кг, вторая культура (картофель) — примерно 15% азота, или 18 кг.

Использование из почвы питательных веществ определяется так. Почва содержит (по картограмме) в среднем 7 мг P_2O_5 и 10 мг K_2O на 100 г почвы. Следовательно, в пахотном слое на 1 га содержится 210 кг P_2O_5 и 300 кг K_2O. Картофель сможет усвоить из почвы примерно 5% подвижного фосфора (10 кг P_2O_5) и 20% подвижного калия (60 кг K_2O) (табл. 140). Труднее определить использование азота из почвы. Это можно сделать двумя способами.

1-й способ — определение выноса азота по элементу, находящемуся в минимуме в почве после азота. Так, на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в первом минимуме находится азот, во втором, как правило, фосфор. Фосфора используется из почвы 10 кг, что может обеспечить урожай картофеля 50 ц с 1 га (вынос P_2O_5 на 1 ц клубней вместе с ботвой составляет 0,2 кг). Если бы почва была дерново-подзолистая супесчаная или песчаная, где во втором мини-

муме находится калий, то возможный урожай следовало определять по калию. С урожаем клубней 50 ц с 1 га будет использовано из почвы 30 кг азота, так как 100 ц клубней вместе с ботвой выносят, по справочным данным, 60 кг азота.

2 - й с п о с о б — определение использования азота почвы по примерному содержанию в ней легкогидролизуемого азота. Если нет данных агрохимического анализа, то можно примерно считать, что связные дерново-подзолистые почвы среднего плодородия содержат 4...6 мг легкогидролизуемого азота, повышенного плодородия — 6...8 мг, высокого — 8...10 мг на 100 г почвы. В данном примере 100 г почвы содержат приблизительно 5 мг легкогидролизуемого азота. Это составляет 150 кг азота в пахотном слое на 1 га (5 мг × 30). Из почвы картофель сможет использовать около 20% легкогидролизуемого азота, или 30 кг.

Весь ход расчета годовой нормы минеральных удобрений под картофель можно представить в виде следующей схемы.

Показатели	N	P_2O_5	K_2O
Вынос питательных веществ планируемым урожаем 200 ц с 1 га (в кг)	120	40	180
Последействие ранее внесенных минеральных удобрений ($N_{50}P_{80}K_{80}$) (в кг)	—	8 (10%)	16 (20%)
Последействие по азоту пожнивно-корневых остатков многолетних трав (в кг)	18	—	—
Используется питательных веществ из почвы (в кг)	30	10	60
С 30 т органических удобрений на 1 га вносится питательных веществ (в кг)	90	45	120
Коэффициенты использования питательных веществ в 1-й год из органических удобрений (в %) . . .	20	30	50
Используется питательных веществ в 1-й год из внесенных органических удобрений (в кг) . . .	18	13	60
Требуется питательных веществ минеральных удобрений (в кг)	54	9	44
Коэффициенты использования питательных веществ растениями в 1-й год из минеральных удобрений (в %)	60	20	60
С учетом коэффициентов использования следует внести с минеральными удобрениями (в кг на 1 га)	90	45	70

Расчетные нормы обычно округляются с точностью до 5 или 10 кг.

Вычисленные нормы питательных веществ для внесения с минеральными удобрениями можно пересчитать

а) на физические туки:

$$\text{аммиачная селитра} = \frac{90 \cdot 100}{34} = 265 \text{ кг, или } 2{,}7 \text{ ц на } 1 \text{ га,}$$

где 34 — содержание азота в аммиачной селитре (в %);

$$\text{простой суперфосфат} = \frac{45 \cdot 100}{20} = 225 \text{ кг, или } 2{,}3 \text{ ц на } 1 \text{ га;}$$

$$\text{хлористый калий} = \frac{70 \cdot 100}{60} = 117 \text{ кг, или } 1{,}2 \text{ ц на } 1 \text{ га;}$$

б) на стандартные туки:

$$\text{сульфат аммония} = \frac{90 \cdot 100}{20{,}5} = 440 \text{ кг, или } 4{,}4 \text{ ц на } 1 \text{ га;}$$

$$\text{суперфосфат} = \frac{45 \cdot 100}{18{,}7} = 241 \text{ кг, или } 2{,}4 \text{ ц на } 1 \text{ га;}$$

$$\text{калийная соль} = \frac{70 \cdot 100}{41{,}6} = 168 \text{ кг, или } 1{,}7 \text{ ц на } 1 \text{ га.}$$

Определение норм минеральных удобрений на планируемую прибавку урожая. Принцип метода заключается в следующем. Зная урожай культуры в данных почвенно-климатических условиях на неудобренном фоне (по результатам опытов агрохимслужбы), определяют прибавку урожая от применения органических и минеральных удобрений. Установленные нормы минеральных удобрений корректируются по содержанию в почве подвижных питательных веществ с использованием соответствующих поправочных коэффициентов (табл. 139).

Рассмотрим метод определения норм минеральных удобрений на предыдущем примере. Урожай картофеля без удобрений 50 ц с 1 га. Планируемая прибавка 150 ц на 1 га. Вынос питательных веществ на 100 ц клубней вместе с ботвой составляет (по справочным данным) 60 кг N, 20 кг P_2O_5, 90 кг K_2O. Расчет ведется по следующей схеме.

Показатели	N	P_2O_5	K_2O
Вынос питательных веществ на планируемую прибавку урожая 150 ц на 1 га (в кг)	90	30	135
Последействие ранее внесенных минеральных удобрений ($N_{50}P_{80}K_{80}$) (в кг)	—	8	16
Последействие по азоту пожнивно-корневых остатков многолетних трав (в кг)	18	—	—
Используется питательных веществ в 1-й год из 30 т органических удобрений (в кг)	18	13	60
Требуется питательных веществ минеральных удобрений (в кг)	54	9	59
Коэффициенты использования питательных веществ растениями в 1-й год из минеральных удобрений (в %)	60	20	60
С учетом коэффициентов использования следует внести с минеральными удобрениями (в кг)	$\frac{54 \cdot 100}{60} = 90$	$\frac{9 \cdot 100}{20} = 45$	$\frac{59 \cdot 100}{60} = 100$
С учетом корректировки почвенного плодородия (табл. 139) следует внести (в кг)	$90 \cdot 1 = 90$	$45 \cdot 1 = 45$	$100 \cdot 1 = 100$

Определение норм минеральных удобрений с использованием нормативов баланса питательных веществ за севооборот. Баланс питательных веществ в почве состоит из приходной и расходной частей. В приходную часть баланса входит поступление питательных веществ в почву с удобрениями, семенами и из атмосферы (в том числе азот клубеньковых бактерий бобовых культур и свободноживущих бактерий-азотфиксаторов).

Расходная часть баланса включает: вынос питательных веществ с увозимым с поля урожаем, потери элементов питания из почвы и удобрений вследствие поверхностного стока, вымывания (инфильтрации) и газообразные потери (например, азота из-за денитрификации).

Различают полный, или экологический, баланс (его еще иногда называют биологическим), учитывающий все статьи прихода и расхода элементов питания, и упрощенный, или хозяйственный, баланс, предусматривающий только поступление питательных веществ в почву с удобрениями и дополнительного количества азота от бобовых культур (оставленного ими в почве сверх выноса с урожаем) в сопоставлении с выносом урожаем и возможными потерями из удобрений. В хозяйственном балансе другие статьи прихода питательных веществ (с осадками, семенами, азота от свободноживущих бактерий-азотфиксаторов) и расхода (потери элементов питания из почвы) не учитываются, так как в итоге они принимаются равными. Баланс может быть: интенсивный (положительный), если поступление питательных веществ в почву превышает вынос с урожаем и потери из почвы и удобрений; экстенсивный (отрицательный, или дефицитный), если вынос и потери превышают поступление в почву; бездефицитный (нулевой), если статьи прихода и расхода элементов питания равновелики.

В сельскохозяйственной практике при составлении системы применения удобрений в севообороте обычно пользуются хозяйственным балансом. Его можно выражать по каждому из элементов питания в относительных цифрах (в процентах к выносу с урожаем) и в абсолютных (в килограммах на гектар).

Изменение показателей баланса в динамике определяется термином «изменение интенсивности баланса».

Процентное (или долевое) участие отдельных статей прихода и расхода питательных веществ в балансе составляет его структуру.

В основу данного метода положен баланс питательных веществ за ротацию севооборота. В таблице 141 приводятся примерные нормативы баланса питательных веществ для дерново-подзолистых и серых лесных почв. Можно пользоваться также обратной величиной цифр нормативов баланса — коэффициентом выноса питательных веществ из почвы и удобрений с урожаем (табл. 141).

В литературе относительный баланс, выражаемый в процентах к выносу, или интенсивность баланса (норматив баланса), иногда называют коэффициентами возмещения или коэффициентами возврата и выражают десятичной дробью. Например, если норматив баланса (относительный баланс) по азоту 120%, а по фосфору 200%, то в переводе на коэффициент возмещения (или возврата) это будет 1,2 и 2,0 соответственно. Коэффициент выноса питательных веществ иногда называют также балансовым коэффициентом. Он показывает, какую часть (в процентах) составляет вынос питательных веществ с урожаем от их количества, внесенного с удобрениями. Определяют его обычно за ротацию севооборота. Например, если этот коэффициент по какому-либо из элементов питания равен 100, то, следовательно, поступление питательного вещества с удобрениями и вынос его с урожаями компенсируют друг друга. Если же он меньше или больше 100, то поступле-

141. Примерные нормативы баланса питательных веществ за севооборот (в % от выноса с урожаем) **и коэффициенты выноса питательных веществ с урожаем** (в % от питательных веществ внесенных удобрений) **в зависимости от содержания элементов питания в дерново-подзолистых и серых лесных почвах**

Класс почв	Содержание в почве подвижных фосфора и калия	Внесение питательных веществ с удобрениями за севооборот (в % от выноса с урожаем)			Коэффициенты выноса питательных веществ с урожаем (в %)		
		N*	P_2O_5	K_2O	N*	P_2O_5	K_2O
1...2	Очень низкое и низкое	120...130	200...250	130...150	85...75	50...40	80...65
3	Среднее	120...130	170...200	110...130	85...75	60...50	90...80
4	Повышенное	110...120	140...170	80...100	90...85	70...60	125...100
5	Высокое	100...110	100...140	60...80	100...90	100...70	170...125
6	Очень высокое	80...100	70...100	40...60	125...100	140...100	250...170

* В зависимости от содержания подвижного фосфора в почве.

ние элемента питания с удобрениями соответственно превышает или не возмещает вынос его с урожаями.

При разработке данных нормативов баланса (табл. 141) исходят из того, что для поддержания прежнего уровня азота, фосфора, калия в почве достаточно внести с органическими и минеральными удобрениями 120...130% азота, 100% фосфора и 100% калия от выноса с урожаем. Указанные в таблице 141 нормативы баланса направлены на поддержание в почве азота на среднем или повышенном уровне, фосфора на высоком и калия на повышенном. Величины баланса и коэффициенты выноса питательных веществ за ротацию севооборота дают перспективу регулирования плодородия почвы (повышения или поддержания его на определенном уровне), позволяют агроному творчески подходить к использованию земельных ресурсов.

В данном случае приходится также пользоваться коэффициентами распределения питательных веществ удобрений по годам (обычно берется не более трех лет). Эти коэффициенты (табл. 142) являются производными от коэффициентов использования питательных веществ из удобрений. В сумме за 3 года величина каждого элемента питания выражается как 100%.

142. Примерные коэффициенты распределения питательных веществ удобрений и азота пожнивно-корневых остатков бобовых культур (в %)

Год действия удобрений	Органические удобрения			Минеральные удобрения			Азот пожнивно-корневых остатков бобовых культур
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	
1-й	40	65	80	100	55	70	50
2-й	40	25	20	—	30	30	30
3-й	20	10	—	—	15	—	20
Всего	100	100	100	100	100	100	100

Рассмотрим данный метод определения норм минеральных удобрений на планируемый урожай картофеля в 200 ц с 1 га при тех же условиях его выращивания, как и в предыдущих методах.

Показатели	N	P_2O_5	K_2O
Вынос питательных веществ с планируемым урожаем (в кг)	120	40	180
Баланс питательных веществ за севооборот (в % от выноса) или коэффициенты выноса (в %)	130 75	200 50	120 85
С учетом поправок на баланс или на коэффициенты выноса требуется всего питательных веществ удобрений на планируемый урожай (в кг на 1 га)	$\frac{120 \cdot 130}{100} = 156$	$\frac{40 \cdot 200}{100} = 80$	$\frac{180 \cdot 120}{100} = 216$
	или $\frac{120 \cdot 100}{75} = 160$	$\frac{40 \cdot 100}{50} = 80$	$\frac{180 \cdot 100}{85} = 212$
(При обоих способах поправок получены практически одинаковые результаты)			
Последействие пожнивно-корневых остатков многолетних трав (в них содержится на 1 га около 120 кг азота) (в кг)	36	—	—
Последействие минеральных удобрений ($N_{50}P_{80}K_{80}$) (см. табл. 142) (в кг)	—	24	24
Действие 30 т органических удобрений ($N_{90}P_{45}K_{120}$) в 1-й год (см. табл. 142) (в кг)	36	29	96
Требуется питательных веществ за счет минеральных удобрений (в кг)	156 — 72 = 84	80 — 53 = 27	216 — 120 = 96
Коэффициенты распределения в 1-й год (в %)	100	55	70
С учетом коэффициентов распределения следует внести с минеральными удобрениями (в кг на 1 га)	$\frac{84 \cdot 100}{100} = 84$	$\frac{27 \cdot 100}{55} = 50$	$\frac{96 \cdot 100}{70} = 140$

При низкой обеспеченности минеральными и органическими удобрениями на почвах, богатых гумусом, а также в засушливой зоне (где эффективность удобрений очень низкая) балансы азота, фосфора и калия складываются иначе (см. раздел «Составление системы удобрения в севообороте»).

Комплексный метод определения норм минеральных удобрений. В основу метода положены: 1) величина планируемого урожая; 2) обеспеченность почвы питательными веществами, а также степень ее окультуренности (бонитет); 3) результаты полевых опытов с удобрениями и производственный опыт передовых хозяйств; 4) использование расчетных методов ввиду недостаточного количества опытной информации; 5) использование интерполирования и экстраполирования данных полевых опытов; 6) частичный учет биологических особенностей предшественника и (в некоторых рекомендациях) механического состава почвы.

Одна из таких рекомендаций норм удобрений для дерново-подзолистых почв Северо-Западного района РСФСР разработана Северо-

143. Примерные нормы удобрений (в кг действующего вещества на 1 га) **под сельскохозяйственные культуры на дерново-подзолистых почвах Северо-Западной зоны РСФСР** (по Н. А. Сапожникову и М. Ф. Корнилову)

Планируемый урожай (в ц с 1 га)		Навоз (в т на 1 га)	Азотные удобрения при окультуренности (бонитете) почвы			Фосфорные удобрения при содержании P_2O_5 (в мг на 100 г почвы)					Калийные удобрения при содержании K_2O (в мг на 100 г почвы)				
			хорошей (60)	средней (40...60)	слабой (20...40)	> 25	15,1...25	10,1...15	5,1...10	< 5	> 25	17,1...25	8,1...17	4,1...8	< 4
Ячмень (зерно)	20...25	—	40	50	80	10р	30	50	70	80	40	50	60	70	80
	35...40	—	70	90	х	30	70	90	120	130	70	80	90	110	130
Овес (зерно)	20...25	—	30	50	70	10р	30	40	60	70	30	40	50	60	70
	35...40	—	50	80	х	10р	50	60	100	120	50	60	70	100	120
Озимая рожь (зерно) по занятому пару	20...25	20	15	30	60	20	30	50	70	90	20	30	40	70	90
	30...35	40	40	60	х	40	60	80	100	110	40	50	60	90	110
Озимая рожь по чистому или клеверному пару	20...25	20	20	30	40	20	30	50	70	100	20	30	40	70	90
	30...35	20	40	50	х	50	70	90	110	130	50	60	70	90	110
Горох и вика (зерно)	18...20	—	20	30	40	20	40	60	90	110	30	40	50	80	100
Подсолнечник на силос (зеленая масса)	300...350	30...40	40	60	90	30	40	50	60	70	40	50	60	80	100
	500...550	40...50	80	100	х	70	80	90	100	120	80	100	120	140	160
Однолетняя бобово-злаковая смесь (зеленая масса)	150...200	—	—	20	30	30	40	50	80	100	20	30	40	60	70
	250...300	—	30	50	60	50	60	80	100	120	30	40	50	70	90
Клевер с тимофеевкой 1-го года пользования с преобладанием клевера (сено)	30...35	—	—	20	30	—	20	40	50	70	—	20	40	50	60
	40...50	—	20	40	40	20	40	60	70	80	40	50	60	60	70

Продолжение

Планируемый урожай (в ц с 1 га)		Навоз (в т на 1 га)	Азотные удобрения при окультуренности (бонитете) почвы			Фосфорные удобрения при содержании P_2O_5 (в мг на 100 г почвы)					Калийные удобрения при содержании K_2O (в мг на 100 г почвы)				
			хорошей (60)	средней (40...60)	слабой (20...40)	> 25	15,1...25	10,1...15	5,1...10	< 5	> 25	17,1...25	8,1...17	4,1...8	< 4
Многолетние травы с преобладанием злаковых (сено)	30...35	—	20	30	50	—	20	30	40	50	—	20	30	40	50
	40...50	—	40	50	70	20	40	60	80	100	30	40	50	60	80
Культурные пастбища в год закладки при посеве бобово-злаковой травосмеси под покров		40...60	20	30	40	60	90	100	120	140	40	60	80	120	140
Культурные пастбища в годы использования (корм. ед.)	2500...3000		60	80	120	—	40	50	60	70	—	20	40	50	60
	4000...5000		160	200	240	50	60	80	90	100	40	50	60	80	100
Кормовая свекла	200...300	30...40	40	60	80	20	30	40	60	80	40	50	60	70	80
	400...500	50...60	70	110	x	60	70	80	100	120	90	100	110	120	140
Лен (волокно)	5...6	—	30	40	50	30	50	70	90	110	40	50	70	80	100
	8...10	—	50	60	x	60	80	100	120	140	60	70	80	100	120
Картофель	180...200	20...30	60	70	80	30	40	50	70	90	40	50	60	80	100
	260...300	40...50	80	90	100	50	60	70	90	100	60	70	80	100	120
Капуста средняя и поздняя	300...400	40...50	40	60	90	40	50	60	80	100	40	60	80	100	120
	500...600	50...60	120	160	x	90	110	120	140	170	80	100	120	140	160
Столовая морковь и свекла	250...300	—	80	100	x	40	60	80	100	120	70	90	110	140	160

Примечание. x — высокий урожай не планируется до окультуривания почвы; р — рядковое удобрение.

144. Корректировка норм минеральных удобрений в зависимости от условий их применения (по Н. А. Сапожникову и М. Ф. Корнилову)

Увеличение на 20...30% (главным образом на почвах низкого бонитета)	Уменьшение на 20...30%
Азотные удобрения	
Применение органических удобрений с пониженным содержанием доступного для растений азота; на вновь осваиваемых подзолистых почвах	Посев культур по хорошему клеверищу, после высокоурожайной люцерны либо на хорошо окультуренных дерново-глеевых или темноцветных почвах; под покровные культуры многолетних трав
Фосфорные удобрения	
Возделывание сельскохозяйственных культур на вновь освоенных почвах с очень низким содержанием легкорастворимых фосфатов и повышенным содержанием алюминия и железа; в случае выворачивания на поверхность подзолистого горизонта; под покровные культуры многолетних трав; при использовании фосфорных удобрений в северной части Нечерноземной зоны	Внесение в предшествующие годы высоких норм фосфорных удобрений; применение повышенных норм навоза (при нормальном содержании в нем фосфора); при локальном внесении фосфорного удобрения
Калийные удобрения	
На торфяных почвах; при высоких нормах азотных удобрений	На глинистых почвах; после длительного (в течение ряда лет) применения повышенных норм калийных удобрений; при внесении повышенных норм навоза

западным научно-исследовательским институтом сельского хозяйства (табл. 143).

Нормы, полученные по таблице 143, окончательно корректируются по таблице 144 в зависимости от условий применения удобрений.

В нашем примере норма минеральных удобрений на планируемый урожай картофеля 200 ц с 1 га составляет по таблице 143 (при внесении на 1 га 20...30 т навоза) $N_{70}P_{70}K_{60}$. После корректировки окончательные нормы внесения на 1 га будут: N — 70 кг (норма без изменений), P_2O_5 — 50 кг (учтена поправка 30% от нормы 70 кг на последействие ранее внесенных фосфорных удобрений) и 60 кг K_2O (без изменений ввиду слабого последействия ранее применяемых калийных удобрений).

В итоге рассмотренные расчетные и комплексный методы определения норм минеральных удобрений на планируемый урожай картофеля 200 ц с 1 га дали следующие результаты: по азоту 70...90 кг, фосфору 45...50 кг и калию 60...140 кг.

К каждому методу определения норм удобрений надо подходить творчески, а правильность установления норм под отдельные культуры в севообороте контролировать балансом питательных веществ за ротацию, который позволяет судить о возможном урожае и перспективе изменения почвенного плодородия.

Удобрение озимых зерновых культур

Озимая пшеница — одна из основных продовольственных культур. Основные районы ее возделывания — Северный Кавказ и Украинская ССР, где сосредоточено более 70% всех посевов. Выращивается она также на значительной площади в Центрально-Черноземной зоне и в Нечерноземной зоне европейской части РСФСР.

Озимую рожь выращивают в Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском, Центрально-Черноземном, Поволжском, Уральском и Западно-Сибирском районах, а также в Белоруссии, на Украине и в Прибалтийских республиках.

Корневая система у озимой пшеницы и ржи мочковатая, располагается преимущественно в пахотном слое почвы. Озимая пшеница кустится осенью и весной; озимая рожь — главным образом осенью. Озимая пшеница очень плохо растет на кислых почвах и хорошо развивается на почвах, близких к нейтральным и нейтральных. Озимая рожь менее требовательна к плодородию почвы, чем другие зерновые культуры. Ее можно возделывать на легких почвах, а также на почвах с повышенной кислотностью. Рожь хорошо растет в интервале кислотности почв от слабокислой до слабощелочной и лучше использует элементы питания из труднодоступных соединений почвы. Для озимой пшеницы малопригодны легкие песчаные и супесчаные почвы. Озимая рожь менее требовательна к предшественникам, чем озимая пшеница. Озимая пшеница выносит на 10 ц зерна вместе с соломой в среднем 35 кг N, 12 кг P_2O_5 и 26 кг K_2O, озимая рожь соответственно 30, 12 и 28 кг. Следовательно, озимая пшеница более требовательна к азоту.

Потребление питательных веществ озимыми в основном заканчивается в фазу цветения (табл. 145).

Наиболее интенсивно элементы питания поступают в фазы кущения и выхода в трубку. Обеспеченность растений питательными веществами в эти фазы развития имеет очень важное значение.

В Нечерноземной зоне европейской части страны наиболее распространенными предшественниками озимых являются занятые пары

145. Динамика поглощения питательных веществ озимыми зерновыми культурами (в % от максимального выноса с урожаем)

Фаза развития	Озимая рожь			Озимая пшеница		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Кущение (осенью)	56	49	63	32	20	23
Выход в трубку	76	58	82	56	37	78
Цветение	93	78	99	85	79	100
Восковая спелость	100	100	100	100	100	84

(вика с овсом, горох с овсом) или многолетние травы первого и второго годов пользования. В Центрально-Черноземной зоне и на Северном Кавказе озимые размещают по чистым, занятым парам, многолетним травам и другим непаровым предшественникам (кукуруза, на силос, ячмень, озимые). В степных районах основным предшественником озимых являются чистые пары. Озимые, высеваемые по чистым парам, лучше обеспечены влагой, питательными веществами и находятся в лучших фитосанитарных условиях, чем по другим предшественникам.

Озимые очень хорошо отзываются на органические удобрения и оплачивают их выше, чем яровые зерновые. Внесение 20 т навоза на 1 га под озимые обеспечивает прибавку зерна на дерново-подзолистых почвах около 7 ц, на серых лесных почвах и выщелоченных черноземах 5...6 ц, а на обыкновенных и южных черноземах около 3 ц на 1 га. Обычно под озимые вносят органические удобрения в норме 20...30 т на 1 га. Их применяют или в чистом пару, или под парозанимающую культуру. Если предшественник убирают рано, то органические удобрения вносят непосредственно под озимые, под вспашку. Под озимые и парозанимающие культуры следует вносить полуперепревший навоз. Если под озимые проводят поверхностную обработку почвы, то навоз надо заделывать при глубокой зяблевой вспашке под парозанимающую культуру.

Действие минеральных удобрений на урожай озимых зерновых культур в значительной степени определяется почвенно-климатическими условиями.

Фосфорные и калийные удобрения следует заделывать под плуг. Только небольшую дозу фосфорных удобрений, порядка 10...15 кг P_2O_5 на 1 га, оставляют для рядкового внесения. Если под озимые ограничиваются поверхностной обработкой почвы, то фосфорные и калийные удобрения лучше внести под парозанимающую культуру с расчетом на озимые. После чистого пара, бобовых трав и зерновых бобовых культур значение фосфорно-калийных удобрений для озимых возрастает, а азотных снижается. Применение правильных норм фосфорных и калийных удобрений способствует накоплению сахаров в молодых растениях, повышает устойчивость их к перезимовке и полеганию при вызревании.

Азотные удобрения действуют наиболее сильно на почвах низкого плодородия, а также в случае короткого периода между уборкой предшествующей культуры и посевом озимых, когда в почве не может накопиться достаточного количества минерального азота. По данным Донского НИИСХ, в метровом слое чернозема на 1 га чистого пара ко времени посева озимой пшеницы накапливается 1000...1500 т продуктивной влаги и до 150...200 кг нитратов. После непаровых предшественников (колосовых и подсолнечника) продуктивная влага практически отсутствует, а нитратов содержится всего 30...40 кг, или в пять раз меньше. Азотные удобрения в качестве основного вносят под озимые с заделкой плугом, культиватором или дисковой бороной. Избыточное питание растений азотом в осенний период снижает накопление в них сахаров и ухудшает устойчивость к перезимовке. Однако

и недостаток азота в этот период также отрицательно сказывается на развитии озимых. Поэтому при посеве озимых по непаровым предшественникам или слабо заправленным органическими удобрениями занятым парам необходимо внесение азотных удобрений перед посевом в количестве 1/3 от общей нормы азота, но, как правило, не более 60...70 кг на 1 га. При размещении озимых по чистому пару, после высокоурожайных бобовых многолетних трав и зерновых бобовых, по хорошо унавоженному занятому пару чаще всего отпадает необходимость внесения азота перед посевом. При раннем подъеме пласта высокоурожайных многолетних бобовых (бобово-злаковых) трав и благоприятных погодных условиях интенсивно протекает минерализация их пожнивно-корневых остатков и в почве накапливается достаточное количество минерального азота. В этом случае урожай озимых может быть не хуже, чем по чистому пару. При поздней распашке многолетних трав период от обработки почвы до посева озимых сокращается и разложение пожнивно-корневых остатков протекает слабо, особенно при низких температурах и избытке влаги. При этом озимые могут испытывать недостаток азота в осенний период и его необходимо восполнить минеральными удобрениями. Вопрос о количестве вносимого азота под озимые до посева прежде всего важен для районов с холодными зимами, где отмечается большая опасность их вымерзания. Сюда относится главным образом Нечерноземная зона РСФСР. В почвенно-климатических районах с короткими мягкими зимами и где исключены значительные потери азота из почвы от вымывания бывает целесообразно внесение всей нормы азота сразу до посева. Это относится к некоторым районам Центрально-Черноземной зоны и Северного Кавказа. Если весна дружная и почва подсыхает быстро, поверхностное внесение азотных удобрений в подкормку может быть менее эффективно по сравнению с внесением всей нормы азота перед посевом с заделкой в почву.

При определении норм азотных удобрений под озимые перед посевом следует исходить из величины планируемого урожая, накопления в растениях азота за осенний период в фазу кущения (см. табл. 145), предшественника и его удобренности. Примерная норма внесения азота под озимую пшеницу на дерново-подзолистых почвах приводится в таблице 146. Если азот вносится при посеве в рядки в виде комплексного удобрения, то приведенные нормы азота до посева уменьшаются на соответствующее количество. Следовательно, в осенний период (основное удобрение + рядковое) вносится 20...40% азота от его общей нормы, т. е. примерно 30%.

Важным приемом является рядковое удобрение озимых. Главная роль в нем принадлежит фосфору, меньшая — азоту, а калий практически не оказывает положительного влияния. Действие азота в припосевном удобрении проявляется обычно после непаровых предшественников, когда почва обеднена минеральным азотом. Рекомендуемая доза рядкового удобрения P_{10} в виде гранулированного суперфосфата или $N_{10}P_{10}K_{10}$, $N_{10}P_{10}$ в виде комплексных удобрений. При более высоких дозах окупаемость 1 кг д. в. удобрений снижается. Высокая же доза азотных и калийных удобрений при внесении в рядки при

146. Внесение азота (в кг на 1 га) **в основное удобрение под озимую пшеницу на дерново-подзолистых почвах** (обобщение автора)

Предшественник	Урожай 30 ц с 1 га		Урожай 40 ц с 1 га		Урожай 50 ц с 1 га	
	общая норма N	в том числе основное удобрение	общая норма N	в том числе основное удобрение	общая норма N	в том числе основное удобрение
Занятый пар (вико-овес, горох-овес)	90	40	140	60	180...200	70
Занятый пар + навоз 30 т на 1 га	60	0...10	120	25	170	40
Многолетние травы (клевер + тимофеевка), урожай сена 40 ц с 1 га	40	0...15	100	30	150	40

посеве может снизить всхожесть семян ввиду высокой концентрации солей. Обобщенные данные географической сети опытов показывают, что внесение на 1 га 50 кг простого гранулированного суперфосфата (10 кг P_2O_5 на 1 га) в рядки при посеве озимой пшеницы обеспечивает прибавку урожая зерна на дерново-подзолистых почвах 3,4 ц, серых лесных 2,8 ц, обыкновенных, южных и выщелоченных черноземах 1,8 ц и на карбонатных черноземах 3,7 ц на 1 га. При этом на каждый центнер суперфосфата получается прибавка 3,6...7,4 ц зерна. Это очень высокая окупаемость удобрений. Правда, такие прибавки рядковое удобрение дает на почвах, слабо обеспеченных подвижным фосфором, и в случае, когда перед посевом применяют низкие дозы фосфорных удобрений.

В настоящее время во всех почвенно-климатических зонах СССР накоплены многочисленные данные, свидетельствующие о том, что при весенней подкормке озимых эффективны только азотные удобрения. Фосфорные и калийные удобрения в этом случае дают незначительный эффект, не оправдывающий производимых затрат. Эффективность азотной подкормки озимых снижается с севера на юг и юго-восток, т. е. с ухудшением условий увлажнения. В среднем по стране внесение 30 кг N на 1 га в подкормку озимых весной обеспечивает прибавку зерна около 3 ц на 1 га, а на дерново-подзолистых почвах — 5...6 ц на 1 га. Наиболее высокие прибавки зерна от ранней весенней азотной подкормки озимых на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны можно объяснить тем, что после перезимовки ослабевшим растениям необходим азот для интенсивного отрастания. К этому времени азот минеральных удобрений, даже если он был внесен до посева, под влиянием осадков осенне-весеннего периода мигрирует из зоны корней в нижележащие слои почвы. Низкая температура и повышенная влажность почвы рано весной задерживают в ней активные микробиологические процессы, в результате в почве крайне недостает минеральных форм азота.

Лучший срок ранневесенней подкормки — сразу после таяния снега по замерзшей почве. Запаздывание с подкормкой резко снижает ее эффективность вследствие быстрого подсыхания почвы.

Часто при ранневесенней подкормке озимых возникают организационные трудности, связанные с неблагоприятными погодными условиями. Это побудило испытать возможность проведения азотной подкормки озимых поздно осенью по замерзшей почве. По данным опытов, проведенных в различных зонах нашей страны, прибавки урожая зерна от осенней и весенней подкормок озимых равными дозами азота оказались близкими, за исключением районов с дерново-подзолистыми почвами, где осенняя подкормка дает худший результат из-за частичной потери азота от вымывания и смыва. Позднюю осеннюю подкормку озимых рекомендуется проводить только на ровных по рельефу участках и только на связных почвах, чтобы избежать потерь азота от смыва и вымывания. Не следует вносить азотные удобрения в подкормку озимых по снежному покрову, а также по свежему рыхлому снегу, так как возможно сдувание их вместе со снегом с полей. Подкормка дает неплохой результат при проведении ее весной на ровных участках по 5...7-сантиметровому слою плотного снега. В последние годы на производстве практикуется проведение прикорневой весенней подкормки озимых с помощью зерновой сеялки поперек рядков растений. Однако в научной литературе пока нет достаточно опытных данных, подтверждающих эффект этого приема по сравнению с общепринятым традиционным ранневесенним способом подкормки. Прикорневая подкормка с помощью зерновой сеялки проводится позднее обычной ранневесенней подкормки, т. е. тогда, когда почва подсохнет и сильно не проминается под колесами трактора. Диски сеялки рыхлят почву и заделывают в нее удобрение.

При подкормке озимых обычно используют аммиачную селитру, сульфат аммония и мочевину. Ранней весной несколько лучший эффект получается от аммиачной селитры, поздней осенью — от сульфата аммония. При внесении аммиачной селитры весной достигается наиболее рациональное питание озимых азотом: аммиачный азот некоторое время удерживается в верхнем слое почвы, а нитратный быстро передвигается вниз, в зону развития корней. Для использования растениями азота мочевины требуется время на ее аммонификацию. При этом происходят потери азота (10% и более) в виде аммиака.

По данным опытов, внесение $N_{40...60}P_{50...60}K_{30...60}$ обеспечивает прибавку урожая зерна озимой пшеницы в основных районах ее возделывания от 6 до 10 ц на 1 га. Более высокая отдача от удобрений отмечается в зонах с достаточным количеством осадков.

Различные сорта озимых зерновых культур неодинаково отзываются на улучшение минерального питания. Это обусловлено потенциальными возможностями сорта и устойчивостью его к полеганию. Более урожайные сорта требуют и более высоких норм удобрений. Правильное применение удобрений способствует наряду с увеличением урожайности озимых повышению качества зерна.

На качество зерна озимой пшеницы положительное влияние оказывает поздняя некорневая азотная подкормка в фазу колошения,

цветения или начала молочной спелости. При этом урожайность не увеличивается, а содержание белка в зерне повышается на 0,5...2%. Возрастает также содержание клейковины. Лучшим азотным удобрением для некорневой подкормки является мочевина. Рабочие концентрации ее для опрыскивания растений можно доводить до 20...30 и даже 40%. Мочевина является не только источником азотного питания, но и физиологически активным веществом, существенно усиливает фотосинтез и, увеличивая распад белков в листьях, способствует более полному оттоку азотистых веществ из них в колос. Имеются данные, когда близкий к насыщенному раствор мочевины не давал ожогов растений в фазу цветения. Аммиачная селитра дает сильные ожоги растений при 2...5%-ной концентрации раствора. Оптимальная доза азота при некорневой подкормке 30...45 кг на 1 га. Жидкую некорневую подкормку следует проводить в пасмурную погоду, а также рано утром или к вечеру. Если вслед за подкормкой пройдет дождь, то эффективность ее резко снижается. В сухом виде подкормка дает худший результат, чем в жидком. Опыты ВИУА показывают, что повышенные дозы азотных удобрений при внесении весной в подкормку дают такой же эффект, как и дробное внесение этой дозы азота рано весной и перед цветением. Преимущество дробного внесения азота в позднюю подкормку отмечалось только на дерново-подзолистых почвах легкого механического состава.

В таблице 147 приводятся нормы удобрений под озимые культуры на планируемый урожай.

Удобрение озимой пшеницы при орошении. Основой поливного режима служит влагозарядковый полив (1000...2000 м³ воды на 1 га), который проводят после глубокой вспашки. Он осуществляется по бороздам, бороздам-щелям и по полосам. При этом почва промачивается на глубину 1...2,5 м. Урожай от влагозарядкового полива возрастает в 1,5...2 раза. Однако один влагозарядковый полив не обеспечивает нормальный режим влажности почвы в течение всей вегетации озимой пшеницы. Обычно дают 2...3 вегетационных полива по 400... 500 м³ на 1 га.

147. Нормы удобрений под озимые зерновые культуры при среднем содержании подвижных фосфора и калия в почве

Почвы	Предшественник	Планируемый урожай (в ц с 1 га)	Нормы удобрений (навоз в т, минеральные удобрения в кг д.в. на 1 га)			
			навоз	N	P_2O_5	K_2O
Дерново-подзолистые	Занятый пар	30...35	30...40	80...100	80...100	60...80
среднесуглинистые	» »	40...45	30...40	120...130	90...120	80...100
и серые лесные						
Выщелоченные черноземы	Непаровой предшественник	30...35	—	60...80	60...90	60...80
	Занятый пар	40...45	20	50...70	50...90	40...50

В основных районах орошаемого земледелия озимая пшеница выращивается главным образом на черноземах и каштановых почвах, где она нуждается прежде всего в азотных и фосфорных удобрениях. Калием эти почвы обеспечены хорошо.

Под озимую пшеницу при орошении органические удобрения вносят, как правило, под предшествующую культуру в норме 20...50 т на 1 га. Фосфорные и калийные удобрения заделывают под плуг (до влагозарядкового полива). Небольшую часть фосфорных удобрений (10...15 кг P_2O_5 на 1 га) выделяют для рядкового внесения. Азотные удобрения в большинстве случаев вносят дробно: примерно 1/3 азота от общей нормы применяют после влагозарядкового полива под культивацию, значительную часть при ранневесенней подкормке и 30...45 кг N на 1 га для некорневой подкормки в фазу колошения — цветения для повышения качества зерна. Дробное внесение азотных удобрений наиболее эффективно на легких почвах, так как на них азот при орошении легко вымывается в нижележащие слои. В многолетних опытах установлено (Украинский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия), что на средне- и тяжелосуглинистых почвах (южные черноземы, каштановые почвы) при глубоком залегании грунтовых вод эффективность азотных удобрений на озимой пшенице почти одинаковая как при допосевном внесении всей нормы, так и при дробном.

В условиях орошения рекомендуется вносить под озимую пшеницу в зависимости от почвенно-климатических условий и агротехнического фона 60...120 кг N, 60...90 кг P_2O_5 и 0...30 кг K_2O на 1 га. Для высокоурожайных сортов озимой пшеницы (Аврора, Кавказ, Мироновская юбилейная и др.) в условиях предкавказских и южных черноземов для получения урожаев более 50 ц зерна с 1 га хорошего качества рекомендуются следующие нормы удобрений: после зерновых колосовых $N_{140...200}P_{90...120}$, после кукурузы на силос $N_{120...180}P_{100...120}K_{40...60}$, после люцерны $N_{80...100}P_{100...120}K_{60...80}$. На светло-каштановых почвах при среднем содержании в них подвижных фосфора и калия для получения зерна озимой пшеницы 50...60 ц с 1 га в условиях Нижнего Поволжья при орошении рекомендуется вносить $N_{120...150}P_{60...90}K_{40...60}$.

Удобрение яровых колосовых культур

Основными зонами товарного производства зерна яровой пшеницы являются Поволжье, Урал, Западная и Восточная Сибирь, Казахстан, где сосредоточено около 95% всех ее посевов. Яровой ячмень и овес возделывают почти повсеместно.

Овес менее требователен к почвенному плодородию и кислотности почвы. Он хорошо удается на среднекислых почвах и может произрастать на супесчаных. Для яровой пшеницы и ячменя необходимы более плодородные почвы и реакция среды, близкая к нейтральной или нейтральная. Урожай их резко снижается на малопрогреваемых тяжелых почвах и на почвах легкого механического состава. Яровая пшеница и ячмень более чувствительны к концентрации почвенного

148. Динамика поступления питательных веществ в яровые зерновые культуры (в % от максимального)

Фаза развития	Яровая пшеница				Овес		
	Сухое вещество	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Кущение	12	33	42	37	—	—	—
Выход в трубку	30	65	57	68	—	—	—
Колошение (выметывание)	54	74	73	88	51	36	54
Цветение	77	87	85	100	82	71	100
Молочная спелость	100	100	100	87	90	83	88
Полная спелость	95	83	97	69	100	100	83

раствора, чем овес. У овса корни проникают на бо́льшую глубину, чем у яровой пшеницы и ячменя. Овес хорошо использует питательные вещества из труднорастворимых соединений почвы.

Потребление питательных веществ у яровых зерновых культур происходит наиболее интенсивно в фазы выхода в трубку и колошения (выметывания) (табл. 148).

На 10 ц зерна вместе с соломой яровые выносят следующее количество питательных веществ (в кг): яровая пшеница 38 — N, 12 — P_2O_5, 25 — K_2O; ячмень 27 — N, 11 — P_2O_5, 24 — K_2O, овес 30 — N, 13 — P_2O_5, 29 — K_2O.

Следовательно, на создание единицы основной продукции яровая пшеница потребляет в 1,3...1,4 раза больше азота, чем овес и ячмень.

Лучшими предшественниками яровых зерновых в Нечерноземной зоне европейской части СССР являются хорошо удобренные пропашные культуры, пласт и оборот пласта многолетних трав, зерновые бобовые, а также удобренные озимые зерновые. В основных районах возделывания яровой пшеницы, где выпадает недостаточное количество осадков, лучшим предшественником является чистый пар (Сибирь, Поволжье, Южный Урал). На Северном Кавказе, в центральных черноземных областях и на юге УССР яровая пшеница дает хорошие урожаи после кукурузы, подсолнечника, картофеля, сахарной свеклы, зерновых бобовых и многолетних трав.

В Нечерноземной зоне, в северной части лесостепи на серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах, на выщелоченных черноземах Зауралья и Восточной Сибири урожай яровых зерновых в основном зависит от азотных удобрений. Во втором минимуме здесь, как правило, находится фосфор. Высокое действие калийных удобрений отмечается только на легких почвах.

На обыкновенных и выщелоченных черноземах Западной Сибири и на обыкновенных черноземах Поволжья при недостаточном увлажнении урожай яровых зерновых повышается от внесения фосфорных и азотных удобрений. В засушливых степных районах юга и юго-востока на обыкновенных, южных черноземах и каштановых почвах прибавка урожая этих культур почти полностью зависит от фосфор-

ных удобрений. Азотные и калийные удобрения в этих условиях практически не действуют.

Яровые зерновые культуры хорошо отзываются на внесение органических удобрений, хотя и уступают в этом отношении озимым. Как правило, под яровые зерновые навоз не вносят.

Если яровая пшеница высевается по чистому пару или по хорошему пласту многолетних бобовых трав, то азотные удобрения или совсем не вносят, или применяют в малых дозах. Своевременная распашка пласта многолетних трав по сравнению с поздней способствует большему накоплению минерального азота в почве. После зернобобового предшественника доза азота обычно снижается в 1,5...2 раза. Во всех этих случаях возрастает роль фосфорных и калийных удобрений. Если яровые зерновые идут после недостаточно удобренного предшественника, выносящего из почвы с урожаем большое количество питательных веществ, повышается значение полного минерального удобрения (табл. 149).

Во всех зонах страны вносят в рядки при посеве яровых зерновых культур около 10 кг P_2O_5 на 1 га в виде гранулированного суперфосфата или комплексных удобрений.

Внесение до посева фосфорно-калийных удобрений осенью под плуг обеспечивает бо́льшую прибавку зерна яровых культур, чем при заделке их весной культиватором или дисковой бороной. Особенно это проявляется в зонах недостаточного увлажнения. Азотные удобрения в зонах избыточного и достаточного увлажнения на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, выщелоченных и оподзоленных черноземах следует вносить весной. Однако аммиачные удобрения, особенно жидкие, на связных почвах можно вносить с осени. В зонах недостаточного увлажнения лучший эффект азотные удобрения часто дают при заделке их плугом с осени под зябь, чем весной под культиватор.

149. Примерные нормы минеральных удобрений (в кг д.в. на 1 га) **под яровую пшеницу** (рекомендации ВИУА)

Район, почвы	N	P_2O_5	K_2O
Центральные области лесостепи, выщелоченные и мощные черноземы	40	50	30
Степные районы юга и юго-востока, южные черноземы и каштановые почвы (при орошении)	90...120	70	30...40
То же, в условиях засоления	70...90	50	—
Обыкновенные и предкавказские черноземы (при орошении)	90...120	70...90	30...40
Степные районы, черноземы и каштановые почвы без орошения	—	50	—
То же, после поздно убранных предшественников и дождливой осени	40	50...70	—
Во всех районах при ограниченных ресурсах удобрений	—	10 (в рядки)	—

Весеннюю подкормку яровых зерновых азотными удобрениями не проводят. Некоторое исключение могут составлять только районы орошаемого земледелия, где часть азота (30...40 кг на 1 га) целесообразно выделять в подкормку ввиду возможного вымывания его из корнеобитаемого слоя почвы.

Внесение удобрений в средних нормах ($N_{40...60}P_{50...60}K_{0...40}$) обеспечивает в различных почвенно-климатических зонах страны прибавки урожая зерна яровых культур 3...8 ц на 1 га. Наименьшие прибавки отмечаются в засушливой зоне, наибольшие — при орошении и в зонах достаточного увлажнения.

Для получения урожая зерна яровых культур 35...40 ц с 1 га рекомендуется вносить на дерново-подзолистых среднесуглинистых и серых лесных почвах $N_{100...120}P_{80...100}K_{80...100}$, а на выщелоченных черноземах $N_{60...70}P_{60...90}K_{50...70}$ при среднем содержании в этих почвах подвижных форм фосфора и калия. В условиях орошения на южных черноземах и каштановых почвах для получения урожая зерна 40...45 ц с 1 га следует вносить $N_{90...120}P_{60...90}K_{0...60}$. Если с осени проводится влагозарядковый полив, то азотные удобрения вносят после него (лучше в аммиачной и амидной форме) или весной под культиватор, а фосфорные и калийные удобрения — с осени под плуг.

С целью повышения качества зерна (прежде всего яровой пшеницы), как и для озимых, применяют некорневую подкормку растений мочевиной в фазу колошения — цветения.

Удобрение зерновых бобовых культур

Эти культуры способны усваивать азот из атмосферы и в большей степени, чем другие культуры, использовать фосфор из труднодоступных фосфорных соединений почвы. Они имеют стержневой корень, который проникает на глубину 1 м и более. Зерновые бобовые хорошо растут на связных нейтральных или близких к нейтральной почвах и положительно отзываются на внесение извести, и только люпин нормально развивается на кислых песчаных и супесчаных почвах, отрицательно реагируя на известкование.

У гороха и вики поступление азота и калия заканчивается к периоду полного цветения, а фосфора — к созреванию. У люпина и кормовых бобов накопление питательных веществ в растениях достигает максимума ко времени созревания бобов на главном стебле. Наиболее интенсивно питательные вещества потребляются зерновыми бобовыми в фазу цветения. На 10 ц зерна с учетом побочной продукции зерновые бобовые в среднем используют (в кг):

	N	P_2O_5	K_2O
горох	66	16	20
вика	65	14	16
люпин	68	19	47
соя	71	16	18

Зерновые бобовые при оптимальных условиях выращивания усваивают из воздуха с помощью клубеньковых бактерий примерно

2/3 азота от общего его содержания в растении и 1/3 азота используют из почвы. Поскольку азотфиксация сильно снижается на кислых почвах, здесь возрастает роль почвенного азота в создании урожая. Лучшим азотфиксатором является люпин, худшим — вика.

Предшественниками зерновых бобовых культур большей частью являются озимые зерновые и пропашные культуры.

Зерновые бобовые хорошо отзываются на органические удобрения, но чаще всего им приходится использовать их последействие. Поскольку эти культуры сами могут фиксировать азот из воздуха, то прежде всего они нуждаются в фосфорно-калийных удобрениях. Укоренилось мнение, что внесение азотных удобрений под зерновые бобовые культуры приводит к снижению фиксации азота из воздуха, т. е. они становятся обычными потребителями азота, как и другие небобовые культуры. Если и рекомендуется вносить азотные удобрения, то только в небольших «стартовых» дозах (20...30 кг на 1 га), чтобы обеспечить растения азотом в начальный период роста, когда деятельность клубеньковых бактерий еще очень слабая. Исследования показали, что относительное количество азота, фиксированного бобовыми культурами из атмосферы (в % от общего выноса азота растением), с увеличением нормы вносимого азота удобрений снижается. Поэтому и стали считать, что внесение азотных удобрений подавляет азотфиксацию бобовыми культурами.

Эффективность азотных удобрений на бобовых культурах может зависеть от кислотности почвы, фосфорно-калийного питания, влажности и температуры почвы, инокуляции семян, от применения разных форм азотных удобрений, от применения микроудобрений (прежде всего молибдена) и др. Общим характерным результатом проведенных опытов является то, что если уровень плодородия почвы не в состоянии обеспечить бобовые растения достаточным количеством минерального азота в начальный период их развития (до начала активной деятельности клубеньков) при других благоприятных факторах, то внесение азотных удобрений положительно сказывается на урожае бобовых и образовании на их корнях клубеньков и их активности. Когда же количество минерального азота в почве вполне достаточно для начального развития бобовых (хорошо окультуренные почвы), то, как правило, азотные удобрения неэффективны.

Количество необходимого минерального азота почвы для зерновых бобовых культур находится в прямой зависимости от величины общего урожая (если считать, что они используют из почвы 1/3 азота от общего его содержания в растениях). Поэтому не каждая почва в состоянии обеспечить зерновые бобовые необходимым количеством минерального азота для получения высокого урожая за счет своего плодородия.

В вегетационных и полевых опытах кафедры агрохимии ТСХА показано, что при внесении азотных удобрений относительное количество фиксированного азота зерновыми бобовыми (в % от его накопления в растении) снижается (табл. 150).

Однако если обратить внимание на абсолютное усвоение N зерновыми бобовыми (вика, горох, соя, фасоль) на различных фонах азотного удобрения, то при оптимальном азотном режиме (равном при-

150. Урожай и накопление азота в инокулированных растениях вики, гороха и сои при различной обеспеченности минеральным азотом (вегетационные опыты, 6 кг почвы или песка на сосуд)

Доза азота (в мг на 1 сосуд)	Урожай (в г)		Общий вынос азота с урожаем (в мг)	Усвоение азота растениями (в мг)		Азот фиксированный (в % от общего накопления в растении)
	общий (зерно+солома+корни)	зерна		из удобрений	из атмосферы	
			Вика (песчаная культура)			
100	—	7,5	517	90	394	76
250	—	9,9	737	214	491	66
1000	—	12,1	1088	700	355	32
			Горох (почвенная культура)			
0	42,8	12,0	670	—	544	81
100	43,3	11,7	672	80	514	77
500	64,1	15,2	1009	400	531	53
1000	69,6	16,6	1245	700	497	40
			Соя (песчаная культура)			
50	24,0	11,6	708	—	604	93
168	36,7	16,6	1050	—	839	80
504	58,6	24,2	1755	—	1273	72

мерно 1/2...1/3 нормы азота удобрений от общего выноса азота с урожаем) растения усваивали из атмосферы столько же и даже больше азота, чем без внесения азотных удобрений. При этом урожай также увеличивался.

Следовательно, при хорошей обеспеченности растений минеральными соединениями азота в начальные периоды развития и создании благоприятных условий для симбиотической азотфиксации во второй половине вегетации происходит успешное сочетание в использовании растениями азота обоих источников питания. Получается наиболее высокий урожай сухой массы и зерна, увеличивается общий вынос азота. При повышенной норме азота в среде клубеньки образовывались позже. Однако темп их развития затем возрастает и их становится даже больше, чем на бедном азотном фоне. Малые «стартовые» дозы азотных удобрений не давали эффекта.

Таким образом, проведенные в последнее время исследования позволяют несколько иначе оценить роль азотных удобрений для зерновых бобовых культур.

При определении норм азотных удобрений под зерновые бобовые культуры можно рекомендовать следующий подход. Если урожай зерна гороха планируется 35 ц с 1 га, то при выносе на 10 ц зерна (вместе с соломой) 60 кг азота общий вынос азота составит 210 кг с 1 га. Примерно 1/2 часть азота от хозяйственного выноса содержится в пожнивно-корневых остатках, т. е. 105 кг на 1 га. Следовательно, в урожае с 1 га всего содержится 315 кг азота. В лучшем случае при оптимальных условиях зерновые бобовые используют из почвы 1/3 азота и 2/3 за счет азотфиксации. В нашем примере растения исполь-

зуют из почвы с 1 га около 105 кг (1/3 от 315 кг). Таким образом, растения потребляют из почвы столько же азота, сколько оставляют его в виде пожнивно-корневых остатков. Поэтому принято считать, что зерновые бобовые не изменяют баланс азота почвы, но сами в значительной степени обеспечивают себя азотом и оказывают хорошее последействие на другие культуры за счет высвобождения минерального азота при разложении корневых и пожнивных остатков. Однако 105 кг азота на 1 га для создания урожая 35 ц с 1 га может обеспечить не каждая почва. Поэтому часть азота следует вносить с удобрениями. Так, если в черноземе содержится на 100 г почвы 10 мг легкогидролизуемого азота, то растение при коэффициенте его использования 20% сможет усвоить 60 кг азота с 1 га. Остальные недостающие 45 кг азота (если не применяются органические удобрения) надо внести с минеральными удобрениями. При коэффициенте использования азота растениями в 1-й год из азотных удобрений 60...70% потребуется на 1 га 60...75 кг азота. На дерново-подзолистых или серых лесных почвах норма будет выше, так как из этих почв растения смогут использовать азота меньше.

Особое место среди зерновых бобовых культур занимает люпин. Он не нуждается в азотных удобрениях.

Сроки внесения и способы заделки минеральных удобрений под зерновые бобовые такие же, как и для яровых зерновых культур. Калийные удобрения желательно применять с меньшим содержанием хлора. В рядки при посеве вносят гранулированный суперфосфат в дозе 10 кг P_2O_5 на 1 га. Обработка семян нитрагином соответствующей группы повышает урожай зерна на 1,5...3 ц на 1 га. Зерновые бобовые хорошо реагируют на обработку семян молибденом или на некорневую подкормку молибденовыми удобрениями.

Удобрение кукурузы

Кукурузу выращивают на зерно и на силос. На зерно ее возделывают на Северном Кавказе, на юге Центрально-Черноземной зоны, в Нижнем Поволжье, в Молдавской ССР, Грузинской ССР, Азербайджанской ССР и в Среднеазиатских республиках. В зонах недостаточного увлажнения лучшими предшественниками для кукурузы являются озимые, идущие по чистому удобренному пару, зерновые бобовые культуры и кукуруза. Многолетние травы, подсолнечник, суданская трава, сахарная свекла и кукуруза 3-го года посева действуют хуже, так как сильно иссушают почву. В районах достаточного увлажнения или при орошении кукурузу можно размещать по пласту многолетних трав, а также по обороту пласта. Кукуруза весьма требовательна к пищевому режиму почв. Почвы должны быть хорошо аэрируемые, не тяжелые по механическому составу. Она хорошо отзывается на известкование и дает высокие урожаи только при реакции почвы, близкой к нейтральной и нейтральной. Главная масса корней кукурузы (примерно 60%) располагается в пахотном слое на глубине до 20 см.

Наибольшее количество элементов питания кукуруза потребляет от фазы выбрасывания метелки до молочной спелости (табл. 151).

151. Динамика накопления кукурузой сухого вещества и элементов питания (в % от максимального) (по данным Украинской сельскохозяйственной академии)

Фаза развития	Сухое вещество	N	P_2O_5	K_2O
9...10 листьев	1	4	3	4
Выбрасывание метелки	24	44	33	69
Цветение	35	61	61	79
Молочная спелость	80	89	88	95
Восковая спелость	100	100	94	100
Полная спелость	94	93	100	82

К фазе молочной спелости растения накапливают около 90% питательных веществ и 80% сухого вещества. Максимальное содержание элементов питания в урожае отмечается в фазу восковой спелости. На 10 ц зерна вместе с побочной продукцией кукуруза выносит в среднем 34 кг N, 12 кг P_2O_5 и 37 кг K_2O, а на 100 ц зеленой массы соответственно 25, 12 и 45 кг.

Кукуруза очень отзывчива на внесение органических удобрений, особенно в нечерноземной полосе. Часто на дерново-подзолистых почвах без внесения органических удобрений не удается получить высокий урожай кукурузы. На этих почвах под кукурузу обычно вносят на 1 га 40...50 т навоза или хорошего компоста. В лесостепной зоне норма составляет 20...30 т, а в степной — около 20 т на 1 га. По данным опытов, внесение на 1 га 20 т навоза под кукурузу на разных почвах лесостепной зоны обеспечивает прибавку урожая зерна от 4 до 9 ц на 1 га, а силосной массы до 90 ц на 1 га. Навоз или компост лучше вносить под глубокую зяблевую вспашку. Во влажных районах на песчаных и супесчаных почвах навоз целесообразнее заделывать весной.

По результатам опытов агрохимслужбы при внесении под кукурузу минеральных удобрений в норме $N_{45...60}P_{60}K_{30...60}$ в основных зонах ее возделывания (на черноземах) прибавка урожая зерна составляет 6...11 ц, а зеленой массы — 30...120 ц на 1 га. Указанные нормы минеральных удобрений обеспечивают урожай зерна 30...50 ц и зеленой массы 250...300 ц с 1 га.

Зональный принцип действия разных видов удобрений и характер влияния предшественника на эффективность удобрений под кукурузу такие же, как и для ранее рассмотренных культур.

Азотные удобрения в зоне недостаточного увлажнения дают больший эффект при внесении под зябь. В районах достаточного и избыточного увлажнения их следует применять весной под перепашку зяби или культивацию. Фосфорно-калийные удобрения вносят под вспашку зяби. Только в зоне избыточного увлажнения на легких почвах калийные удобрения целесообразно применять весной. Недостаток калия в почве вызывает у кукурузы склонность к полеганию. Проростки кукурузы очень чувствительны к повышенной концентра-

ции почвенного раствора. При посеве кукурузы рекомендуется вносить 5...10 кг P_2O_5 на 1 га в виде гранулированного суперфосфата на расстоянии 3...5 см в сторону от семени и на 2...3 см ниже его. Доза азота в рядковом удобрении не более 2,5 кг на 1 га. На суглинистых почвах в зоне достаточного увлажнения или при орошении перенесение части даже азота из основного удобрения в подкормку (не говоря уже о фосфорных и калийных удобрениях) снижает урожай или не дает дополнительного эффекта. Подкормку кукурузы азотом и калием ($N_{30...40}K_{30...40}$) следует проводить только на легких почвах. Перенесение части удобрений (особенно азотных и калийных) из основного удобрения в подкормку может быть также оправдано при внесении высокой годовой нормы. Первую подкормку проводят при высоте растений кукурузы 15...20 см. Удобрения вносят культиватором-растениепитателем на расстоянии 10 см по обе стороны от рядка, а при более поздних фазах развития — в середину междурядья. Все виды азотных удобрений оказывают примерно одинаковое влияние на урожай кукурузы на фоне известкования. Аммиачная и амидная формы азота имеют некоторые преимущества при орошении и в условиях избыточного увлажнения. Лучшим фосфорным удобрением является суперфосфат. Из калийных удобрений преимущество имеют бесхлорные. На дерново-подзолистых среднеокультуренных почвах для получения с 1 га 450...500 ц силосной массы кукурузы рекомендуется вносить на 1 га 40...50 т навоза и $N_{100...120}P_{80...100}K_{0...80}$, а для урожая 700...800 ц — 50 т навоза и $N_{180...200}P_{120...150}K_{180...200}$. На выщелоченных черноземах применение (по унавоженным предшественникам) на 1 га 30...35 т навоза и $N_{70...100}P_{50...80}K_{60...80}$ обеспечивает сбор 60...70 ц зерна с 1 га. В зоне орошаемого земледелия для получения урожая зерна 60...80 ц с 1 га или зеленой массы 600...800 ц с 1 га вносят на 1 га 20...30 т навоза и $N_{100...180}P_{60...120}K_{0...70}$.

Удобрение картофеля

Картофель в основном возделывается в РСФСР, Украинской ССР и Белорусской ССР. Лучшие почвы для него — черноземы, пойменные почвы, окультуренные торфяники, а также легко- и среднесуглинистые дерново-подзолистые окультуренные почвы. Оптимальная реакция среды слабокислая. Картофель по сравнению с с большинством полевых культур лучше переносит кислые почвы и более высокие концентрации почвенного раствора. Корневая система у него мочковатая. Основная часть корней (90...95%) расположена в пахотном слое почвы.

К концу цветения, когда полностью формируется ботва, растения потребляют 2/3...3/4 питательных веществ (табл. 152).

От всходов до начала бутонизации (май — июнь) среднепоздние сорта картофеля накапливают 20...27% питательных веществ, от бутонизации до конца цветения (июль) — 40...60% и после цветения — 20...33%. У ранних сортов картофеля срок поступления элементов питания наименее короткий, примерно в течение 1...1,5 месяца. Поэтому неблагоприятные погодные условия в большей степени отра-

152. Прирост ботвы, клубней и накопление питательных веществ картофелем сорта Лорх (в % от максимального) (данные НИИКХ)

Месяц (фаза развития)	Ботва	Клубни	N	P_2O_5	K_2O
Июнь (начало бутонизации)	38	6	27	23	20
Июль (бутонизация и цветение)	100	31	67	75	80
Август (наибольший рост клубней)	94	50	91	85	98
Сентябрь (созревание)	86	100	100	100	100

жаются на раннем картофеле, чем на позднем. Ко времени уборки в клубнях картофеля накапливается примерно 80% азота, 90% фосфора и более 90% калия от общего их количества во всем урожае. На 100 ц клубней при соответствующем количестве ботвы разные сорта картофеля в зависимости от почвенно-климатических условий выносят 40...70 кг N, 15...20 кг P_2O_5 и 60...90 кг K_2O. Как правило, ранние сорта потребляют меньше питательных веществ на единицу основной продукции, чем поздние. Объясняется это прежде всего более высоким соотношением ботвы к клубням у поздних сортов.

Лучшие предшественники для картофеля: оборот пласта многолетних трав, озимые зерновые, идущие по чистым и занятым удобренным парам, зерновые бобовые, однолетние бобово-злаковые смеси, многолетние травы. Допустима также повторная культура картофеля.

Избыточное известкование почвы вызывает образование парши на клубнях картофеля, снижает содержание в них крахмала и ухудшает лежкость при хранении. Известкование прежде всего уменьшает доступность калия для растений, особенно для картофеля, льна и люпина. Это происходит вследствие обогащения почвенного раствора кальцием (или кальцием и магнием). В результате соотношение между калием, с одной стороны, и кальцием и магнием, с другой, резко изменяется, поглощение калия растениями снижается. Поэтому при известковании следует вносить повышенные нормы калийных удобрений (увеличивать их примерно в 1,5 раза). На известкованных почвах сильно снижается также доступность бора. Исправить это можно применением борных удобрений (0,7...1 кг B на 1 га).

Вредное действие извести на картофель объясняется также нарушением оптимального соотношения в поглощении между кальцием и магнием. Поэтому известковые удобрения, содержащие магний, наиболее желательны в севооборотах с картофелем, особенно на легких почвах. Поскольку в севооборотах наряду с картофелем выращиваются другие культуры, которые очень хорошо отзываются на известкование, приходится его проводить с учетом биологических особенностей всех культур. Обычно в севооборотах с картофелем нормы извести снижают от полной гидролитической кислотности на 1/3 на средних и тяжелых по механическому составу почвах и на 1/2 на легких. В севооборотах со значительным содержанием картофеля (два поля и больше) дозы извести обычно применяют не более 1/2 от полной. Учитывая, что

действие извести начинает существенно проявляться на 2—3-й год после ее внесения и затухает на 5-й и 6-й годы при дозах, равных 1/2 от гидролитической кислотности, ее следует вносить или непосредственно под картофель (лучше весной под культиватор), или за несколько лет вперед, т. е. когда картофель будет испытывать слабое последействие извести. Если почвы средне- и сильнокислые (pH_{KCl} 5,0 и менее), то известкование полей с картофелем обязательно. Отрицательное действие извести (даже полной нормы) на картофель можно снять внесением повышенных норм калия, применением известково-магниевых и борных удобрений.

Картофель очень хорошо отзывается на внесение органических удобрений. Ранние его сорта ввиду более короткого вегетационного периода используют питательные вещества навоза менее продуктивно, чем поздние. Наиболее сильное действие навоза на урожай картофеля отмечается на дерново-подзолистых почвах легкого механического состава, а также в зонах достаточного увлажнения. Оптимальная норма навоза под картофель с точки зрения окупаемости 1 т его прибавкой урожая составляет для дерново-подзолистых почв до 40 т на 1 га, а для черноземов 20 т на 1 га. При увеличении норм навоза оплата 1 т его прибавкой урожая снижается, хотя урожайность с 1 га увеличивается. По усредненным опытным данным, внесение на 1 га 20...40 т навоза в различных почвенно-климатических зонах обеспечивает прибавку урожая клубней 25...60 ц на 1 га. Часто хозяйства Нечерноземной зоны для получения высоких урожаев картофеля хорошего качества применяют навоз или компост в норме 50...80 т на 1 га. На песчаных, супесчаных и легкосуглинистых почвах в зонах достаточного и избыточного увлажнения наибольший эффект дает весеннее внесение навоза, на средних и тяжелых почвах — осенью под зябь. При внесении в почву на 1 га 30 т навоза дополнительно выделяется на гектар ежедневно 100...200 кг CO_2. Для создания же урожая картофеля 300...400 ц с 1 га требуется ежедневно 200...300 кг CO_2. Только за счет углекислоты прибавка урожая клубней может возрастать на 30...40%. Из навоза картофель получает калий в легкодоступной форме и практически без хлора, что также очень важно.

Использование под картофель торфа малоэффективно. Внесение на 1 га 30...40 т торфа редко обеспечивает прибавку урожая клубней более 10...20%. Слабая эффективность чистого торфа объясняется тем, что органическое вещество его трудно разлагается в почве. На песчаных и супесчаных почвах высокий результат дают сидеральные удобрения. К зеленому удобрению следует дополнительно вносить прежде всего фосфорные и калийные удобрения. Органические удобрения повышают удельный выход крупных клубней в структуре урожая.

На дерново-подзолистых суглинистых, серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах наибольший эффект обеспечивают азотные удобрения, затем фосфорные и в последнюю очередь калийные. На песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почвах первое место по эффективности принадлежит азотным удобрениям, а второе — калийным. На обыкновенных и мощных черноземах при внесении под картофель наиболее эффективны фосфорные удобрения, за-

тем азотные и в значительно меньшей степени калийные. На пойменных и торфянистых почвах в первом минимуме находится калий, во втором — азот и фосфор. Отмеченная зависимость характерна и для большинства других культур. По результатам опытов агрохимслужбы при внесении минеральных удобрений (на безнавозном фоне) в норме $N_{120}P_{120}K_{90...120}$ на дерново-подзолистых почвах урожайность клубней картофеля составляет 195...226 ц с 1 га (прибавка 72...85 ц на 1 га). На светло-серых и серых лесных почвах минеральные удобрения в норме $N_{120}P_{90...120}K_{120}$ обеспечивают урожай картофеля 172...199 ц с 1 га (прибавка 62...82 ц на 1 га). На темно-серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах урожай картофеля 165...209 ц с 1 га (прибавка 29...67 ц на 1 га) получается при норме минеральных удобрений $N_{60...120}P_{60...120}K_{90...120}$.

Допосевное применение минеральных удобрений заключается в следующем. В районах достаточного и избыточного увлажнения твердые азотные удобрения следует вносить весной под перепашку или культивацию зяби, а жидкие аммиачные удобрения на связных почвах можно вносить под зябь. Фосфорные удобрения (кроме гранулированного суперфосфата) и калийные (особенно хлорсодержащие) лучше вносить с осени под плуг. Только на песчаных и супесчаных почвах калийные удобрения целесообразно применять весной. Гранулированный суперфосфат и гранулированные комплексные удобрения дают наибольший эффект при внесении их в борозду при посадке картофеля. При других обстоятельствах их лучше заделывать не осенью под зябь, а весной под ее перепашку. На пойменных и торфянистых почвах минеральные удобрения следует вносить только весной.

При посадке картофеля минеральные удобрения вносят в норме $N_{20...40}P_{20...40}$ или $N_{20...10}P_{20...40}K_{20...40}$ в виде комплексных удобрений или $P_{20...40}$ гранулированного суперфосфата. Припосевное удобрение обеспечивает прибавку урожая клубней 25...50 ц на 1 га.

Перенесение части азотных и калийных удобрений ($N_{30...40}K_{30...40}$) из основного удобрения в подкормку может быть оправдано только в увлажненных районах или при орошении на песчаных и супесчаных почвах, где возможно вымывание этих удобрений.

На известкованных почвах некоторое преимущество в первые годы может быть на стороне физиологически кислых азотных удобрений. Среди фосфорных удобрений, применяемых под картофель, особо можно выделить только фосфоритную муку. На кислых почвах (pH_{KCl} 5,0 и ниже) фосфоритная мука может дать такой же результат, как и суперфосфат, если она вносится по сравнению с ним в двойной норме по P_2O_5. Лучшими калийными удобрениями для картофеля являются сернокислый калий, калимагнезия и калимаг, которые практически не содержат хлора. Затем следует хлористый калий. Сырые калийные соли под картофель не применяют. На легких почвах калийно-магнезиальные удобрения эффективнее сернокислого калия. Сырые калийные соли несколько повышают урожай, но при этом резко снижают крахмалистость клубней, в результате чего сбор крахмала с 1 га может быть даже меньше, чем без внесения таких удобрений.

Более высокие урожаи картофеля получаются при совместном при-

153. Нормы удобрений под картофель на планируемый урожай

Почвы	Район	Планируемый урожай (в ц с 1 га)	Навоз (в т на 1 га)	Минеральные удобрения (в кг д.в. на 1 га)		
				N	P_2O_5	K_2O
Дерново-подзолистые супесчаные	Центральный	130...150	30...40	100	40...80	60...100
		170...200	30...40	120	60...100	80...120
	БССР	150...220	60...70	70...80	30...70	60...100
		220...300	60...70	80...90	40...80	70...130
Дерново-подзолистые суглинистые	Северо-Западный	180...200	30...40	60...90	30...90	40...100
		250...300	40...50	80...120	50...110	60...120
	Центральный	130...150	30...40	80	40...80	60...80
		200...250	30...40	120	80...100	80...120
	БССР	150...220	50...60	60...70	30...80	50...90
		220...300	60...70	70...80	50...90	60...120
Торфяно-болотные	БССР	До 180	—	—	60...110	80...160
		260...350	—	—	80...150	100...200
Темно-серые, оподзоленные и выщелоченные черноземы	Центральные черноземные области, УССР	150...200	20...30	60...80	40...60	40...90
		200...250	20...30	100...130	90...110	120...160

менении органических и минеральных удобрений по сравнению с раздельным их внесением в эквивалентных количествах питательных веществ. При внесении навоза под картофель в различных почвенно-климатических условиях к нему прежде всего следует добавлять азотные удобрения из расчета 10...15 кг азота на каждые 10 т навоза. Это наиболее характерно для дерново-подзолистых, серых лесных почв, оподзоленных и выщелоченных черноземов. Причем ранние сорта картофеля более отзывчивы на дополнительное внесение азота на фоне навоза, чем позднеспелые. В принципе при внесении только одних минеральных удобрений можно получить высокие урожаи картофеля, но с более низким содержанием крахмала в клубнях, чем по органическим удобрениям или при совместном правильном их применении с минеральными. Примерные годовые нормы удобрений под картофель на разных почвах даны в таблице 153.

Орошение картофеля, особенно в период цветения и интенсивного клубнеобразования, оказывает решающее влияние на его урожайность. При орошении дробное внесение удобрений часто способствует повышению урожайности. В этом случае проводят одну или две подкормки минеральными удобрениями в дозе $N_{20...40}K_{20...40}$. Первая подкормка дается при высоте растения около 20 см, вторая — в период бутонизации. Удобрения вносят на глубину 8...12 см и на 12...15 см в сторону от растения при первой подкормке или в середину междурядья при второй.

Самая высокая крахмалистость клубней картофеля обычно бывает на почвах, где не вносятся удобрения. Органические удобрения несколько снижают содержание крахмала в клубнях, однако значительно слабее, чем азотные (в повышенных нормах) и особенно хлорсодержащие калийные удобрения. Фосфор повышает крахмалистость клубней.

Удобрение многолетних трав в полевых, прифермских и сенокосно-пастбищных севооборотах

Бобовые многолетние травы более требовательны к плодородию почвы, чем злаковые, и хорошо растут на почвах, близких к нейтральным и нейтральных. Злаковые травы дают высокие урожаи и на слабокислых почвах. Бобовые менее устойчивы в травостоях, чем злаковые травы. Выпадение их связано с вымерзанием, вымоканием, выпреванием, неблагоприятной кислотностью почвы, а также с плохой обеспеченностью фосфорно-калийным питанием при других благоприятных условиях, в частности при внесении азотных удобрений. Последнее обстоятельство связано с тем, что злаки имеют более развитую корневую систему по отношению к общей массе растения, чем бобовые травы. Поэтому при внесении азотных удобрений, недостаток которых прежде всего сдерживает развитие злаковых в травосмеси, последние начинают активно отрастать и использовать фосфор и калий почвы за счет лучшей усвояющей способности своей корневой системы, тем самым ухудшая условия фосфорно-калийного питания для бобовых. Поэтому для сохранения бобовых в травостое

требуется прежде всего хорошее фосфорно-калийное питание, особенно при внесении азотных удобрений. Фосфорно-калийные удобрения способствуют также более высокой устойчивости бобовых трав к перезимовке и вымоканию.

Наиболее интенсивно накопление сухого вещества и элементов питания у бобовых многолетних трав происходит в фазы бутонизации и цветения. Так, у клевера за период цветения накапливается в урожае около 50% сухого вещества и примерно половина всех питательных веществ. Травы верхового типа (тимофеевка, овсяница луговая, ежа сборная, лисохвост и др.) ко времени колошения — цветения накапливают почти весь азот и калий и 80...90% фосфора, а низовые злаки — примерно 70% азота, 60% фосфора и 70% калия. Средний вынос питательных веществ на 10 ц сена разных видов многолетних трав составляет (в кг):

	N	P_2O_5	K_2O
клевер красный	20	6	15
клевер белый	23	8	13
люцерна	26	7	15
эспарцет	25	5	13
сераделла	25	9	22
тимофеевка	16	7	24

В более раннем возрасте многолетние травы содержат больше питательных веществ на единицу сухого вещества. Поэтому на пастбищах, где травы стравливают в более молодом возрасте, чем убирают их на сенокосах, вынос питательных веществ на единицу урожая всегда выше. По этой причине вынос питательных веществ на 1 т сена второго укоса выше, чем первого. В среднем 10 ц сена с естественного удобренного луга выносят 15...20 кг N, 4...6 кг P_2O_5 и 15...20 кг K_2O. С правильно удобренных пастбищ 10 ц воздушно-сухой массы травы выносят 30 кг N, 6...7 кг P_2O_5 и 30 кг K_2O. В 10 ц зеленой массы травы пастбищ содержится в среднем 6 кг N, 1,3 кг P_2O_5 и 6 кг K_2O, а в 1000 корм. ед. — 30...35 кг N, 6...7 кг P_2O_5 и 30...35 кг K_2O.

Бобовые многолетние травы при оптимальных условиях выращивания обеспечивают себя азотом на $^2/_3$ за счет атмосферы и только $^1/_3$ азота используют из почвы. В смешанных травостоях злаки используют азот бобовых после их отмирания, а также после разложения клубеньков. Количество клубеньков на корнях бобовых многолетних трав увеличивается до фазы цветения, затем они постепенно отмирают. Продолжительность функционирования клубенька около 6 недель. При многократном скашивании клевера задерживается наступление фазы цветения, поэтому фиксация азота клубеньковыми бактериями увеличивается. Отсюда при пастбищном использовании трав фиксация атмосферного азота бобовыми протекает более интенсивно, чем при сенокосном.

Известкование дает наилучшие результаты при внесении извести под покровную культуру или под культуру, предшествующую покровной, чем поверхностно по многолетним травам.

В опытах при поверхностном внесении извести на лугах снижение кислотности почвы через 3,5 года наблюдалось только в верхнем слое почвы 0...5 см, в то время как при внесении извести под плуг перед покровной культурой произошло резкое снижение кислотности по всему пахотному слою. Известкование повышает содержание в травостое бобовых и более ценных злаковых трав. В результате повышается содержание протеина и кальция в корме и существенно улучшается поедаемость трав на пастбищах. Если известь применяют с фосфоритной мукой, то последнюю заделывают под глубокую вспашку плугом с предплужником осенью под покровную культуру, а известь — весной под культиватор или дисковую борону.

Органические удобрения наиболее рационально вносить при закладке пастбища под плуг в норме не менее 30...40 т на 1 га, в полевых севооборотах — под предшествующую покровной или покровную культуру. При поверхностном внесении навоза по многолетним травам происходят потери аммиачного азота, а также сильно снижается поедаемость травостоя скотом, особенно в первое и второе стравливания. Поэтому не следует практиковать поверхностное внесение органических удобрений. Органические удобрения способствуют увеличению содержания бобовых в травостое, тем самым возрастает содержание протеина в корме.

Навозную жижу на многолетних травах можно вносить поверхностно в количестве 10...20 т на 1 га, что соответствует 22...44 кг азота и 46...92 кг калия. Лучший срок внесения — ранняя весна.

Данные многих авторов свидетельствуют о том, что бобово-злаковые травосмеси при содержании в них бобовых 30% и более обеспечивают получение таких же урожаев, как внесение на 1 га 90...180 кг азота на злаковых травостоях. При этом преимущество в содержании протеина остается за первыми. Однако при высокой продуктивности животноводства возникает потребность получения максимального количества кормов с 1 га. С этой целью создаются высокопродуктивные орошаемые злаковые пастбища, обеспечиваемые азотом за счет минеральных удобрений. В полевых севооборотах на бобово-злаковых травах также используют азотные удобрения совместно с повышенными нормами фосфора и калия, что позволяет получить более высокие урожаи трав и меньшее снижение доли бобовых в травостое. Даже на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве дополнительное внесение азота на фоне РК значительно повышает урожай бобово-злаковых и бобовых травосмесей (табл. 154).

154. Влияние удобрений на урожай трав и вынос питательных веществ (по данным ВНИИК)

Удобрение	Трава	Урожай сена (в ц с 1 га)	Вынос с урожаем (в кг с 1 га)		
			N	P_2O_5	K_2O
Без удобрений	Тимофеевка	70,0	75	19	71

Продолжение

Удобрение	Трава	Урожай сена (в ц с 1 га)	Вынос с урожаем (в кг с 1 га)		
			N	P_2O_5	K_2O
	Клевер красный	48,5	122	20	45
	Тимофеевка + клевер	74,7	120	26	76
PK	Тимофеевка	88,6	85	26	121
	Клевер красный	55,3	138	26	89
	Тимофеевка + клевер	82,9	107	33	129
NPK	Тимофеевка	116,5	142	40	170
	Клевер красный	67,7	169	30	120
	Тимофеевка + клевер	107,4	143	40	166

Однако при значительном участии в травостое бобовых действие низких доз азота (менее 30 кг на 1 га) может вовсе не проявляться. По мере выпадения бобовых потребность трав в азоте возрастает. Так, в опыте Института кормов при внесении на 1 га 90 кг азота на травосмесь 1-го года пользования с содержанием в ней бобовых до 50% прибавка урожая сена составляла 10 ц на 1 га; на травостоях 2-го, 3-го и 4-го годов пользования по мере выпадения бобовых прибавка равнялась соответственно 12, 32 и 37 ц на 1 га.

Для определения нормы азотных удобрений на бобово-злаковых травостоях можно руководствоваться следующим. Если урожай сена клевера с тимофеевкой 1-го года пользования при преимуществе в нем клевера планируется 40 ц с 1 га, то при содержании в сене 2% азота общее количество его в урожае с 1 га составит 80 кг. В пожнивно-корневых остатках будет находиться примерно такое же количество азота, а всего в растениях с 1 га — 160 кг азота.

При оптимальных условиях бобовые используют из почвы $^1/_3$ азота от общего его количества в них, т. е. 53 кг. Если среднеокультуренная дерново-подзолистая почва содержит на 100 г почвы примерно 5 мг легкогидролизуемого азота, или 150 кг на 1 га, то при коэффициенте его использования 20% растения смогут получить с 1 га 30 кг азота. Недостающие 23 кг азота следует восполнить минеральными удобрениями. Тогда при коэффициенте использования 60% следует внести с азотными удобрениями на 1 га

$$\frac{23 \cdot 100}{60} = 40 \text{ кг азота.}$$

При внесении навоза под покровную культуру или ей предшествующую норма азота снижается с учетом последействия навоза. Под травы 2-го года пользования, когда доля тимофеевки в урожае возрастает, норму азота следует дополнительно увеличить на 15...20 кг, или в 1,3...1,5 раза.

По мнению ряда ученых, нормы азотных удобрений на орошаемых бобово-злаковых пастбищах с целью более длительного сохранения бобовых в травостое должны быть в пределах 50...100 кг азота на 1 га.

Азотные удобрения особенно сильно снижают содержание бобовых в травостое при недостаточном фосфорно-калийном питании. В результате уменьшается сбор протеина с 1 га. На злаковых травосмесях азотные удобрения повышают урожай прежде всего верховых злаков. При этом возрастает содержание сырого протеина в корме. Бобовые более устойчивы в травостоях при внесении азота не рано весной, а в начале выхода в трубку или еще лучше под второй укос. Это объясняется более энергичным ростом весной злаков по сравнению с бобовыми травами в условиях высокой влажности и низких температур. При внесении азотных удобрений рано весной темп этот еще более усиливается, а развитие бобовых замедляется. Поэтому на богатых бобовыми травостоях можно повысить урожай, существенно не подавляя бобовых внесением азотных удобрений на сенокосах после первого укоса (или после начала отрастания трав), а на пастбищах после первого стравливания при достаточном фосфорно-калийном питании. Из азотных удобрений при поверхностном их внесении преимущество на стороне аммиачной селитры по сравнению с сульфатом аммония и особенно мочевиной. Аммиачную воду или безводный аммиак можно вносить на лугах и пастбищах не чаще одного раза в сезон специальными машинами на глубину 12...15 см с разрезанием дернины лапами-ножами, расположенными на расстоянии 30 см один от другого. При более частом внесении сильно повреждается дернина.

Действие азотных удобрений, как правило, ограничивается одним укосом или одним стравливанием. Только при высоких нормах азота (более 90 кг на 1 га) отмечается некоторое его последействие. Поэтому лучший эффект азотные удобрения дают на злаковом пастбище при более равномерном их распределении в течение сезона под каждое стравливание. Это особенно характерно для орошаемых пастбищ, когда увлажнение почвы поддерживается на нужном уровне в течение вегетационного периода.

В полевых севооборотах фосфорные и калийные удобрения дают примерно в два раза большую прибавку урожая при внесении их под плуг под покровную культуру (с учетом потребности трав), чем поверхностно по травам. При закладке пастбища фосфорные и калийные удобрения вносят под плуг в норме $P_{100...150}K_{60...150}$. Их можно применять и в запас. Однако надо быть осторожным в отношении высоких норм калия, так как это может вызвать сильное накопление его в корме. Фосфорно-калийные удобрения при подкормке трав применяют осенью или ранней весной (лучше осенью). Фосфорные удобрения вносят в один прием, калийные — под каждый укос или стравливание — более 60 кг K_2O на 1 га. Это способствует снижению накопления калия в корме. Лучшее фосфорное удобрение для подкормки трав — суперфосфат. В запас под плуг (под покровную культуру) на кислых почвах предпочтительнее вносить фосфоритную муку. Для злаковых трав содержание хлора в калийных удобрениях имеет малую значимость, для бобовых лучше использовать удобрения с меньшим содержанием хлора.

Нормы удобрений для разных типов лугов сенокосного использования даны в таблице 155.

155. Примерные годовые нормы минеральных удобрений (в кг на 1 га) на лугах (по П. И. Ромашову)

Тип луга	N	P_2O_5	K_2O
	в кг на 1 га		
Суходольный, а также заливной высокого уровня	30...50	20...30	30...45
Заливной среднего и низкого уровня	30...70	20...30	20...30
Низинный с темноцветными почвами	30...50	30...40	40...50
Сеяный на осушенных торфяниках	0...50	30...45	45...90
Лугостепной поливной с черноземовидными луговыми почвами	30...70	30...45	0...20
Горно-степной и субальпийский	30...50	30...45	20...30

На поливных культурных злаковых пастбищах применяют более высокие нормы минеральных удобрений. На дерново-подзолистых и серых лесных почвах (при одинаковых классах по фосфору и калию) рекомендуется вносить на злаковых пастбищах удобрения в соотношении $N:P_2O_5:K_2O=3:1:1,5$ (например, $N_{180...240}P_{60...80}K_{90...120}$). При этом внесение за сезон свыше 300 кг азота на 1 га не всегда экономически выгодно и к тому же может привести к избыточному содержанию азота нитратов в корме (свыше 0,07% на сухую массу). Обычно нормы азота составляют не более 240 кг на 1 га. Это обеспечивает выход 6...8 тыс. корм. ед. с 1 га пастбища за сезон.

Удобрение льна-долгунца

Основные массивы прядильного льна сосредоточены в Нечерноземной зоне. Лен дает высокие урожаи на плодородных дерново-подзолистых средне- и легкосуглинистых почвах. Оптимальная реакция почвы — слабокислая (pH_{KCl} 5,1...5,5). Высокая потребность к плодородию почвы объясняется слабой усвояющей способностью корневой системы, которая состоит из главного стержневого корня и мелких ответвлений и располагается главным образом в пахотном слое. Лен очень плохо использует труднодоступные соединения почвы. Содержание подвижного алюминия свыше 2...2,5 мг на 100 г почвы оказывает на него токсическое действие. Лен имеет повышенную чувствительность к концентрации почвенного раствора, особенно в период прорастания семян. На нейтральных и карбонатных почвах он страдает от избытка кальция и недостатка бора, что вызывает заболевание его бактериозом. Лучшим предшественником для льна является пласт многолетних трав. Затем по нисходящей степени следуют: оборот пласта, однолетние бобово-злаковые травы (вика и горох с овсом), картофель, люпин и др. Критический период потребности льна в фосфоре приходится от всходов до фазы «елочки», в азоте — от фазы «елочки» до бутонизации и в калии — в первые три недели роста (фаза «елочки»), а также во время бутонизации, когда калий исключительно важен для образования семян. К концу цветения поступление азота и калия в растение заканчивается, а фосфора составляет 80...90%. К началу буто-

низации (примерно через 7 недель после всходов) лен-долгунец накапливает 50...60% азота, 40...50% фосфора и 70...75% калия, причем около половины этого количества питательных веществ поступает в первые 10 дней быстрого роста. От начала бутонизации до конца цветения (всего за три недели) лен потребляет 40...50% азота, 40% фосфора и 25...30% калия. Наибольшее среднесуточное потребление азота наблюдается в фазу цветения, фосфора и калия — перед бутонизацией. Лен-долгунец выносит в среднем на 10 ц волокна 80 кг N, 40 кг P_2O_5 и 70 кг K_2O, а на 10 ц соломы соответственно 15, 7 и 12 кг.

Подход к применению извести в льняных севооборотах тот же, что и при удобрении картофеля. В опытах Белорусского НИИ земледелия на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве было установлено, что отрицательное последействие известкования на урожай льна проявлялось только или при исключении калийных удобрений, или когда их вносили в севооборотах в малых дозах. На произвесткованной почве отношение $N:K_2O$ в растениях не должно превышать в фазу «елочки» 0,78, а в фазу бутонизации 0,75. Лучшее соотношение в эти фазы должно составлять примерно 0,5.

Органические удобрения в льняных севооборотах вносят в занятом пару, под пропашные или озимые культуры. Непосредственно под лен свежий или слаборазложившийся навоз не применяют, так как в навозе содержится много семян сорняков, в результате чего возрастает засоренность посевов; кроме того, невозможно достигнуть равномерного разбрасывания по полю навоза, что вызывает пестроту стеблестоя, а отсюда и неравномерность созревания льна.

Под лен можно вносить только хорошо разложившийся навоз, перегной, птичий помет или навозную жижу. Норма навозной жижи 10...15 т, птичьего помета 1...1,5 т на 1 га; вносить их лучше до посева. Однако применение органических удобрений под лен, который следует после хороших многолетних трав, может вызвать избыток азотного питания, полегание льна и снижение качества волокна.

Фосфорные и калийные удобрения лучше вносить под лен осенью под зябь, азотные — весной под перепашку или культивацию зяби. В рядки при посеве дают на 1 га 5...10 кг P_2O_5 в виде гранулированного суперфосфата. Подкормка проводится в фазу «елочки» только азотными удобрениями и только в случае, если до посева не смогли внести нужное количество азота. На почвах, обеспеченных азотом (после хороших клеверищ), соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ в удобрениях должно составлять 1:3:4, а на бедных — 1:2:2. При этом волокно получается высокого качества. По данным 400 опытов агрохимслужбы, внесение под лен (после многолетних трав) минеральных удобрений в норме $N_{40}P_{60}K_{60}$ обеспечивает в среднем прибавку урожая соломы на дерново-подзолистых почвах в пределах 9...11 ц на 1 га (около 2 ц волокна).

Нормы минеральных удобрений под лен в зависимости от планируемого урожая, предшественников и степени обеспеченности почвы элементами минерального питания приведены в таблице 156.

На темноцветных заболоченных и известкованных почвах, где лен испытывает недостаток бора, под него вносят борные удобрения (0,5...1,0 кг B на 1 га).

156. Нормы минеральных удобрений (в кг д. в. на 1 га) под лен-долгунец на дерново-подзолистых почвах БССР

Планируемый урожай волокна (в ц с 1 га)	Предшественник льна	Норма азота	Норма P_2O_5 при обеспеченности почв подвижным фосфором			Нормы K_2O при обеспеченности почв подвижным калием		
			низкой (1...3 группы)	средней (4...5 группы)	высокой (6 группа)	низкой (1...2 группы)	средней (3...4) группы)	высокой (5...6 группы)
	Слабо удобренные однолетние культуры, травосмеси с низким урожаем	35...50	60...70	40...50	20	90...100	50...60	20...30
5...7	Хорошо удобренные однолетние культуры	30...35	50...60	30...40	Рядковое	80...90	40...50	20...30
	Полноценное клеверище	20...30	80...90	50...60	20...30	90...100	70...80	40...50
	Хорошо удобренные однолетние культуры	40...45	80...90	60...70	40...50	90...100	80...90	50...60
8...9	Полноценное клеверище	35...40	90...100	70...80	50...60	110...120	100...110	60...70
	Хорошо удобренные однолетние культуры	50...55	110...120	80...90	60...70	100...120	100...110	70...80
10...12	Полноценное клеверище	40...45	120...130	90...100	70...80	130...150	110...120	90...100

Избыточное азотное питание снижает крепость и выход длинного волокна. Калийные и фосфорные удобрения, наоборот, улучшают эти показатели. Лучшее азотное удобрение для льна — сульфат аммония, затем аммиачная селитра и мочевина. Сульфат аммония в большей степени, чем другие азотные удобрения, увеличивает число элементарных волокон в стебле. При правильном применении фосфорных удобрений различные их виды оказывают одинаковое действие на урожай и качество волокна. Лучшие калийные удобрения для льна — сернокислый калий и калимагнезия. Хлорсодержащие калийные удобрения оказывают некоторое отрицательное влияние на величину урожая и качество льноволокна (особенно сырые соли). Отрицательное действие иона хлора на лен усиливается ионом кальция.

Удобрение подсолнечника

Масличный подсолнечник возделывается на черноземах и каштановых почвах, а при выращивании на силос граница его посевов захватывает зону дерново-подзолистых почв. Для этой культуры оптимальная кислотность почвы — близкая к нейтральной, а механический состав — среднесуглинистый. Подсолнечник имеет мощную корневую систему, проникающую на 4...5 м в глубину и на 1...1,2 м в горизонтальном направлении. Подсолнечник чаще всего размещают после озимых и яровых зерновых, а также после зерновых бобовых культур (кроме фасоли). Во избежание поражения болезнями его следует повторно размещать на том же поле севооборота не ранее чем через 8 лет. Подсолнечник очень хорошо использует фосфор и калий почвы, а также последействие ранее внесенных органических, фосфорных и калийных удобрений. Подсолнечник способен интенсивно потреблять калий из труднорастворимых соединений почвы и фосфор трехзамещенного фосфата кальция. Сравнительно хорошо доступны ему свежеосажденные фосфаты алюминия и даже железа. Это калиелюбивая культура. На 10 ц семян при соответствующем количестве побочной продукции он выносит в среднем 60 кг N, 26 кг P_2O_5 и 180 кг K_2O, а на 100 ц зеленой массы соответственно 30, 10 и 45 кг. По данным Саратовского СХИ, около 65% урожая сухой массы подсолнечник наращивает от фазы образования корзинок до налива семянок, т. е. примерно за 1,5 месяца. За этот же период он потребляет 65% азота и 70% фосфора, но только 35% калия. Большое количество калия (40%) поступает в растения от налива семянок до созревания.

Внесение под подсолнечник 20 т навоза на 1 га на черноземах и каштановых почвах обеспечивает прибавку урожая семян 2...5 ц на 1 га, в зависимости от условий увлажнения. На дерново-подзолистых и серых лесных почвах при выращивании подсолнечника на силос внесение на 1 га 20...30 т навоза дает прибавку зеленой массы 50...100 ц на 1 га.

В зонах возделывания масличного подсолнечника часто ввиду высокого содержания подвижного калия в черноземах и каштановых почвах калийные удобрения не дают эффекта. Поэтому прежде всего здесь

применяют азотные и фосфорные удобрения, а в засушливой зоне — одни фосфорные в норме 40...60 кг P_2O_5 на 1 га. По результатам полевых опытов минеральные удобрения в норме $N_{40...60}P_{45...60}K_{0...40}$ на черноземах и каштановых почвах обеспечивают урожай семян подсолнечника 14...25 ц с 1 га, а прибавку 3...5 ц на 1 га. На дерново-подзолистых и серых лесных почвах со средним содержанием подвижных форм фосфора и калия для получения урожая зеленой массы подсолнечника 250...350 ц с 1 га рекомендуется вносить минеральные удобрения в норме $N_{90...120}P_{60...90}K_{90...120}$, а совместно с 30...40 т органических удобрений $N_{60...90}P_{30...50}K_{60...90}$. Минеральные удобрения, как правило, применяют в два приема: в основное и в рядки при посеве. Доза рядкового удобрения $P_{15...30}$ в виде гранулированного суперфосфата или $N_{10...15}P_{15...30}$ в виде комплексных удобрений. Рядковое удобрение повышает урожай семян на 1,5...2,5 ц на 1 га. При подкормке вносят $N_{30...40}K_{30...40}$. При орошении первую подкормку проводят в фазу 2...3 пар листьев, вторую — в начале образования корзинок. Удобрения вносят культиватором-растениепитателем на глубину 10...12 см и на расстоянии 12...15 см от рядка растений при первой подкормке и в середину междурядья при второй. В условиях орошения на черноземах и каштановых почвах при среднем содержании подвижных форм фосфора и калия для получения урожая семян подсолнечника около 40 ц с 1 га следует вносить соответственно $N_{120...150}P_{120...150}K_{180...250}$ и $N_{150...200}P_{120...150}K_{180...250}$.

Удобрение сахарной свеклы

В районах недостаточного увлажнения лучшим предшественником для сахарной свеклы являются хорошо удобренные озимые, идущие после черного пара. В зоне достаточного увлажнения сахарную свеклу выращивают в основном после озимых, следующих после многолетних трав или зерновых бобовых культур.

Для получения высоких урожаев сахарной свеклы необходимы плодородные окультуренные почвы, нейтральные и даже слабощелочные. Она отличается высокой солевыносливостью. На известкованных, карбонатных и нейтральных почвах сахарная свекла нуждается в борных удобрениях (0,7...1 кг B на 1 га). Недостаток бора приводит к поражению гнилью сердечка и дуплистости.

Корневая система взрослого растения сахарной свеклы состоит из утолщенного главного корня и тонких корневых разветвлений, отходящих в стороны на 40...50 см. Она может проникать в глубину на 2...2,5 м. В среднем на 100 ц корней (при соответствующем количестве ботвы) сахарная свекла выносит 50...60 кг N, 15...20 кг P_2O_5 и 60...90 кг K_2O. В северных районах вынос питательных веществ выше, чем в западных и южных. Это можно объяснить большей долей ботвы в структуре урожая в северных районах. Сахарная свекла наиболее интенсивно потребляет питательные вещества до начала августа (примерно 70% от максимального количества). К этому времени формируется более 60% сухого вещества ботвы и $^1/_3$ корня. Остальные 30% элемен-

тов питания поступают в последующие 1,5 месяца, когда происходит основной прирост урожая корней. Критический период питания сахарной свеклы отмечается в начальной период формирования ботвы (с 15 июня до 1 июля). За эти две недели растения потребляют 25...30% питательных веществ.

Система удобрения сахарной свеклы включает внесение органических, фосфорных и калийных удобрений под зяблевую вспашку или весной под перепашку. Внесение фосфорно-калийных удобрений под культиватор нерационально, особенно в засушливые годы. В условиях недостаточного увлажнения азотные удобрения следует также заделывать с осени. Перенесение даже части дозы азота из основного удобрения в подкормку нецелесообразно, не говоря уже о фосфорных и калийных удобрениях. При орошении можно применять 2...3 подкормки (по 20...40 кг NK на 1 га), внося удобрения перед вегетационными поливами. В рядки при посеве дают на 1 га 15...20 кг P_2O_5 в виде гранулированного суперфосфата или комплексных удобрений с соответствующим количеством азота и калия. При систематическом внесении повышенных доз основного удобрения (по 100 кг NPK и более на 1 га) необходимость в рядковом удобрении отпадает.

Навоз можно вносить как непосредственно под сахарную свеклу, так и под предшествующие культуры (озимые и в занятом пару). Средняя норма навоза 20...30 т на 1 га. Навоз должен быть полуперепревшим. Свежий соломистый навоз вызывает иссушение почвы и способствует сильной засоренности посевов. Внесение на 1 га 20 т полуперепревшего навоза под сахарную свеклу в различных районах ее возделывания обеспечивает прибавку корней 20...120 ц на 1 га, несколько уступая действию минеральных удобрений в норме $N_{60}P_{60}K_{60}$. Наиболее высокие прибавки от навоза получаются при орошении (80...120 ц на 1 га) и в районах устойчивого увлажнения (30...50 ц на 1 га).

По данным опытов агрохимслужбы, в основных свеклосеющих районах нашей страны применение минеральных удобрений в норме $N_{120}P_{90...120}K_{90...120}$ обеспечивает прибавку урожая корней 70...140 ц на 1 га. Зональный принцип эффективности азотных, фосфорных и калийных удобрений для свеклы остается таким же, как и для ранее рассмотренных культур. Лучшим азотным удобрением для сахарной свеклы в большинстве случаев является натриевая селитра. Аммиачная вода оказывает примерно такое же действие, как и аммиачная селитра. При более кислой реакции почвы некоторое преимущество при основном внесении имеют преципитат и томасшлак перед суперфосфатом, при нейтральной и слабощелочной реакциях — наоборот. Об эффективности фосфоритной муки можно говорить только на кислых почвах (pH_{KCl} 5 и ниже). Но на таких почвах сахарная свекла плохо растет. Поэтому фосфоритная мука не имеет для нее важного значения.

Из калийных удобрений преимущество имеет сильвинит. За ним следуют в порядке снижения эффективности: 40%-ная калийная соль, каинит и шенит, хлористый калий и сернокислый калий, т. е. отмечается зависимость, противоположная для большинства других культур. Сырые соли содержат натрий, который для сахарной свеклы играет важную роль. Хлор же не оказывает на нее отрицательного влияния. Пос-

ле озимых, идущих по многолетним травам, высокое качество корней сахарной свеклы получается на выщелоченном черноземе и серых лесных почвах при внесении минеральных удобрений в соотношении $N:P_2O_5:K_2O=1:1:1,5$ или 1:1:2.

Совместное применение навоза и минеральных удобрений повышает урожай корней, сбор сахара с 1 га, хотя несколько и снижает его содержание на единицу массы. При совместном применении навоза и минеральных удобрений на серых лесных почвах, выщелоченных и оподзоленных черноземах к навозу следует дополнительно вносить прежде всего азотные удобрения. На мощных, слабовыщелоченных и обыкновенных черноземах действие азотных удобрений на фоне навоза снижается. В зависимости от почвенно-климатических условий для получения урожая сахарной свеклы 300...350 ц с 1 га в основных зонах свеклосеяния (табл. 157) вносят на 1 га 20...30 т навоза (под свеклу или предшественник) и $N_{100...170}P_{130...180}K_{100...170}$.

В условиях орошения на обыкновенных, южных черноземах, а также на каштановых почвах для получения урожая корней сахарной свеклы 500...600 ц с 1 га рекомендуется вносить на 1 га 20...30 т навоза (под предшествующую культуру или свеклу) и $N_{90...150}P_{40...90}K_{10...60}$. Фосфорные и калийные удобрения в условиях орошаемого земледелия заделывают осенью под зяблевую вспашку, а азотные — в предпосевную культивацию и в подкормки. При промывочных и влагозарядковых поливах азотные удобрения под зяблевую вспашку не вносят. Если они не проводятся, то $^1/_3$ нормы азота можно внести с осени, лучше в аммиачной или амидной форме.

157. Нормы удобрений под сахарную свеклу (при урожае 300...350 ц с 1 га)

Район	Почвы	Навоз (в т на 1 га)	Минеральные удобрения (в кг д. в. на 1 га)		
			N	P_2O_5	K_2O
Центральный, Волго-Вятский, центральные черноземные области, Поволжье	Серые лесные, оподзоленные, выщелоченные и типичные черноземы	20...30	130...170	130...150	140...170
	Обыкновенные черноземы	20...30	100...120	140...160	110...150
Северный Кавказ	Предкавказские, выщелоченные черноземы	20...30	140...150	140...150	130...140
	Предкавказские мощные, малогумусные черноземы и каштановые почвы	20...30	100...130	140...180	120...130
Алтайский край	Выщелоченные и обыкновенные черноземы	20...30	100...140	140...150	100...150
БССР	Дерново-подзолистые	70...80	100...120	50...110	80...170
	Торфяно-болотные	—	—	70...140	80...200

Примечание. После бобового предшественника нормы азота уменьшают примерно на 30 кг.

Основными документами при составлении системы удобрения должны быть: организационно-хозяйственный план колхоза или совхоза, отражающий перспективу развития хозяйства (рост урожайности культур, севообороты, поставки минеральных удобрений, рост поголовья скота и продуктивности животноводства и т. д.); почвенная карта; агрохимические картограммы; фактическая урожайность за последние пять лет и нормы применения органических и минеральных удобрений; книга истории полей. Следует учесть организационно-технические возможности хозяйства по своевременному внесению удобрений и предусмотреть строгий контроль за проведением этих работ на полях хозяйства.

Составление системы удобрения осуществляется в следующей очередности.

1. Уточняются севообороты или чередование культур на каждом поле по годам. Определяются по годам уровни урожаев сельскохозяйственных культур по отдельным севооборотам и полям, а также урожаи на год освоения севооборота. Все это должно быть увязано с показателями в целом по хозяйству.

2. Определяются по каждому севообороту площади кислых почв, нуждающихся в известковании. Определяется средняя обеспеченность каждого поля севооборота и в среднем всего севооборота подвижными фосфором и калием (класс почвы по каждому из этих элементов). Если в хозяйстве имеются кислые почвы, то определяются нормы, место применения извести в севообороте, а также сроки ее внесения с учетом биологических особенностей культур севооборота. Одновременно определяется место внесения фосфоритной муки в чистом виде или при смешивании с навозом и другими органическими удобрениями. При известковании следует обратить особое внимание на применение борных удобрений (особенно под картофель и лен).

3. Определяется выход навоза и количество заготавливаемых органических удобрений. Проводится распределение общего их количества по отдельным севооборотам, устанавливаются нормы внесения под культуры, а также разрабатываются схемы размещения буртов на отдельных полях с целью лучшей организации работ по их разбрасыванию.

4. Проводится распределение минеральных удобрений под отдельные культуры севооборота исходя из величины планируемых урожаев или обеспеченности 1 га севооборота минеральными удобрениями.

а) Распределение минеральных удобрений в севообороте на планируемый урожай сельскохозяйственных культур. Нормы минеральных удобрений в севообороте под культуры на планируемый урожай определяются с использованием ранее изложенных методов с учетом средневзвешенной обеспеченности (класса) почвы всего севооборота подвижными формами фосфора и калия, предшественника и последействия удобрений.

Если потребность в питательных веществах той или иной культуры обеспечивается за счет органических удобрений и последействия ра-

нее внесенных удобрений, то планируется припосевное (рядковое) удобрение, а также внесение небольших доз азота под озимые в весеннюю подкормку (прежде всего в Нечерноземной зоне).

После распределения минеральных удобрений (в килограммах д. в. на 1 га) под культуры в севообороте проверяют правильность составленной системы удобрения путем подведения баланса питательных веществ за севооборот и коэффициентов их использования растениями из удобрений за ротацию.

Нормативы баланса питательных веществ за ротацию для дерново-подзолистых и серых лесных почв в зависимости от средней обеспеченности почв севооборота подвижными фосфором и калием (класса почвы) были приведены ранее (см. табл. 141).

Фосфор и калий практически не теряются из корнеобитаемого слоя почвы, за исключением некоторого количества калия на песчаных и супесчаных почвах. Можно условно считать, что потери азота самой почвы в результате вымывания нитратов и денитрификации компенсируются поступлением азота с осадками, семенами и за счет деятельности свободноживущих бактерий-азотфиксаторов. Поэтому при расчетах баланса азота в севообороте учитывается в расходной его части только вынос с урожаями, за исключением бобовых культур, а в приходной части поступление азота с органическими, минеральными удобрениями, а также азот многолетних бобовых трав, оставленный ими в почве сверх выноса с урожаем.

Обогащение почвы азотом за счет многолетних трав определяется следующим образом. Например, при урожаях сена клевера с тимофеевкой в 1-й год пользования 45 ц с 1 га и во 2-й 45 ц с 1 га вынос азота с сеном составляет за два года 180 кг с 1 га (в сене содержится примерно 2% азота, или 20 кг на 1 т). От 1 т сена остается в почве в виде корневых и пожнивных остатков 10. . .15 кг азота. В данном случае в пожнивно-корневых остатках на 1 га содержится примерно 135 кг азота ($15N \cdot 9 = 135$), всего же в урожае сена и в пожнивно-корневых остатках около 315 кг азота. В лучшем случае 1/3 азота от общего количества используется из почвы, т. е. 105 кг. Следовательно, обогащение почвы азотом от многолетних трав составит 30 кг на 1 га (135—105 = 30). При неблагоприятных условиях для азотфиксации эта величина будет меньше.

От зерновых бобовых культур и однолетних бобовых трав принимается нулевой баланс по азоту. При выращивании бобово-злаковых однолетних трав (вика с овсом, горох с овсом) при значительном удельном содержании овса баланс азота получается отрицательный.

В таблице 158 баланс питательных веществ за ротацию севооборота (в % к выносу питательных веществ с урожаями культур) составил: по азоту $\frac{600 \cdot 100}{471} = 127\%$, фосфору $\frac{470 \cdot 100}{233} = 202\%$ и калию $\frac{790 \cdot 100}{761} = 104\%$.

Коэффициент использования питательных веществ удобрений культурами за ротацию севооборота определяется отношением количества питательного вещества, вынесенного с прибавкой урожаев, к количеству его, внесенного с органическими и минеральными удобрениями,

158. Нормы удобрений и баланс питательных веществ в севообороте

Почва дерново-подзолистая, среднесуглинистая, среднее содержание по севообороту P_2O_5—5...10 мг (III класс) и K_2O—8...12 мг на 100 г почвы (III класс) по Кирсанову. В навозе содержится 0,4% N, 0,2% P_2O_5 и 0,5% K_2O.

Чередование культур в севообороте	Вынос на 10 ц основной продукции с учетом побочной (в кг)			Планируемый урожай (в ц с 1 га)	Вынос питательных веществ на планируемый урожай (в кг с 1 га)			Норма удобрений на планируемый урожай (навоз в т на 1 га, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га)				Урожай без удобрений (в ц с 1 га)	Прибавка (в ц на 1 га)	Вынос питательных веществ на прибавку урожая (в кг с 1 га)		
	N	P_2O_5	K_2O		N	P_2O_5	K_2O	навоз	N	P_2O_5	K_2O			N	P_2O_5	K_2O
Ячмень + травы	27	11	24	30	81	33	72		50	120	200	10	20	54	22	48
Травы 1-го года	13х	6	20	45	—	27	90		40	—	—	20	25	32	15	50
Травы 2-го года	15х	6	20	45	—	27	90		50	—	—	20	25	37	15	50
Озимая пшеница	35	12	26	40	140	48	104		100	150	150	10	30	105	36	78
Картофель	6	2	9	250	150	50	225	60	60	20	20	60	190	114	38	170
Кукуруза на силос	2,5	1,2	4,5	400	100	48	180		30	60	120	100	300	75	36	135
Всего за севооборот					471	233	761	60	330	350	490			417	162	531
Внесено питательных веществ с 60 т навоза (в кг)									240	120	300					
Накопление азота в почве за счет многолетних трав (в кг)									30							
Итого поступило в почву питательных веществ (в кг)									600	470	790					
Баланс питательных веществ (в % к выносу)									127	202	104					
Разница между поступлением питательных веществ и выносом (в кг) или на 1 га (в кг)									+129 +21,5	+237 +39,6	+29 +4,8					

$$КИ_N = \frac{417 \cdot 100}{570} = 73\%.$$

$$КИ_{P_2O_5} = \frac{162 \cdot 100}{470} = 34{,}5\%.$$

$$КИ_{K_2O} = \frac{531 \cdot 100}{790} = 67\%.$$

Примечание.
х – вынос только азота почвы и удобрений.
КИ – коэффициент использования питательных веществ из удобрений.

Обеспеченность 1 га севооборота минеральными удобрениями 7,8 ц на 1 га (в стандартных туках), органическими 10 т на 1 га.

159. **Средние урожаи некоторых культур** (в ц с 1 га) **на разных почвах без внесения удобрений** (колебания средних по группам опытов разных экономических районов) (данные агрохимслужбы за 1965—1974 гг.)

Почва	Озимая пшеница	Озимая рожь	Яровая пшеница	Ячмень и овес	Кукуруза на зерно	Кукуруза на силос	Картофель	Сахарная свекла	Лен-долгунец (соломка)	Подсолнечник на семена	Хлопчатник (хлопок-сырец)
Дерново-подзолистая супесчаная		10...12									
Дерново-подзолистая суглинистая	14...18	12...14	10...15	11...17			110...140		21...27		
Серая лесная	17...25	13...15	13...18	17...25		250	110...120	260...290			
Чернозем оподзоленный	17...25		16...19			220...250	130...140				
Чернозем выщелоченный	19...33	12...20	15...21	15...21	38...40	170...215	130...140	180...310		16...22	
Чернозем типичный	19...23		18...19	16...24	37			200		14...17	
Чернозем обыкновенный	19...23		14...16	20...26	33	140...230		190...260		14...17	
Чернозем южный	23		12...15	17...18	27					13...18	
Каштановая	15...23		10... 15	13						10	
Серозем											18...26

Примечание. В производственных условиях урожайность зерновых ниже примерно на 25%, пропашных на 30...40%.

и выражается в процентах. Обычно за ротацию севооборота принимаются следующие коэффициенты использования питательных веществ растениями из удобрений (органических и минеральных вместе): азота 60. . .70%, фосфора 35. . .40% и калия 65. . .75%. Прибавка урожая определяется по разнице между планируемым урожаем культуры и ее урожаем без удобрений. Урожай без удобрений принимается по данным агрохимслужбы (табл. 159) или определяется по подвижному фосфору (на связных почвах) и подвижному калию (на легких почвах), а также может быть определен по примерному содержанию легкогидролизуемого азота в почве (см. стр. 410).

Баланс питательных веществ и коэффициенты их использования растениями за ротацию севооборота позволяет в конкретном примере (табл. 158) рассчитывать на получение планируемых урожаев при нормальных погодных условиях. По балансу можно приближенно судить о возможных изменениях в содержании подвижных форм фосфора и калия в почве к концу ротации севооборота.

Обеспеченность севооборота минеральными удобрениями определяется следующим образом: количество элемента питания, внесенное с минеральными удобрениями за ротацию, делится на число полей [в данном примере (табл. 158) на 6; каждое поле в схеме условно равно 1 га] и переводится на стандартный тук. Соотношение $N : P_2O_5 : K_2O$ в минеральных удобрениях равно 1 : 1 : 1,4. Вместе с навозом и минеральными удобрениями за ротацию севооборота вносится $N_{570}P_{470}K_{790}$ т. е. соотношение $N : P_2O_5 : K_2O = 1,2 : 1 : 1,7$.

Общую норму минеральных удобрений, определенную под каждую культуру, подразделяют на основное удобрение, припосевное и подкормку (табл. 160).

Приведенные нормативы баланса питательных веществ за ротацию севооборота на дерново-подзолистых и серых лесных почвах (табл. 141) теоретически подходят и для других типов почв. Однако в практике земледелия допускаются большие отклонения от них. Объясняется это тем, что на данном этапе минеральные удобрения используют прежде всего там, где они дают высокую отдачу. Поэтому, например, в зонах недостаточного увлажнения, где эффективность удобрений низкая

160. Система удобрения в севообороте (навоз в т на 1 га, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га)

Чередование культур	Основное удобрение				Рядковое удобрение			Подкормка N
	навоз	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	
Ячмень + травы		40	110	190	10	10	10	
Травы 1-го года пользования								40
Травы 2-го года пользования								50
Озимая пшеница		30	140	140	10	10	10	60
Картофель	60	40			20	20	20	
Кукуруза на силос		30	50	120		10		

и ограничиваются внесением малых их норм, складывается отрицательный баланс питательных веществ (прежде всего по азоту и калию).

При разработке системы удобрения в севообороте чаще всего интенсивность баланса элементов питания на основных разностях почв складывается следующим образом (в % к выносу):

	N	P_2O_5	K_2O
На дерново-подзолистых и серых лесных почвах (зона достаточного увлажнения)	120...130	170...250	85...130
На выщелоченных, типичных и обыкновенных черноземах (зона неустойчивого увлажнения)	65...85	100...180	30...75
На обыкновенных, южных черноземах и каштановых почвах (зона недостаточного увлажнения)	30...55	60...90	10...35
На южных черноземах и каштановых почвах (при орошении)	80...100	130...170	30...75

В случае когда нормы удобрений под культуры определяются на прибавку урожая с целью получения от них высокой эффективности (без учета дальнейшего изменения плодородия почвы), баланс питательных веществ за севооборот складывается в зависимости от уровня прироста урожая (табл. 161).

Данными таблицы можно руководствоваться на разных типах почв при среднем содержании в них подвижных форм питательных веществ. Из таблицы видно, что положительный баланс по фосфору устанавливается с того момента, когда прибавка урожая от удобрений превышает контроль (урожай без удобрений) на 70%, а по азоту и калию — в два раза.

При разработке таблицы 161 коэффициенты использования питательных веществ культурами за ротацию севооборота из органических и минеральных удобрений принимались по азоту 60...65%, фосфору 35. . .40% и калию 65. . .70%. Баланс каждого элемента в конкретном

161. Нормативы баланса питательных веществ в севооборотах при определении норм удобрений на прибавку урожая (при разных уровнях прироста урожая от удобрений)

Прирост урожая от удобрений за ротацию (в % от урожая без удобрений)	Баланс питательных веществ за севооборот (в % к выносу с урожаем)		
	N	P_2O_5	K_2O
30	35...40	60...65	30...35
50	50...55	85...95	45...50
70	65...70	105...120	60...65
100	80...85	125...145	70...75
150	95...100	150...170	85...90
200	105...110	170...190	95...100
300	120...125	190...215	105...115
400	125...130	200...230	115...125
500	135...140	210...240	120...130

случае можно рассчитать по следующей формуле:

$$Б = \frac{П \cdot 100}{К \cdot (100 + П)} \cdot 100,$$

где $Б$ — баланс питательного элемента за севооборот (в % к выносу с урожаем); $К$ — коэффициент использования питательного элемента растениями за ротацию севооборота (в %); $П$ — относительный прирост урожая или относительное увеличение выноса питательного элемента от применения удобрений за ротацию (в % от уровня без удобрений).

За 100 (в знаменателе) принят урожай без удобрений или вынос питательного элемента с этим урожаем. Условно принимается, что при увеличении урожаев в севообороте, например, на 30 и 50% за счет удобрений вынос питательных веществ также возрастает пропорционально, т. е. на 30 и 50%.

Указанный метод балансового контроля системы удобрения в севообороте дает агроному возможность оценки изменения. почвенного плодородия во времени. Кроме того, изменением баланса питательных веществ можно нацеленно вести линию к выравниванию плодородия разных полей.

б) Распределение минеральных удобрений в севообороте, исходя из обеспеченности ими 1 га пашни. Данная методика целесообразна только в случае, когда хозяйство получает малое количество минеральных удобрений (3. . . 5 ц на 1 га в стандартном исчислении), т. е. когда ими обеспечиваются главным образом ведущие культуры.

Прежде всего под все культуры севооборота дается рядковое фосфорное удобрение. Затем следует выделить азотные удобрения для весенней подкормки озимых, а также для повышения эффективности навоза или компоста в год их внесения. Обычно на каждые внесенные 10 т навоза или компоста применяют 10. . .15 кг азота минеральных удобрений (бо́льшая цифра для пропашных культур). Азотные удобрения также следует внести на тех участках, где в предыдущие годы применялись высокие нормы фосфорных и калийных удобрений, чтобы полнее использовать их последействие. Допосевным (основным) удобрением обеспечивают только наиболее важные сельскохозяйственные культуры. При этом нужно учитывать соотношение питательных веществ под отдельные культуры (табл. 162), а также последействие ранее внесенных удобрений, влияние пожнивно-корневых остатков бобовых культур, тип почвы (на черноземах доля азота снижается на 30...50%) и содержание подвижных элементов питания в ней.

Например, дерново-подзолистая почва характеризуется средней обеспеченностью фосфором и калием. Если внести в такую почву минеральные удобрения в норме $N_{60}P_{60}K_{60}$ под зерновые культуры, то при коэффициенте использования азота 50%, фосфора 20% и калия 50% растениями будет усвоено в 1-й год из минеральных удобрений 30 кг N, 12 кг P_2O_5, 30 кг K_2O. Это обеспечит прибавку зерна примерно 10 ц, равную по каждому из элементов питания. Но если на 2-й год на этой же почве выращивать зерновые, то будет неверно опять вносить минеральные удобрения в той же норме. Правильным будет уси-

162. Соотношение питательных веществ минеральных удобрений для различных сельскохозяйственных культур (на неудобренной почве и одинаковом классе почв по содержанию подвижных форм фосфора и калия)

Культура	Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$
Зерновые	1:1:1
Зерновые бобовые	0:2:1 или 1:2:1
Многолетние бобовые и бобово-злаковые травы	0:1:1 или 0,7:1:1
Вика с овсом	0,7:1:1 или 1:1:1
Горох с овсом на зеленый корм и силос	0,5:1:1,5 или 0,7:1:1,5
Лен (после плохих трав, пропашных и зерновых)	1:2:2
Лен (после хорошего клеверища)	1:3:4
Картофель, кормовые корнеплоды	1:1:1,5
Кукуруза и подсолнечник на силос	1:1:1,5
Капуста, морковь, свекла, томаты, огурцы	1:1:1,5

лить азотное питание, чтобы полнее использовать последействие фосфорных и калийных удобрений.

5. Составляется годовой план применения удобрений с учетом особенностей каждого поля севооборота. Общая схема применения органических и минеральных удобрений в севообороте по усредненным агрохимическим показателям почвы (фосфору и калию) является основой для составления годового плана применения удобрений по отдельным полям севооборота, т. е. общая норма питательных веществ минеральных удобрений под ту или иную культуру корректируется в соответствии с классом почвы каждого поля севооборота (или отдельного участка) по обеспеченности подвижными формами фосфора и калия.

Если разница в обеспечении почвы отдельного поля от средней обеспеченности почв севооборота по фосфору или калию составляет один-два класса, то нормы фосфорных или калийных удобрений в годовом плане увеличиваются или уменьшаются на 20. . .30 и 40. . . 60% соответственно, а норма азота — на 10 и 20%. При этом норма азотных удобрений корректируется в соответствии с классом почвы по фосфору.

В том случае, если севооборот еще не освоен и некоторые поля очень низки по плодородию, то правильнее будет составить систему удобрения каждого поля по годам с учетом его особенностей. Иногда в целях интенсивного повышения уровня плодородия полей приходится вносить на них органические удобрения не один раз за ротацию севооборота (как по общей схеме системы удобрения), а несколько раз и в более высоких нормах, что также наложит свой отпечаток на систему удобрения такого поля.

6. При составлении годового плана дается обоснование удобрения отдельных культур с указанием их биологии, особенностей потребления питательных веществ, отношения к кислотности почвы, особенностей применения органических и разных форм минеральных удобре-

ний, влияния удобрений на качество урожая.

Здесь же указываются сроки внесения и способы заделки удобрений.

7. На основании годового плана составляется календарный план применения удобрений, определяется общее количество минеральных удобрений по видам и объем складских помещений для их хранения.

8. Определяется потребность в сельскохозяйственной технике по срокам для своевременного внесения и заделки органических и минеральных удобрений.

9. По планируемой прибавке урожая рассчитывается экономическая эффективность разработанной системы удобрения в севообороте с учетом стоимости прибавки урожая и нормативных затрат на уборку дополнительного урожая и на удобрения.

10. Для успешного осуществления разработанной системы удобрения планируются дополнительные агротехнические и организационные мероприятия, например, предусматривается создание механизированных отрядов по внесению удобрений, разрабатываются рекомендации по применению микроудобрений и пр.

Ниже приводятся схемы систем удобрения в полевых и кормовых севооборотах (табл. 163. . .169).

163. Система удобрения в 9-польном полевом севообороте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со средним содержанием подвижного фосфора (III класс) **и калия** (III класс)

Чередование культур в севообороте	Планируемый урожай (в ц с 1 га)	Нормы удобрений				В том числе								
						основное				припосевное*			подкормка	
		торфонавозный компост	N	P_2O_5	K_2O	торфонавозный компост	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	
Вика с овсом (на сено)	45	20	40	40	60	20	30	30	50	10	10	10		
Озимая пшеница	30		80	80	80		30	70	70	10	10	10	40	
Картофель	250	40	100	40	90	40	60		50	40	40	40		
Ячмень + травы	30		40	150	180		40	140	180		10			
Травы 1-го года пользования (на сено)	45		30										30	
Травы 2-го года пользования (на сено)	45		50										50	
Озимая пшеница	30		50	100	100			90	90	10	10	10	40	
Кукуруза на силос	350	30	80	50	100	30	80	40	100		10			
Овес	30		60	10	60		50		50	10	10	10		

* Преимущественно в виде комплексных удобрений.

Примечание. Торфонавозный компост в т, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га. Обеспеченность 1 га севооборота органическими удобрениями 10 т, минеральными $N_{59}P_{52}K_{74}$. Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ в минеральных удобрениях 1,1:1:1,4. Примерный баланс питательных веществ за ротацию (в % к выносу): N – 135%, P_2O_5 – 195%, K_2O – 110%.

164. Система удобрения в 8-польном прифермском севообороте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со средним содержанием подвижного фосфора (III класс) и повышенным содержанием подвижного калия (IV класс)

№ поля	Чередование культур	Планируемый урожай (в ц с 1 га)	Основное удобрение				Припосевное			Подкормка
			торфонавозный компост	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N
1	1/2 горох-овес на зеленый корм	250								
	1/2 вика с овсом на сено	50	40					10		
2	Озимая рожь на зеленый корм + 1/2 горох-овес на зеленый корм	200			30	60	10	10	10	30
	1/2 кукуруза на зеленый корм	200		50	50	100		10		
3	Кормовая свекла	600	60	210	120	240	10	10	10	
4	Кукуруза на силос	500		80	50	150		10		
5	1/2 ячмень + травы, 1/2 овес + травы	30		70	150	200		10		
6	Многолетние травы 1-го года пользования (сено)	50								30
7	Многолетние травы 2-го года пользования (сено)	50								50
8	Озимая рожь (зерно)	35			80	120	10	10	10	50

Примечание. Торфонавозный компост в т, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га. Обеспеченность 1 га органическими удобрениями 12,5 т, минеральными $N_{75}P_{60}K_{112}$. Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ в минеральных удобрениях 1,1:1:1,6. Примерный баланс питательных веществ за ротацию (в % к выносу): N – 135%, P_2O_5 – 190%, K_2O – 100%.

165. Система удобрения в 7-польном полевом зерно-льняно-травяном севообороте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со средним содержанием подвижного фосфора (III класс) и калия (III класс)

Чередование культур	Планируемый урожай (в ц с 1 га)	Основное удобрение				Припосевное			Подкормка
		торфонавозный компост	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N
Горох-овес на силос	250	30	60	40	60		10		
Озимая пшеница + травы	30		30	130	250		10		30
Многолетние травы 1-го года (сено)	40								
Многолетние травы 2-го года (сено)	40								30
Лен (волокно)	7		20	80	90		10		
Картофель	250	40	70	30	100	20	20	20	
Овес	35		60	40	60		10		

Примечание. Торфонавозный компост в т, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га. Обеспеченность 1 га органическими удобрениями 10 т, минеральными $N_{45}P_{34}K_{45}$. Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ в минеральных удобрениях 0,8:1:1,5. Примерный баланс питательных веществ за ротацию (в % к выносу): N – 130%, P_2O_5 – 200%, K_2O – 115%.

166. Система удобрения в 10-польном полевом севообороте на выщелоченном черноземе с низким содержанием подвижного фосфора (II класс) и средним содержанием подвижного калия (III класс)

Чередование культур	Планируемый урожай (в ц с 1 га)	Основное удобрение				Припосевное	Подкормка
		навоз	N	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	N
Овес + многолетние травы	25		40	110	120	10	
Многолетние травы 1-го года	35						
Озимая пшеница	30			60	60	10	30
Кукуруза на силос	350	20	40	40	40	10	
Ячмень	30		30	30	40	10	
Горох на зерно	25		40	60	40	10	
Озимая пшеница	30			40	50	10	30
Кукуруза на силос	350	20	50	40	40	10	
Вико-овес (сено)	35			30	40	10	
Озимая пшеница	30			60	50	10	40

Примечание. Навоз в т, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га. Обеспеченность 1 га органическими удобрениями 4 т, минеральными $N_{20}P_{56}K_{48}$. Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ в минеральных удобрениях 0,54:1:0,86. Примерный баланс питательных веществ за ротацию (в % к выносу): N—75%, P_2O_5—193%, K_2O—77%.

167. Система удобрения в 9-польном зерно-свекловичном севообороте на выщелоченном черноземе при среднем содержании подвижных фосфора и калия

Чередование культур	Основное удобрение				Припосевное			Подкормка
	навоз	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N
Ячмень + клевер		50	70	100		10		
Клевер								70
Озимая пшеница		30	120	130		10		
Сахарная свекла	30	220	110	170	10	10	10	
Кукуруза на силос		70	50	130		10		
Горох на зерно		50	30			10		50
Озимая пшеница		40	110	120	10	10	10	
Сахарная свекла	30	220	100	170	10	10	10	
Кукуруза на зерно		60		40		10		

Примечание. Навоз в т, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га. Обеспеченность 1 га органическими удобрениями 6,7 т, минеральными $N_{96}P_{74}K_{99}$ при соотношении $N:P_2O_5:K_2O=1,3:1:1,3$. Примерный урожай зерна 45 ц с 1 га, сахарной свеклы 500 ц, зеленой массы кукурузы 500 ц и сена 50 ц с 1 га. Примерный баланс питательных веществ за ротацию (в % от выноса): по азоту 85, фосфору 145 и калию 75.

168. Система удобрения в 10-польном полевом севообороте на обыкновенном черноземе в степной зоне (по данным Донецкой областной опытной станции)

Чередование культур	Урожай (в ц с 1 га)		Нормы удобрений				В том числе рядкового
	без удобрений	при внесении удобрений	навоз	N	P_2O_5	K_2O	P_2O_5
Пар черный	—	—					
Озимая пшеница	25,7	31,8	10		45	15	7,5
Озимая пшеница	13,6	19,1		30	45	30	7,5
Кукуруза на зерно	20,4	23,8		15	45		7,5
Ячмень	16,8	21,8			7,5		7,5
Пар черный	—	—					
Озимая пшеница	20,4	25,8	10	15	45	30	7,5
Кукуруза на зерно	29,7	33,4		15	45	30	7,5
Подсолнечник (на семена)	19,1	23,0		15	45	30	7,5
Горох, ячмень	16,4	19,9					

Примечание. Навоз в т, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га. Обеспеченность 1 га органическими удобрениями 2 т, минеральными $N_6P_{22}K_{14}$. Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ в минеральных удобрениях 0,33:1:0,52. Баланс питательных веществ за ротацию (в % к выносу): N–29, P_2O_5–143, K_2O–33.

169. Система удобрения в 9-польном полевом севообороте сухой степи Нижнего Поволжья на темно-каштановой почве с низким содержанием подвижного фосфора (II класс) **и высоким содержанием подвижного калия** (V класс)

Чередование культур	Основное удобрение				Рядковое	Подкормка
	навоз	N	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	N
Пар черный	20		40...60			
Озимая пшеница					10	30*
Яровая пшеница					10	
Яровая пшеница		30			10	
Кукуруза на зерно		30...40	30...40	30	10	
Яровая пшеница					10	
Однолетние травы, просо					10	
Яровая пшеница		30...40	40...50	30...40	10	
Ячмень					10	

*) Подкормка мочевиной в фазу колошения–цветения для повышения белковости зерна.

Примечание. Навоз в т, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га. Обеспеченность 1 га органическими удобрениями 2,2 т, минеральными $N_{13...14}P_{21...26}K_{7...8}$. Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ в минеральных удобрениях 0,65:1:0,3.

Система удобрения в рисовых севооборотах

Рис выращивается в зонах орошаемого земледелия Средней Азии, Закавказья, Северного Кавказа, Приморского края, на юге Украины, в низовьях рек Волги, Дона, Днепра, Буга и Дуная.

Рис — теплолюбивая и светолюбивая культура, очень требовательная к воде. Для риса лучше использовать почвы, реакция которых близкая к нейтральной и нейтральная. Неплохие урожаи возможны на слабокислых и слабощелочных почвах. Зона рисосеяния охватывает большое разнообразие почв, от подзолистых в Приморском крае до почв пустынной зоны. Значительная часть посевов риса находится на засоленных почвах. Почвы для риса должны быть хорошо обеспечены органическим веществом, по механическому составу — средне-, тяжелосуглинистыми и глинистыми, т. е. хорошо удерживающими воду. Легкие почвы для риса непригодны. В условиях затопления ввиду анаэробиозиса почвы в ней протекают восстановительные процессы, результатом которых является наличие подвижных соединений гумусовых веществ (типа фульвокислот), а также железа, серы, фосфора и марганца. Одновременно с этим в микрозоне ризосферы корней риса протекают окислительные процессы с участием аэробной микрофлоры (нитрификаторы, азотобактер, сульфофикаторы). Кислород в корни и ризосферу нагнетается из листьев в силу биологических особенностей растений риса. Кислород в почве исчезает после затопления через сутки, а через 5 дней в ней уже активно развиваются восстановительные процессы. Образовавшиеся закисные соединения очень вредны для растений. Однако в аэробной микрозоне корней они окисляются, частично выпадают в осадок и становятся доступными и безвредными источниками питания для риса. Наиболее сильно тормозит поступление питательных веществ в растения образующийся в почве сероводород. Большая роль в нейтрализации сероводорода принадлежит закисному железу: образуется нерастворимое в воде сернистое железо, безвредное для растений. Минеральные азотные соединения в почве в процессе вегетации риса представлены главным образом аммиачным азотом. Нитратный же азот почти полностью исчезает спустя 5. . .8 дней после затопления чеков. Имеющиеся до затопления в почве нитраты вымываются, а также подвергаются денитрификации. Однако в аэробной прикорневой микрозоне нитраты всегда присутствуют, а поэтому неизбежны их потери. В связи с этим заслуживает внимания внесение вместе с азотными удобрениями ингибиторов нитрификации (примерно 1% от массы удобрения). В почвах рисосеяния сине-зеленые водоросли способны за год накопить на 1 га от 20 до 200 кг азота и около 1 т сухой органический массы. При затоплении чеков повышается доступность фосфатов в почве. Молодые растения риса начинают страдать от концентрации солей в почве выше 0,1% при хлоридном и 0,2% при сульфатном засолении; взрослые выдерживают концентрацию солей до 0,7%.

Рис имеет мочковатую, горизонтально разветвленную и обладающую слабой поглотительной способностью корневую систему, при-

170. Динамика поглощения рисом питательных веществ в процессе вегетации (в % от максимального количества) (данные Узбекской рисовой опытной станции)

Фаза развития	N	P_2O_5	K_2O
Всходы — кущение	26	2	20
Цветение	99	100	100
Созревание	100	100	100

мерно 80% которой располагается в верхнем 4. . .6-сантиметровом слое почвы. От всходов до кущения (фаза 3. . .4-го листа) рис особенно чувствителен к недостатку фосфора и азота. К азоту он также требователен в фазу кущения и выхода в трубку, недостаток азота в эти периоды снижает развитие метелок и их озерненность. От кущения до цветения отмечается наибольшее поступление элементов питания, особенно фосфора (табл. 170).

На 10 ц зерна с соответствующим количеством соломы рис выносит в среднем 22 кг N, 10 кг P_2O_5 и 30 кг K_2O.

Предшественниками риса чаще всего являются люцерна, клевер, занятый зернобобовый пар и рис. Лучшие из них — люцерна и клевер, худший — рис. Многолетние травы в севооборотах с рисом обычно распахивают на третий год. Нормы азотных удобрений под рис по пласту многолетних трав уменьшают примерно вдвое и увеличивают нормы фосфорных, а иногда и калийных удобрений. Чем дальше в севообороте располагается рис от пласта многолетних трав, тем большая под него вносится норма азота. На третий-четвертый годы бессменного возделывания риса, а также после другого зернового предшественника нормы азотных удобрений повышают примерно на 1/3 от средней.

Из органических удобрений под рис применяют навоз, компост и зеленое удобрение. Навоз и компосты лучше всего вносить под вспашку осенью в норме 20. . .40 т на 1 га. Урожай зерна риса от указанной нормы возрастает на 20. . .35%. В качестве зеленого удобрения в сидеральном пару выращивают горох, озимую и яровую вику, сою, маш и пр. К зеленому удобрению необходимо дополнительно вносить прежде всего фосфорные удобрения.

Азотные удобрения в зонах возделывания риса имеют первостепенное значение. Нормы азотных удобрений дифференцируют в зависимости от предшественника. Вносят их дробно, т. е. до посева и в подкормку. В основное удобрение вносят 1/2. . .2/3 общей нормы азотных туков незадолго до посева (с целью наименьшей нитрификации аммиачного азота) на глубину 8. . .10 см с заделкой культиватором или дисковой бороной. На более тяжелых почвах доля азота в основном удобрении возрастает. Подкормку проводят один раз (по полным всходам или в фазу кущения) или два-три раза (по полным всходам, в фазу кущения и для повышения качества зерна в фазу выметывания — цветения) равными частями азота. На почвах менее тяжелого механического состава число подкормок увеличивается. Чаще всего предпоч-

тение отдается двукратной подкормке: в период образования двух-трех листьев и в фазу кущения. В подкормки обычно вносят на 1 га 30. . .40 кг азота. Перед подкормкой подачу воды на рисовые поля прекращают (она полностью должна впитаться в почву), а через 2. . . 4 дня после подкормки вновь проводят затопление. Удобрения вносят с самолета или вертолета. Для поздней некорневой азотной подкормки в дозе $N_{30...40}$ в фазу выметывания — цветения риса следует использовать мочевину. Лучшими азотными удобрениями для риса являются сульфат аммония, мочевина и хлористый аммоний, т. е. амминачная и амидная формы. Аммиачно-нитратные и особенно нитратные формы удобрений менее эффективны из-за больших потерь нитратного азота от вымывания и денитрификации. При внесении хлористого аммония хлор быстро вымывается из почвы и не оказывает отрицательного действия на растения, и поэтому по эффективности это удобрение не уступает сульфату аммония. Коэффициент использования азота минеральных удобрений рисом чаще всего 20. . .50%.

Фосфорные удобрения в районах рисосеяния дают наибольший эффект при совместном применении с азотными. Однако по поводу сроков их внесения нет единого мнения. В одних случаях всю норму фосфора рекомендуется заделывать до посева под зяблевую вспашку или предпосевную культивацию; в других — вносить дробно, примерно 1/2. . .2/3 до посева и остальную часть в подкормку в фазу полных всходов или кущения. В отдельных опытах положительное действие на урожайность риса оказывало рядковое удобрение в дозе P_{10} в виде гранулированного суперфосфата. Наилучшее фосфорное удобрение для риса — суперфосфат. Количество вносимых фосфорных удобрений зависит от содержания подвижного фосфора в почве. Так, по данным Е. И. Столыпина, для рисосеющих хозяйств Узбекистана при низком содержании подвижного фосфора в почве следует применять 60. . .90 кг P_2O_5 на 1 га, при среднем — около 30 кг P_2O_5, а при высоком — фосфорные удобрения можно не вносить. Обычные нормы фосфорных удобрений под рис 60. . .120 кг P_2O_5 на 1 га.

Почвы в районах рисосеяния в большинстве случаев хорошо обеспечены подвижным калием, и поэтому калийные удобрения неэффективны. Они дают прибавку урожая главным образом на старопахотных и пойменных землях. Нормы калийных удобрений на 1 га 50. . . 100 кг K_2O. Для риса пригодны все формы калийных удобрений. Наиболее широко применяются хлористый калий и калийная соль. До посева вносят или всю норму калийных удобрений, или 50. . .70%, а оставшуюся часть — в подкормку в фазу кущения или выхода в трубку. Перенесение части калийного удобрения из основного удобрения в подкормку наиболее целесообразно на менее тяжелых суглинистых почвах, когда возможно вымывание его из корнеобитаемого слоя.

Как показывают результаты полевых опытов в основных районах выращивания риса, внесение минеральных удобрений после разных предшественников в норме $N_{60...180}P_{60...150}K_{0...100}$ обеспечивает прибавку зерна 15. . .25 ц на 1 га при общем урожае 47. . .65 ц с 1 га.

Нормы минеральных удобрений под рис для районов Нижнего Поволжья и Северного Кавказа даны в таблице 173.

171. Система удобрения в 7-польном рисовом севообороте на Северном Кавказе и юге Украины (навоз в т, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га)

Чередование культур	Основное удобрение				Подкормка		
	навоз	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Люцерна			120...150	60			
Люцерна							
Рис		30...45	40...70	60...80	20	20	
Рис		60...80	60...90	40...60	20...30	20	20
Занятый пар (кукуруза + озимый горох)		30	30	60	50	30	60
Рис	20...40	60...90	60...90	40...60	30	30	20
Рис		90...100	30...60	60	30...50	30	20

Примечание. Средняя обеспеченность 1 га севооборота навозом 3,0 ... 5,7 т, минеральными удобрениями $N_{67}P_{77}K_{66}$. Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ в минеральных удобрениях 0,87:1:0,86.

Эффективность минеральных удобрений зависит от сорта риса. Так, например, сорт Узрос 7-13 лучше отзывается на удобрения, чем сорт Узрос 59.

Наилучшее действие на рис оказывает совместное применение органических и минеральных удобрений. При этом нормы минеральных удобрений снижаются в 1,5. . .2 раза. Правильное сочетание органических и минеральных удобрений обеспечивает не только получение высоких урожаев, но и улучшает качество зерна риса. Системы удобрения в рисовых севооборотах для получения урожая зерна риса 50. . .60 ц с 1 га даны в таблицах 171, 172.

172. Система удобрения в 7-польном рисовом севообороте в районах Средней Азии (навоз в т, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га)

Чередование культур	Основное удобрение				Подкормка		
	навоз	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Люцерна			120	60			
Люцерна							
Рис			30...50		30...40		(1)
					50...60	30...40	(2)
Рис			30		40...50		(1)
					60...70	30	(2)
Занятый пар (джугара + озимая вика)		50	90	100	100		
Рис	30...40	40	30	30	40...50		(1)
					40...60	0...30	30(2)
		40...50	30	30	50...60		(1)
					60...70	0...30	30(2)

Примечание. Первая подкормка (1) в фазу полных всходов, вторая (2) в фазу кущения. Средняя обеспеченность 1 га севооборота навозом 4,3 ... 5,7 т, минеральными удобрениями $N_{62}P_{62}K_{46}$. Соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ в минеральных удобрениях 1,5:1:0,65.

173. Нормы минеральных удобрений под рис (в кг д. в. на 1 га) **для получения урожая зерна 50 . . . 60 ц с 1 га**

Предшественник риса	Нижнее Поволжье			Северный Кавказ		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Пласт многолетних трав	90	60	—	60	60	—
Оборот пласта	120	50	60	120	90	50
Удобренный занятый пар	120	30	—	90	90	—
Старопахотные рисовые земли	150	60	60	150...180	90...120	60

Применяя высокую агротехнику и правильную систему удобрения, рисосовхоз «Красноармейский» Краснодарского края в 1975 г. на площади 6000 га получил урожай зерна риса 67,5 ц с 1 га. В этом хозяйстве под рис в среднем вносят $N_{150...180}P_{100...140}K_{40}$.

Система удобрения в севооборотах с хлопчатником

Хлопчатник возделывается главным образом на сероземах, сероземно-луговых и лугово-болотных почвах, которые содержат 1. . .4% гумуса, хорошо обеспечены подвижным калием и в значительно меньшей степени подвижным фосфором. Непригодны для него почвы с близким залеганием грунтовых вод. Механический состав почв в районах хлопководства средне- и тяжелосуглинистый, есть глинистые и супесчаные почвы. Значительная часть почв подвержена засолению и требует промывных поливов. Оптимальная реакция для развития хлопчатника — нейтральная и слабощелочная. Корневая система хлопчатника стержневая, хорошо развитая, проникающая на глубину 1,5. . .2 м. Основная масса корней располагается в слое почвы 0. . .60 см. Хлопчатник с фазы цветения потребляет 80. . .90% питательных веществ от максимального количества (табл. 174). Однако критическим периодом потребления фосфора и азота является период от прорастания семян до образования 4. . .5 листьев. Калий в это время имеет малое значение. Недостаток азота сразу после всходов приводит к образованию большого числа ростовых (моноподиальных) ветвей, что ведет к снижению урожая хлопка-сырца. Калий играет наиболее важную роль в период плодообразования и созревания. Длина вегетационного периода в зависимости от сорта хлопчатника составляет 100. . .170 дней, вынос питательных веществ на 1 т хлопка-сырца 30...60 кг N, 10...20 кг P_2O_5 и 30...60 кг K_2O. Ввиду более широкого соотношения между вегетативной и репродуктивной частями растений у позднеспелых сортов вынос элементов питания на 1 т хлопка-сырца у них, как правило, выше, чем у скороспелых.

В севооборотах хлопкосеющих хозяйств на долю хлопчатника приходится 66...80% площади. Преобладающим видом севооборотов являются хлопко-люцерновые, в которых 2...3 поля занимает люцерна и 5...9 полей хлопчатник. Люцерна 2...3-летнего пользования

174. Динамика накопления сухого вещества и элементов питания хлопчатником (в % от максимального количества)

Фаза развития	Сухое вещество	N	P_2O_5	K_2O
Бутонизация	2	4	3	3
Начало цветения	12	18	13	18
Полное цветение	30	50	36	55
Созревание	100	100	100	100

является лучшим предшественником для хлопчатника и обеспечивает высокие урожаи его в течение последующих 3...4 лет. Почва после нее обогащается азотом и органическом веществом, но в то же время повышается значимость фосфорных и калийных удобрений под хлопчатник. Для люцерны в зоне хлопководства первостепенную роль играют фосфорные удобрения.

Органические удобрения вносят под хлопчатник обычно на четвертый-пятый год его возделывания после люцерны. Полуперепревший навоз в норме 20...40 т на 1 га заделывается с осени под плуг или в случае промывных поливов весной. Можно использовать также зеленое удобрение. Для этого в севообороте выращивают промежуточные культуры, которые за осенне-весенний период образуют более 30 т зеленой массы на 1 га.

По пласту и обороту пласта люцерны нормы азота под хлопчатник обычно в 2...1,3 раза ниже, чем на третий-четвертый годы его возделывания после люцерны. Чем дальше хлопчатник располагается в севообороте от люцерны, тем значительнее возрастает норма азота, возникает потребность внесения органических удобрений, снижается норма фосфорных и возрастает необходимость применения калийных удобрений. Норма азота под хлопчатник может достигать 300 кг на 1 га. Нормы азотных удобрений под хлопчатник уточняются на основании содержания в почве суммы нитратного и аммиачного азота:

$N(NO_3+NH_4)$ (в мг на 100 г почвы)	Поправочный коэффициент к рекомендуемой норме азота
0,5...1,5	1,25
1,6...3,0	1,00
3,1...4,5	0,75
4,6...5,0	0,50

Азотные удобрения вносят под хлопчатник в несколько приемов (до посева, при посеве и в 2...3 подкормки), что обеспечивает лучшие условия азотного питания растений. При годовых нормах азота около 100 кг на 1 га его лучше вносить в подкормки. При более высоких нормах азота 20...30% (30...70 кг на 1 га) обычно вносят до посева и остальное количество примерно равными частями (по 20...40%, или по 30... 75 кг на 1 га) в 2...3 подкормки: в фазу 2...4-го листа (30...50 кг N на 1 га), начале бутонизации (30...75 кг N) и начале цветения (30... 75 кг N на 1 га). При посеве вносят на 1 га 10...20 кг азота. Последнюю

подкормку следует заканчивать не позднее 10 дней после начала цветения. В противном случае затягивается вызревание урожая, снижается общий урожай и доморозный сбор хлопка-сырца, увеличивается выход курака и ухудшается качество волокна. На почвах с близким залеганием грунтовых вод, на дренированных почвах, а также на засоленных, требующих осенне-зимних промывных поливов, азотные удобрения в качестве основного вносят до посева весной под культиватор. В других случаях, при отсутствии промывного режима, можно вносить аммиачные и амидные удобрения с осени под зябь. Количество азота, вносимого до посева, зависит также от типа почвы. На легких и дренированных почвах увеличивается доля послепосевного внесения азотных удобрений.

Фосфорные удобрения следует вносить с осени под зябь. Мелкая заделка, например, весной под культиватор резко снижает их эффективность. Некоторые потери фосфора возможны только из-за промывных поливов и на хорошо дренированных почвах. В этих случаях фосфорные удобрения лучше вносить весной под перепашку или заделывать в более глубокие слои почвы культиватором-удобрителем. Основное количество годовой нормы фосфорных удобрений применяют до посева и 20...40 кг P_2O_5 на 1 га при посеве в рядки. Норму фосфорных удобрений следует устанавливать в зависимости от содержания подвижного фосфора в почве. По данным полевых опытов зональных агрохимических лабораторий Узбекской ССР, при низком содержании подвижного фосфора в почве оптимальная норма P_2O_5 — 150 кг на 1 га, при среднем — 100 кг, а при повышенном и высоком — 50 кг на 1 га при норме внесения азота 200 кг на 1 га для получения урожая хлопка-сырца 35 ц с 1 га. Лучшее фосфорное удобрение для хлопчатника — суперфосфат. Прекрасным источником питания является также фосфор комплексных удобрений, где он представлен в основном водорастворимой фракцией.

Калием почвы районов хлопкосеяния обеспечены обычно хорошо. Однако при длительном сельскохозяйственном использовании этих почв возникает потребность в применении калийных удобрений. При малых годовых нормах калийных удобрений (до 50 кг K_2O на 1 га) их лучше внести в подкормку в начале бутонизации. На дренированных почвах вся норма калийных удобрений дается в процессе вегетации (но не позднее фазы бутонизации), чтобы избежать излишних потерь калия от вымывания. Когда нет промывного режима, то 50% годовой нормы калийных удобрений вносят под зябь, а оставшееся количество в подкормку. В одну подкормку вносят 30...50 кг K_2O на 1 га. Заканчивать подкормку калием следует в начале бутонизации. Подкармливают хлопчатник калием 1...2 раза. Как показывают опыты, на почвах с очень низким и низким содержанием подвижного калия норма K_2O до 100 кг на 1 га повышает урожайность хлопчатника, при более высокой обеспеченности норма свыше 50 кг K_2O на 1 га прибавки не дает. Лучшими калийными удобрениями для хлопчатника, особенно при подкормках, являются бесхлорные.

При посеве хлопчатника рекомендуется вносить $N_{10...20}P_{20...40}$ в виде комплексных удобрений. При отсутствии их применяют один гра-

нулированный суперфосфат. Удобрения лучше заделывать сбоку от семян на расстоянии 5...7 см и на глубину 10...12 см.

В процессе вегетации хлопчатника проводят 2...3 подкормки. Удобрения вносят перед поливом. До фазы бутонизации удобрения в подкормку заделывают культиватором-растениепитателем на расстоянии 15...20 см от растений и на глубину не менее 10 см, а в более позднюю фазу — в середину междурядья и на 4...18 см глубже дна поливной борозды.

Эффективность удобрения во многом зависит от правильного режима орошения хлопчатника. Поливы распределяются по трем периодам развития хлопчатника: до цветения, цветение — массовое плодообразование и созревание. Наибольшее число поливов (2...5) дается во второй период. За вегетационный период хлопчатник поливают от 2 до 12 раз при оросительной норме 2...8,5 тыс. м³ на 1 га. В опытах установлено, что без применения удобрений при оптимальном поливном режиме на создание 1 ц хлопка-сырца расходуется около 300 м³ воды, а при оптимальной норме удобрений и оптимальном поливном режиме почти в 2,5 раза меньше (120...130 м³). По данным Ташкентского филиала ЦИНАО, в первую и вторую подкормки из азотных удобрений лучше применять мочевину как сравнительно медленнодействующее азотное удобрение, а в фазу цветения — аммиачную селитру. При внесении одной мочевины во все три срока урожайность хлопка-сырца снижалась на 2 ц на 1 га. Это можно объяснить более длительным действием азота мочевины на растения после цветения, что приводит к задержке созревания коробочек.

В опытах применение минеральных удобрений в основных районах возделывания хлопчатника при норме $N_{170...180}P_{110...120}K_{30...50}$ обеспечивало прибавку урожая хлопка-сырца 12...19 ц на 1 га (урожай без удобрений 18...26 ц с 1 га).

Рекомендация по применению минеральных удобрений под хлопчатник на планируемый урожай на основных типах почв дана в таблице 175. В зависимости от места расположения хлопчатника в севообороте от люцерны нормы азотных удобрений корректируются по следующим поправочным коэффициентам: первый год после люцерны — 0,4...0,5; второй год — 0,6...0,75; третий год — 0,8...1,0; четвертый-пятый годы — 1,0. Нормы фосфорных и калийных удобрений корректируются в зависимости от содержания подвижных форм фосфора или калия в почве: при низком содержании поправочный коэффициент 1,25, при среднем — 1,0, повышенном — 0,75, высоком — 0,5 и очень высоком — 0,2...0,25.

В таблице 176 приводятся рекомендации Ташкентского филиала ЦИНАО для условий Узбекской ССР по нормам и срокам внесения удобрений под хлопчатник на типичных сероземах для получения урожая хлопка-сырца 30...35 ц с 1 га, в зависимости от содержания в почве подвижных фосфора и калия по Мачигину. Соотношение $N : P_2O_5 : K_2O$ в минеральных удобрениях на сероземах и луговых почвах должно примерно составлять 1 : 0,6...0,8 : 0,3...0,5. По пласту люцерны рекомендуется соотношение $N : P_2O_5$, равное 1 : 1,5...2,0. Более точно соотношение элементов питания в минеральных удобре-

175. Годовые нормы минеральных удобрений под хлопчатник на планируемый урожай на разных почвах (в кг д. в. на 1 га)

Планируемый урожай хлопка-сырца (в ц с 1 га)	Сероземы		
	N	P_2O_5	K_2O
20...25	160...200	110...140	50...80
25...30	200...230	140...160	60...100
30...35	220...270	160...190	70...120
35...40	260...300	180...210	80...120
40...45	290...330	200...230	90...120

Планируемый урожай хлопка-сырца (в ц с 1 га)	Светлые луговые почвы		
	N	P_2O_5	K_2O
20...25	150...170	110...150	60...80
25...30	160...220	150...180	80...100
30...35	220...270	170...220	80...120
35...40	250...300	190...240	80...120
40...45	280...330	220...270	80...120

Планируемый урожай хлопка-сырца (в ц с 1 га)	Темнолуговые и болотно-луговые почвы		
	N	P_2O_5	K_2O
20...25	140...170	110...140	40...80
25...30	170...200	140...160	50...100
30...35	200...230	160...190	60...110
35...40	220...250	180...200	70...120
40...45	240...280	190...220	80...130

ниях следует изменять в соответствии с агрохимическими показателями почвы (табл. 177). Правильное применение удобрений под хлопчатник повышает не только урожай, но и оказывает благоприятное влияние на технологические качества волокна. Хлопчатник использует в первый год из минеральных удобрений 30...60% N, 10...25% P_2O_5 и 30...70% K_2O. Коэффициент использования подвижного фосфора (по Мачигину) из почвы 15...30%, подвижного калия (по Мачигину) 10...30%.

В таблице 178 приводится система удобрения в 12-польном хлопко-люцерно-кукурузном севообороте на типичном сероземе в условиях Средней Азии для получения урожая хлопка-сырца 35...40 ц с 1 га, кукурузы на зерно 60 ц, кукурузы на силос 500 ц и сена люцерны 100 ц с 1 га. При этом на 1 га пашни севооборота в среднем рекомендуется вносить 4...6 т навоза и 17 ц стандартных туков ($N_{185}P_{122}K_{66}$). Среднее соотношение N : P_2O_5 : K_2O в минеральных удобрениях 1 : 0,67 : 0,37, в органических и минеральных 1 : 0,65 : 0,45. Ориентировочный баланс питательных веществ в севообороте (в % от

176. Нормы минеральных удобрений под хлопчатник (в кг д. в. на 1 га) для получения урожая хлопка-сырца 30...35 ц с 1 га в условиях Узбекской ССР на типичных сероземах (по данным Ташкентского филиала ЦИНАО)

Содержание питательных веществ в почве	Годовая норма удобрений	В том числе					
		под вспашку	под предпосевную обработку почвы	при посеве	в фазу двух листочков	в фазу бутонизации	в фазу цветения
Азотные удобрения (N)							
Среднее	250	—	70	20	50	60	50
Фосфорные удобрения (P_2O_5)							
Низкое	225	135	—	30	—	—	60
Среднее	175	105	—	30	—	—	40
Повышенное	125	65	—	30	—	—	30
Высокое	75	45	—	30	—	—	—
Очень высокое	30	—	—	30	—	—	—
Калийные удобрения (K_2O)							
Низкое	125	65	—	—	—	60	—
Среднее	100	50	—	—	—	50	—
Повышенное	75	50	—	—	—	25	—
Высокое	50	50	—	—	—	—	—
Очень высокое	25	25	—	—	—	—	—

выноса): N— 130, P_2O_5 — 215, K_2O — 50. (В качестве рядкового удобрения используется диаммофос в дозе 60 кг на 1 га.)

Применяя передовые агротехнические приемы, на осваиваемых землях Голодной степи совхоз «Пахта-Арал» получает на большой площади высокие стабильные урожаи хлопка-сырца, около 40 ц с 1 га. Так, в 1975 г. на площади 6750 га средняя урожайность составила 43 ц с 1 га.

177. Соотношение элементов питания в минеральных удобрениях под хлопчатник (урожай хлопка-сырца 30...35 ц с 1 га) на типичных сероземах (по данным Ташкентского филиала ЦИНАО)

Содержание P_2O_5 (в мг на 100 г почвы) (по Мачигину)	Соотношение $N:P_2O_5$ в удобрениях	Содержание K_2O (в мг на 100 г почвы) (по Мачигину)	Соотношение $N:K_2O$ в удобрениях
0...1,5 (низкое)	1:0,9	0...10,0 (низкое)	1:0,5
1,6...3,0 (среднее)	1:0,7	10,1...20,0 (среднее)	1:0,4
3,1...4,5 (повышенное)	1:0,5	20,1...30,0 (повышенное)	1:0,3
4,6...6,0 (высокое)	1:0,3	30,1...40,0 (высокое)	1:0,2
более 6,0 (очень высокое)	1:0,1	более 40,0 (очень высокое)	1:0,1

178. Система удобрения в хлопко-люцерно-кукурузном 12-польном севообороте на типичном сероземе в Средней Азии при среднем содержании подвижных фосфора и калия в почве (урожай хлопка-сырца 35...40 ц с 1 га)

Чередование культур в севообороте	Годовая норма удобрений (навоз в т, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га)				В том числе										
					основное удобрение				рядковое		подкормка в фазы				
	навоз	N	P_2O_5	K_2O	навоз	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	2...4 листочка	начало бутонизации			начало цветения
											N	N	P_2O_5	K_2O	N
Кукуруза (силос)+люцерна		150	280	150		150	270	150		10					
Люцерна 2-го года															
Люцерна 3-го года															
Хлопчатник		120	200	120			120	70	10	30	30	50	50	50	30
Хлопчатник		180	150	90		50	80	50	10	30	40	40	40	40	40
Хлопчатник		250	150	90		70	80	50	10	30	60	60	40	40	50
Хлопчатник	20...30	260	100		20...30	70	70		10	30	60	60			60
Хлопчатник		260	120	90		70	90	50	10	30	60	60		40	60
Кукуруза (зерно)		220	140	90		120	130	90		10	50+50	(1-я и 2-я подкормки)			
Хлопчатник	30...40	250	90		30...40	70	60		10	30	60	60			50
Хлопчатник		250	120	60		70	60	30	10	30	60	60	30	30	50
Хлопчатник		270	120	100		80	60	70	10	30	60	60	30	30	60

ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Овощные культуры требуют наиболее плодородных, окультуренных почв с хорошими водно-физическими свойствами. Значительная часть овощных культур выращивается на пойменных землях. К концентрации почвенного раствора солей наиболее чувствительны, особенно в молодом возрасте, морковь и лук, затем по степени снижения чувствительности следуют огурцы, капуста, томаты и свекла. Оптимальные концентрации удобрений для молодых растений капусты, томатов и свеклы выше соответственно в 1,5, 2,5 и 3 раза, чем для огурцов, и в 3, 5 и 6 раз выше, чем для моркови. Это следует учитывать при внесении минеральных удобрений.

Разные овощные культуры имеют свои особенности в потреблении питательных веществ в процессе вегетационного периода. Листовые овощи (капуста, салат, щавель, шпинат) предъявляют повышенные требования к азоту, корнеплоды — к калию, томаты — к фосфору, а огурцы — к фосфору и калию. Культуры, предназначенные для зимнего хранения, нуждаются в достаточном фосфорном и калийном питании. Капуста интенсивно поглощает азот до начала образования кочана, а в период его формирования — фосфор и калий. Томаты наиболее активно используют азот и калий в период плодоношения. Огурцы в наибольшей степени потребляют элементы питания в период цветения и образования плодов. В первый период роста огурцы используют больше азота и фосфора, чем калия, а во второй половине вегетации не нуждаются в интенсивном азотном питании. Лук предъявляет повышенные требования к азотному питанию в первую половину вегетации, а с момента образования луковиц до их созревания — к фосфору и калию. Вынос питательных веществ на 100 ц товарной продукции овощных культур (с учетом побочной) зависит от их биологических особенностей и почвенно-климатических условий (табл. 179).

179. Вынос питательных веществ на 100 ц товарной продукции овощных культур (в кг)

Культура	Дерново-подзолистые почвы			Черноземы			Каштановые почвы		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Капуста поздняя	41	14	49	51	11	52	45	11	56
Морковь	23	10	38	43	14	49	33	11	93
Свекла	27	15	43	—	—	—	46	10	116
Помидоры	32	11	40	36	7	33	43	8	71
Огурцы	28	15	44	29	12	32	32	10	54
Лук сладкий	30	11	29	22	9	29	30	9	39

Отношение к реакции почвенного раствора и известкованию. По отношению к кислотности почвы овощные культуры подразделяются на четыре группы.

1. Свекла, капуста белокочанная, лук, чеснок, сельдерей, шпинат и пастернак не переносят повышенной кислотности и наиболее сильно реагируют на известкование.

2. Цветная капуста, огурцы, салат, кольраби, брюква, лук-порей нуждаются в слабокислой реакции почвы и хорошо отзываются на известкование.

3. Морковь, петрушка, редька, репа, томаты, кабачки, тыква и редис не переносят избытка кальция и требуют известкования в пониженных нормах только на сильно- и среднекислых почвах.

4. Щавель, ревень слабочувствительны к повышенной кислотности почвы и слабо отзываются на известкование.

Овощные растения наиболее чувствительны к содержанию подвижного алюминия в почве. Его должно быть не более 3...4 мг на 100 г почвы, а для отдельных культур (лук, чеснок, салат, шпинат) — не свыше 1 мг.

Известкование в овощных севооборотах проводят с таким расчетом, чтобы оно оказало наибольшее действие на культуры, сильно отзывающиеся на известкование, и меньшее на те культуры, которые не переносят избытка кальция. В севооборотах, где выращиваются культуры, очень чувствительные к кислотности почвы, хороший результат дает поддерживающее известкование. В этом случае ежегодная норма извести 1...1,5 т на 1 га, или 2...3 т на 1 га через год. Следует учитывать, что известкование снижает поражаемость капусты килой.

На слабо- и среднесолонцеватых почвах вносят на 1 га 4...6 т гипса. Морковь, лук, огурцы плохо развиваются при содержании растворимых солей в почве 0,2...0,3% и хлора выше 0,007...0,01%. Свекла выдерживает концентрацию растворимых солей до 0,6...0,7%, а томаты и капуста — до 0,4%.

ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Органические удобрения в хозяйствах выделяются прежде всего для овощных севооборотов. В Нечерноземной зоне под овощные культуры вносят по 50...60 т, а в отдельных хозяйствах — по 80...100 т на 1 га навоза или торфонавозного компоста. На черноземах и каштановых почвах нормы внесения более низкие. На органические удобрения очень хорошо отзываются культуры, наиболее чувствительные к концентрации почвенного раствора: морковь, лук, огурцы. Однако под морковь и другие столовые корнеплоды (свекла, петрушка, сельдерей, пастернак, репа, редька) не рекомендуется вносить свежий и слабоперепревший навоз из-за возможного разветвления корнеплодов, что отражается на сохранности продукции, ее качестве и товарной ценности. Поэтому под столовые корнеплоды вносят или перегной (20...40 т на 1 га), или размещают эти культуры на второй-третий год после внесения навоза. Под лук вносят только перепревший навоз, или, еще лучше, перегной (30...40 т на 1 га), свежий

навоз используют под предшественник. Под огурцы, наоборот, лучше вносить свежий навоз. Такой навоз, внесенный в норме 60...120 т на 1 га, обеспечивает огурцы не только основными элементами питания и микроэлементами, но также углекислотой, которая выделяется при его разложении и хорошо используется листьями. Неплохой результат дает внесение навоза с осени под зябь и под позднюю капусту (30...60 т на 1 га). Однако применение его под раннюю капусту менее эффективно, так как ввиду короткого вегетационного периода навоз не успевает разложиться в достаточной степени. Поэтому под овощные культуры с длительным периодом вегетации лучше вносить полуперепревший навоз, а под ранние — перепревший или размещать их по последействию навоза. Томаты хорошо отзываются на органические удобрения, но на окультуренных почвах дают высокий урожай и при внесении одних минеральных удобрений. Из сказанного следует, что органические удобрения в овощных севооборотах надо вносить в первую очередь под огурцы, затем под лук и капусту (позднюю и среднепоздюю). На песчаных и супесчаных почвах органические удобрения следует вносить весной, на более тяжелых почвах — осенью под зябь. На пойменных почвах навоз вносят только весной и прежде всего под огурцы.

ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Для разных овощных культур в зависимости от типа почв существует определенный порядок минимумов элементов питания (табл. 180).

По эффективности использования минеральных удобрений основные овощные культуры можно расположить в следующем нисходящем порядке: свекла, капуста, томаты, морковь, огурцы и лук. По данным

180. Ориентировочный порядок минимумов питательных веществ на различных почвах для овощных культур

Культура	Зона дерново-подзолистых почв			Выщелоченные черноземы	Южные черноземы
	суглинки оподзоленные	поймы	низинные торфяники		
Капуста	NKP NPK	KNP NK	KPN KP	KPN NPK	PKN NP
Корнеплоды	NPK NKP	KPN KN	KN K	PK NK	— —
Томаты	PKN PNK	PKN PK	KP K	PKN NPK	PNK P
Огурцы	NKP	KNP	K	NK	PNK
Лук	KPN	KP	K	—	—

полевых опытов, в разных почвенно-климатических зонах страны в среднем полное минеральное удобрение при нормах 60...90 кг на 1 га каждого элемента питания обеспечивает прибавку урожая: капусты — 180 ц на 1 га, свеклы, моркови — 120...150 ц, томатов — 120 ц, огурцов — 110 ц и лука — 70...80 ц на 1 га.

При богарном земледелии в большинстве случаев фосфорные и калийные удобрения следует вносить с осени под зябь, заделывая их плугом с предплужником. Только на песчаных и супесчаных почвах целесообразно вносить калийные удобрения весной. Азотные удобрения в зоне достаточного и избыточного увлажнения также следует вносить весной. Однако жидкие аммиачные удобрения на связных почвах можно применять с осени под зябь. В засушливой зоне и зоне недостаточного увлажнения на средних и тяжелых по механическому составу почвах при глубоком залегании грунтовых вод азотные удобрения можно вносить с осени под зябь. При этом преимущество имеют аммиачные и амидные удобрения по сравнению с аммиачно-нитратными и особенно нитратными.

В условиях орошения на связных почвах даже при осеннем влагозарядковом поливе фосфорные и калийные удобрения вносят под зябь. Азотные удобрения в случае осеннего влагозарядкового полива вносят только весной. Если же он не проводится, то на почвах среднего и тяжелого механического состава в зоне недостаточного увлажнения при глубоком залегании грунтовых вод допускается внесение аммиачных и амидных удобрений под зябь.

На пойменных почвах и осушенных торфяниках азотные, фосфорные и калийные удобрения в качестве основного вносят весной. При осеннем внесении будут большие потери питательных веществ вследствие их вымывания полыми водами.

При посеве овощных культур рекомендуются следующие дозы удобрений: томаты — $N_{10}P_{20}K_{10}$; морковь, лук, огурцы, свекла — $N_{10}P_{10}K_{10}$. При этом следует вносить или один фосфор в виде гранулированного суперфосфата, или сразу два-три элемента питания в виде сложных и комбинированных удобрений. Лучший эффект припосевное удобрение дает при размещении его на 2...3 см глубже семян и на 2...3 см в сторону от рядка. При высадке рассады рассадопосадочной машиной удобрения вносятся с поливной водой (концентрация раствора до 0,2%).

Подкормка не может полностью заменить основного удобрения. Поэтому ее следует рассматривать как дополнительный прием. В подкормку следует прежде всего вносить азотные и калийные удобрения, а фосфорные применять до посева или посадки. Подкормка проводится при следующих обстоятельствах: а) в зонах достаточного и избыточного увлажнения на легких почвах; б) в условиях орошения при частых поливах, больших поливных нормах и длительном периоде вегетации растений; в) при высоких нормах минеральных удобрений, когда разовое внесение их может сильно повысить концентрацию почвенного раствора и тем отрицательно отразиться на развитии растений (морковь, лук, огурцы); г) когда до посева не было дано нужное количество удобрений.

Подкормки, если они необходимы, рекомендуется проводить в течение вегетационного периода 1...3 раза. Первую подкормку обычно проводят через 30...35 дней после посева овощных культур (при появлении третьего настоящего листа) или через 12...20 дней после посадки рассады. Последующие подкормки проводятся примерно через 2...3 недели. Удобрения вносят культиватором-растениепитателем: при первой подкормке — на расстоянии 6. . .8 см от растения на глубину 5...8 см, при второй — в середину междурядья на глубину 10...12 см. При орошении удобрения заделывают в почву культиватором-растениепитателем до полива.

Хорошие результаты дает внесение удобрений в подкормку с поливной водой при дождевании с использованием специальных гидроподкормщиков. Растворенные удобрения из подкормщика подаются в струю воды и вместе с ней распределяются по полю. Концентрация минеральных удобрений в поливной воде должна быть в среднем 0,1... 0,2%, а предельная — 0,5%. Сначала растения поливают чистой водой, затем удобрительной и после этого снова чистой водой в течение 5...10 мин, чтобы смыть удобрения с листьев. Удобрения нельзя растворять в оросительных каналах, так как при этом они нерационально используются и загрязняют близлежащие водоемы.

При подкормках овощных культур рекомендуются следующие дозы питательных веществ: первая подкормка — $N_{20...40}P_{20...40}K_{20...40}$, вторая и последующая — $N_{20...40}K_{20...60}$. О необходимости проведения подкормки можно судить по результатам химического анализа растений, а также экспресс-анализа по Церлинг и Магницкому.

Из азотных удобрений под овощные культуры чаще всего применяют аммиачную селитру, мочевину и сульфат аммония. Последние два удобрения имеют преимущества при орошении. Натриевая селитра наиболее эффективна для столовых корнеплодов и томатов. Из фосфорных удобрений лучшим для овощных культур является суперфосфат. Для цветной капусты наиболее эффективен молибденовый и борный суперфосфат. Из калийных удобрений широко применяется хлористый калий. Сернокислый калий применяют прежде всего под огурцы, томаты и лук и чаще всего в закрытом грунте. Столовая свекла, морковь, редька, брюква, репа, петрушка, сельдерей и капуста положительно реагируют на натрий. Поэтому под них можно вносить калийную соль. При внесении ее с осени хлор вымывается из почвы и не оказывает отрицательного действия на растения. Из всех овощных культур только столовая свекла выносliва к избытку хлора. На песчаных и супесчаных почвах преимущество имеют магнийсодержащие калийные удобрения.

СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Наибольшая продуктивность овощных севооборотов достигается при совместном применении органических и минеральных удобрений. К навозу в первую очередь следует дополнительно применять азотные удобрения, особенно на дерново-подзолистых почвах.

181. Нормы удобрений под овощные культуры на дерново-подзолистых и пойменных почвах при средней обеспеченности подвижными фосфором и калием (навоз, компост в т, минеральные удобрения в кг д. в. на 1 га)

Культура	Планируемый урожай (в ц с 1 га)	Дерново-подзолистые почвы				Пойменные почвы			
		навоз	N	P_2O_5	K_2O	навоз	N	P_2O_5	K_2O
Капуста ранняя*	300		90	20	30		60	40	90
	500		150	60	90		120	80	150
Капуста средняя и поздняя	400	40	120	40	90	30...40	90	40	150
	800	40	240	120	210	30...40	150	120	270
Морковь	300		30*	40*	60*		30	60	90
	500		90*	80*	120*		90	80	150
Свекла	300		90	40	120		60	40	150
	500		150	100	180		120	80	210
Помидоры	200		90	140	90		60	120	120
	300		120	160	120		90	140	150
Огурцы	200	80	60	80	90	60...80	60	60	90
	300	80	90	100	120	60...80	90	80	120
Лук на репку*	200		90	60	90		90	60	60
	300		120	80	90		120	80	90

*По последействию 40...60 т на 1 га навоза (компоста) на дерново-подзолистых почвах и малогумусовых пойменных почвах.

182. Нормы удобрений под овощные культуры на черноземах и каштановых почвах при средней обеспеченности подвижными фосфором и калием (навоз в т, минеральные удобрения в кг д.в. на 1 га)

Культура	Планируемый урожай (в ц с 1 га)	Выщелоченные и типичные черноземы				Южные черноземы и каштановые почвы			
		навоз	N	P_2O_5	K_2O	навоз	N	P_2O_5	K_2O
Капуста ранняя	200...300		60	60	60		75	45	60
	300...400		90	80	90		90	60	75
Капуста средняя и поздняя	200...300		90	60	90		90	45	60
	400...500		150	100	120		150	75	90
Морковь	200...300		60	60	60		60	45	45
	400...500		90	80	90		100	70	70
Свекла	200...300		60	40	60		60	45	45
	300...400		120	60	90		90	70	60
Огурцы	100...200	20...40	60	60	30	20...40	75	45	30
	200...300	20...40	90	75	60	20...40	90	60	60
Томаты	200...300		60	100	45		90	80	30
	300...400		90	140	60		120	90	60

Научно-исследовательскими учреждениями нашей страны разработаны рекомендации по применению удобрений под овощные культуры в различных почвенно-климатических зонах в зависимости от величины планируемого урожая и агрохимических показателей почв (табл. 181, 182).

183. Система удобрения в 8-польном овощном севообороте при орошении на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве со средним содержанием подвижных фосфора и калия (навоз в т, минеральные удобрения в кг д.в. на 1 га)

Чередование культур	Планируемый урожай (в ц с 1 га)	Основное удобрение				Припосевное			Подкормки			
		навоз	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	первая		вторая	
									N	K_2O	N	K_2O
Овес + травы	35		40	120	200		10					
Травы 1-го года пользования (сено)	60											
Травы 2-го года пользования	60								40			
Капуста поздняя	600		100	160	200				40	40	40	60
Огурцы	250	80					10					
Томаты	300								30			
Столовые корнеплоды	400		40	60	110	10	10	10	20			
Капуста средняя	500	50	60	40	60					40		

184. Система удобрения в 6-польном овощном севообороте на пойменной почве со средним содержанием подвижного фосфора и низким содержанием подвижного калия при орошении (навоз в т, минеральные удобрения в кг д.в. на 1 га)

Чередование культур	Планируемый урожай (в ц с 1 га)	Основное удобрение				Припосевное			Подкормки			
		навоз	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	первая		вторая	
									N	K_2O	N	K_2O
Капуста средняя	600		100	150	150				40	40	40	60
Томаты	300		30	90	30				30	20	30	30
Огурцы	250	60	30	20	30		10				30	30
Капуста поздняя	800		100	150	200				40	40	40	60
Свекла	400			50	130	10	10	10	20	30	30	40
Морковь	500		60	80	100	10	10	10	20	20	30	30

185. Система удобрения в овощном севообороте для центральной и западной зон Кубани при орошении (навоз в т, минеральные удобрения в кг д.в. на 1 га)

Чередование культур	Основное удобрение				Припосевное			Подкормка		
	навоз	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Яровые зерновые + травы		40	130	120		10				
Травы 1-го года пользования										
Травы 2-го года пользования										
Томаты		30	90	60				30		30
Огурцы	30					10		30		
Лук			60	40				30		20
Томаты		50	90	60				30		30
Капуста средняя и поздняя	30	60	90	60				30		30
Свекла, морковь					10	10	10	20	20	20
Томаты	20	30	90	60				30		30
Капуста ранняя		60	90	60				30		30

Примечание. Урожай лука и огурцов 250...300 ц с 1 га, томатов 350...400 ц, столовых корнеплодов 400—450 ц, капусты средней и поздней 600...700 ц с 1 га.

В некоторых хозяйствах с целью получения высоких урожаев овощей применяют необоснованно высокие нормы минеральных удобрений, что может привести к ухудшению качества продукции (повышенное содержание нитратов) и загрязнению окружающей среды.

Схемы систем удобрения в овощных севооборотах даются в таблицах 183, 184, 185.

Система применения удобрений в садах

Система удобрения плодовых садов и кустарниковых ягодников (малина, смородина, крыжовник) включает следующие этапы.

1. Удобрение плодовых и ягодных питомников. 2. Окультуривание почвы перед закладкой плодового сада и ягодников. 3. Внесение удобрений при посадке плодовых деревьев и ягодных кустарников. 4. Удобрение молодого сада. 5. Удобрение плодоносящего сада.

Удобрение земляники складывается из удобрения маточника (питомника) и удобрения ягодной плантации в специальных севооборотах.

Древесные плодовые растения на протяжении своей жизни проходят пять возрастных периодов: 1) усиленного вегетативного роста до первого плодоношения, когда происходит интенсивное увеличение надземной части и корневой системы; 2) роста и плодоношения (от первого плодоношения до промышленных урожаев), который характеризуется ежегодным наращиванием урожайности, сильным поступательным ростом скелетных ветвей и увеличением на них количества плодоносных элементов; 3) плодоношения и роста (от первых промышленных урожаев до наивысшей урожайности), когда поступательный рост снижается, ослабевает прирост на скелетных ветвях, начинается отмирание первых генераций обрастающих ветвей в центре кроны; 4) максимального плодоношения, характеризующийся прекращением роста и усиленным отмиранием обрастающих ветвей; 5) затухания плодоношения и массового отмирания обрастающих, полускелетных и скелетных ветвей с одновременным возникновением регенеративных побегов на старых скелетных ветвях.

Каждому возрастному периоду соответствует определенный уровень потребления питательных веществ, что следует учитывать при определении норм удобрений под плодовые культуры. Наиболее экономически эффективным является третий период, при котором наиболее удачно сочетаются плодоношение и рост.

Годовой цикл плодовых растений подразделяют, в свою очередь, на четыре периода: два длительных (период вегетации и период относительного покоя) и два коротких (переход от вегетации к покою и от покоя к вегетации). Отсюда для плодовых культур выделяют два этапа поглощения питательных веществ в течение вегетации: первый — от начала вегетации до окончания роста побегов и уборки урожая; второй — после уборки урожая до глубокой осени. На первом этапе обеспечивается рост побегов, листьев, образование плодов и ягод, а также закладка плодовых почек для урожая будущего года. В этот период потребляется из элементов питания больше всего азота. На втором этапе отмечается второй максимум роста корневой системы, продолжается развитие плодовых почек для урожая следующего года, роста растений в толщину и отложение запасных питательных веществ. В это время требуется умеренное азотное питание и хорошее фосфорно-калийное, способствующее повышению морозоустойчивости деревьев.

Корневая система груши располагается глубже, чем яблони; у вишни, черешни и сливы она более поверхностная, чем у семечковых.

Диаметр круга почвы, занятого корнями, в 1,5. . .2 раза больше диаметра кроны дерева. Диаметр приствольного круга корней для деревьев 3...4-летнего возраста составляет не менее 2 м, для деревьев 5...6-летнего возраста — не менее 3 м, для деревьев 7...8-летнего возраста — не менее 4 м и т. д. (возраст дерева, деленный на 2).

Вертикальные корни плодовых деревьев достигают глубины 10 м. Плотность корней в пределах проекции кроны обычно в 3...4 раза больше, чем за ее пределами. У плодовых деревьев, а также у ягодных кустарников каждый скелетный корень связан с определенной частью

надземной системы. Отсюда следует, что удобрения лучше всего вносить равномерно вокруг растений.

Сильное отрицательное действие на рост плодовых растений оказывает повышенное содержание в почве водорастворимых солей и поглощенного натрия. По данным С. Ф. Неговелова, при содержании вредных солей (все водорастворимые соли почвы, за исключением бикарбоната кальция, гипса и питательных веществ) более 2 м.-экв. на 100 г почвы в метровом слое, 3-м.-экв. в слое 100. . .160 см и более 5 м.-экв. глубже 3 м почвы непригодны под сады. Предельная концентрация поглощенного натрия в почве составляет для яблони 10%, для абрикоса 13 и айвы 15. . .20% от общей емкости поглощения. По отношению к реакции почвенного раствора плодово-ягодные культуры можно разделить на три группы.

1. Требующие нейтральной реакции: вишня, черешня, слива, персик, абрикос. 2. Удовлетворительно произрастающие при слабокислой реакции: яблоня, груша, крыжовник, смородина. 3. Растения, которые выносят среднекислую реакцию: малина и земляника.

Вынос питательных веществ за 1 год различными молодыми плодовыми деревьями значительно колеблется. По азоту (N) он составляет 6...44 кг, фосфору (P_2O_5) — 2...7 кг и калию (K_2O) — 6...35 кг с 1 га. В таблице 186 приводятся величины ежегодного поглощения питательных веществ плодоносящими плодово-ягодными культурами. В фазу усиленного роста побегов яблоня потребляет больше фосфора, чем азота и калия. В фазу затухания роста, наоборот, азот и калий поступают в растения интенсивнее в 4...5 раз, нежели фосфор. Однако в фазу окончания роста фосфор занимает первое место в поглощении, затем калий, и меньшее значение принадлежит азоту.

У малины период интенсивного поступления азота, фосфора и калия растянут и продолжается до конца лета, а затем резко снижается.

У крыжовника рост до конца цветения происходит в основном за счет запасных питательных веществ растения, отложенных в преды-

186. Ежегодное поглощение питательных веществ плодоносящими плодовыми и ягодными растениями

Культура	Урожай (в ц с 1 га)	Потребление (в кг с 1 га)			
		N	P_2O_5	K_2O	CaO
Яблоня плодоносящая	615	67	18	72	73
Груша молодая	220	34	8	38	44
Слива молодая	99	34	10	44	47
Персик	234	85	20	82	130
Айва	210	52	17	65	74
Смородина красная	201	133	51	82	174
Смородина черная	73	63	25	34	94
Крыжовник	180	79	40	123	96
Земляника	108	156	35	184	—

дущий год. После цветения до полного формирования урожая отмечается усиленное поглощение элементов питания и прежде всего азота. В августе и сентябре поступление питательных веществ сильно замедляется.

Земляника до начала цветения потребляет 15...20% питательных веществ от общего их количества за вегетационный период. От начала цветения до конца плодоношения (т. е. за 1,5 месяца) поглощается 40% азота, 55% фосфора и калия. От конца плодоношения до выбора усов она потребляет около 20% питательных веществ, а после выбора усов — 15% азота и 2...7% фосфора и калия. Наибольшее количество фосфора и калия (примерно 40%) земляника поглощает за период плодоношения (за три недели). Потребление азота у земляники растянуто и практически идет равномерно по фазам вегетации.

Группировка дерново-подзолистых и серых лесных почв по фосфору и калию для плодово-ягодных культур дана в таблице 187.

Градация средне- и тяжелосуглинистых почв (слой 0...20 см) по содержанию подвижного магния (мг MgO на 100 г почвы) следующая: низкое <6, среднее 6...9, повышенное 9...12, высокое 12...15 и очень высокое> 15.

Агрохимическое обследование почв в садах проводится один раз в 4...5 лет и является основой рационального применения удобрений согласно составленным картограммам. Норма удобрений может быть определена расчетным методом, или используются рекомендуемые научно-исследовательскими учреждениями средние нормы, которые

187. Группировка почв по содержанию подвижных P_2O_5 и K_2O (в мг на 100 г почвы) **для плодовых и ягодных культур** (по рекомендациям ЦИНАО и ВНИИ садоводства имени И. В. Мичурина)

Содержание в почве подвижных P_2O_5 или K_2O	По Кирсанову и Чирикову		По Мачигину		По Ониани	
	0...20 см	20...40 см	0...20 см	20...40 см	0...20 см	20...40 см
			P_2O_5			
Низкое	<8	<4	<2	<1	<20	<11
Среднее	8...12	4...6	2...3	1,1...1,6	20...30	11...16
Повышенное	12...16	6...8	3...4	1,7...2,2	30...40	17...22
Высокое	16...20	8...10	4...5	2,3...2,8	40...50	23...28
Очень высокое	>20	>10	>5	> 2,8	>50	>28
			K_2O			
Низкое	<7	<3	<15	<7	<9	<6
Среднее	7...10	3...6	15...21	7...10	9...13	6...8
Повышенное	11...14	6...9	22...28	11...14	14...20	9...11
Высокое	15...18	9...12	29...35	15...18	21...25	12...14
Очень высокое	>18	>12	>35	>18	>25	>14

Примечание. Содержание подвижного калия приведено для среднесуглинистых почв.

188. Оптимальное валовое содержание питательных веществ в листьях плодово-ягодных культур (в % на сухое вещество)

Культура	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Яблоня и груша	1,8...2,5	0,3...0,5	1,2...1,8	1,4...2,0	0,4...0,6
Вишня, слива и черешня	1,8...2,5	0,3...0,5	1,6...2,4	1,8...2,8	0,4...0,6
Смородина	2,2...3,4	0,5...0,7	1,6...2,4	1,8...2,8	0,3...0,5
Крыжовник	2,1...3,1	0,5...0,7	1,6...2,4	1,8...2,8	0,4...0,6
Малина	2,3...3,5	0,5...0,7	1,3...1,9	1,5...2,3	0,4...0,6
Земляника	2,0...3,0	0,5...0,7	2,0...3,0	2,3...3,5	0,2...0,4

корректируются в зависимости от содержания подвижных элементов питания в почве. Так, при низком и очень низком содержании элемента в почве поправочный коэффициент к средней норме составляет 1,3...1,5, при среднем — 1,0, повышенном — 0,75, высоком — 0,5 и очень высоком — 0,25.

Нуждаемость плодово-ягодных культур в питательных веществах можно определить методом листовой диагностики (табл. 188). Листья для анализа берут у плодовых деревьев после окончания роста побегов (во второй половине вегетационного периода), у ягодных кустарников при созревании ягод, у земляники в период массового цветения и формирования ягод. В пробу для анализа отбирают 40...50 листьев: у плодовых деревьев, крыжовника и малины — с середины прироста текущего года, у черной смородины — с середины прикорневых побегов или побегов продолжения, у земляники — развитые листья с середины куста. При содержании питательных веществ в листьях ниже оптимального уровня соответствующие минеральные удобрения под плодовые и ягодные культуры следует вносить уже в текущем году для получения хорошего урожая. В случае оптимального уровня подкормка под урожай текущего года не проводится. Проведение листовой химической диагностики плодовых и ягодных культур в июле — августе позволяет скорректировать нормы удобрений под урожай будущего года. При этом поступают следующим образом: при сильном недостатке элементов питания (более чем на 35% ниже оптимального) рекомендуемая или применяемая норма удобрений удваивается; при недостаточном содержании (на 20% ниже оптимального) норма увеличивается в 1,5 раза; при оптимальном содержании норма остается без изменения; при повышенном содержании (на 20% выше оптимального) питательных веществ в листьях удобрения не вносят.

Всесоюзный научно-исследовательский институт садоводства имени И. В. Мичурина рекомендует вводить комплексную поправку к средней годовой норме удобрений на основании содержания питательных веществ в почве и листьях (табл. 189). Ввиду отсутствия картограмм по содержанию подвижного азота в почве норму азотных удобрений корректируют по данным листовой диагностики.

При удобрении плодово-ягодных культур следует учитывать их биологические особенности по возрастным периодам, баланс питатель-

189. Поправочные коэффициенты к средним годовым нормам фосфора, калия и магния в зависимости от содержания этих элементов в почве и листьях

Содержание подвижных элементов питания в почве	Валовое содержание элемента в листьях		
	недостаточное	оптимальное	избыточное
Очень низкое и низкое	2,0	1,5	—
Среднее и повышенное	1,5	1,0	—
Высокое	1,0	0,5	—
Очень высокое	0,5	—	—

ных веществ в почве, последействие ранее внесенных органических, фосфорных, калийных удобрений и, следовательно, изменение соотношения питательных веществ в минеральных удобрениях в процессе длительного их применения, погодные и агротехнические условия. Так, например, в задерненных садах повышают нормы удобрений, особенно азотных (в 1,5...2 раза); при сильной обрезке деревьев дозы азотных удобрений снижают. В холодный и влажный год азотных удобрений вносят на 20...30% больше, а в сухой и теплый уменьшают в 2...3 раза по сравнению с нормой в обычный год. При орошении норму азота увеличивают примерно на 30%. На второй и последующие годы после проведения очередного агрохимического обследования почвы нормы фосфорных удобрений в садах уменьшают в 1,5...2 раза, а калийных — в 1,3...1,5 раза по сравнению с нормой, установленной на основании агрохимических показателей почвы в год обследования. При хорошей предпосадочной заправке почвы органическими удобрениями рекомендуемые нормы минеральных удобрений в садах снижают в 1,5...2 раза на протяжении 5...7 лет после посадки. Особое внимание в садоводстве следует обращать на обеспеченность плодово-ягодных растений микроэлементами, о чем можно судить по анализу листьев. При содержании в средних листьях побегов (после окончания роста) менее 6 мг цинка, 10 мг меди и марганца и 15 мг бора на 1 кг сухого вещества необходимо вносить соответствующие микроудобрения. Следует учитывать, что чрезмерное калийное питание тормозит поступление в растения не только кальция, магния и железа, но и многих микроэлементов, а внесение избыточных норм фосфорных удобрений снижает доступность бора, цинка и меди.

Таким образом, в интенсивном садоводстве сбалансированное питание играет большую роль в повышении продуктивности плодово-ягодных культур. Важность его особенно возрастает при внесении высоких годовых норм минеральных удобрений в высокопродуктивных садах и снижении норм органических удобрений. Сбалансированность элементов питания позволяет снизить поражаемость растений различными функциональными болезнями, повысить не только урожайность, но и качество продукции.

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ В ПЛОДОВЫХ И ЯГОДНЫХ ПИТОМНИКАХ

Питомник состоит, как правило, из трех отделений: 1) отделения размножения (посевные, пикировочные, черенковые и отводочные участки); 2) отделения формирования саженцев; 3) маточных насаждений, обеспечивающих питомник семенами для выращивания подвоев, получения черенкового (привойного) материала, отпрысков, отводков и пр.

Для отделений размножения (школа сеянцев) и формирования (школа саженцев) закладывают самостоятельные севообороты.

Для окультуривания почвы перед закладкой полей питомника (школы сеянцев и школы саженцев) осенью проводят глубокую вспашку (на 30...45 см) плантажным плугом. На дерново-подзолистых почвах пашут на глубину 25...30 см с почвоуглубителями (дополнительное рыхление на 10...15 см). При этом вносят на 1 га 30...100 т органических удобрений (в зависимости от типа почв) и фосфорно-калийные удобрения в норме $P_{60...120}K_{60...120}$, в зависимости от агрохимических свойств почвы. На кислых почвах вносят известь (желательно в два срока: осенью под плуг и весной под культиватор). Удобрение полевых культур в севообороте строится в зависимости от величины планируемых урожаев и их биологических особенностей. После 2...3 лет окультуривания почвы, когда возделываются полевые культуры, участки используют для выращивания сеянцев-подвоев и формирования саженцев.

При выращивании подвоев (школа сеянцев) с осени под вспашку (или под предшествующую культуру) вносят на 1 га 20...50 т полуперепревшего или хорошо перепревшего навоза и $P_{60...90}K_{60...90}$. На черноземах вносят на 1 га 20...30 т навоза, а на дерново-подзолистых — до 50 т. Одновременно с посевом плодовых культур в рядки вносят гранулированный суперфосфат в дозе 20 кг P_2O_5 на 1 га. Желательно, чтобы между семенем и удобрением была небольшая прослойка почвы в 1...2 см.

Добавление азота к рядковому фосфорному удобрению дает отрицательный результат. Когда сеянцы окрепнут (фаза 3...4 настоящих листочков), проводят подкормку их азотом в дозе 30...45 кг на 1 га. Вторую подкормку азотом в дозе 30...45 кг на 1 га применяют в начале интенсивного роста сеянцев, но не раньше чем через 15...20 дней после первой подкормки. Если азотные удобрения вносят с поливом, то концентрация раствора при первой подкормке должна быть в пределах 0,10...0,15%, а при второй — не более 0,2%. Подкармливать сеянцы можно навозной жижей и птичьим пометом. Навозную жижу предварительно разбавляют в 5...10 раз и вносят между рядками в бороздки глубиной 4...5 см (одну лейку на 3...4 м, т. е. 10...15 т на 1 га). Птичий помет вначале настаивают на воде (одна часть помета на две части воды) в течение нескольких дней, а затем перед внесением разбавляют водой в 8...10 раз. На 1 га вносят 8...10 ц птичьего помета.

Подвойный материал, выращенный в отделении размножения питомника (школа сеянцев), высаживается *в отделение формирования*

(школа саженцев). С осени проводится вспашка участка плугом с почвоуглубителем, при необходимости вносится навоз в норме 30...60 т на 1 га (или под предшественник) и $P_{120...150}K_{120...150}$. Перед началом интенсивного роста подвоев весной проводят подкормку азотными удобрениями в дозе 30...45 кг азота на 1 га. Через месяц подкормку повторяют. На втором поле питомника, где выращиваются однолетки, рано весной проводят первую азотную подкормку ($N_{30...60}$), а затем вторую в той же дозе при достижении окулянтами высоты 15...20 см, т. е. в начале их интенсивного роста. На третьем поле отделения формирования питомника, где выращиваются двухлетки, удобрения вносят по мере необходимости. Если фосфорные и калийные удобрения были внесены ранее, то ограничиваются только азотными.

Удобрение маточных насаждений плодовых и ягодных культур в питомнике ведется так же, как и обычного плодоносящего сада (см. ниже).

ОКУЛЬТУРИВАНИЕ ПОЧВЫ ПЕРЕД ЗАКЛАДКОЙ ПЛОДОВОГО САДА И ЯГОДНИКОВ

Окультурование почвы начинается за 3...4 года до посадки плодовых деревьев и ягодников. Прежде всего участок глубоко пашут (табл. 190) плантажным плугом. На дерново-подзолистых почвах, где глубина пахоты меньше, чем на других почвах, дополнительно проводится рыхление почвоуглубителем на 10...15 см. Перед вспашкой вносят органические удобрения (40...100 т на 1 га), известь и фосфорно-калийные удобрения (в запас на несколько лет). В некоторых случаях целесообразно проводить фосфоритование почвы повышенной нормой фосфоритной муки, 10...25 ц на 1 га. Известь вносят из расчета на всю мощность пахотного слоя. Лучше всего 2/3 нормы извести заделать под плуг, а 1/3 — под культивацию в верхний слой почвы. В этот же слой для его быстрейшего окультуривания следует внести также 30...40 т органических удобрений на 1 га. После этого участок занимают многолетними бобовыми или бобово-злаковыми травами.

На супесчаных почвах высевают люпин на зеленое удобрение. Травы используют в течение 2 лет, в последний год после первого укоса пашут пласт на глубину 20...25 см, хорошо его разделывают и производят посадку сада. Если предварительное окультуривание почвы провести не удалось, то его осуществляют в междурядьях сада после его посадки. В этом случае перед закладкой сада вносят органические, минеральные удобрения, известь и пашут на глубину 20...25 см.

Перед закладкой загущенных садов предпосадочное удобрение наиболее целесообразно вносить на всю площадь сада. Перед закладкой садов с широкими междурядьями (особенно когда в хозяйстве недостаточно удобрений, прежде всего органических, для всей осваиваемой площади) можно органические и минеральные удобрения вносить полосами (шириной 1...1,5 м) по линии будущих рядов деревьев, а в последующем проводить окультуривание почвы в междурядьях сада.

190. Глубина предпосадочной вспашки и нормы органических и минеральных удобрений для различных зон садоводства (навоз, компост в т, минеральные удобрения в кг д.в. на 1 га)

Культура	Северная зона (дерново-подзолистые почвы)			
	глубина (в см)	навоз, компост	P_2O_5	K_2O
Плодовые породы	40...50	40...80	150...300	120...400
Кустарниковые ягодники	35...40	40...100	100...300	100...300
Земляника	25...30	40...80	60...150	60...150

Культура	Средняя зона (серые лесные почвы и черноземы)			
	глубина (в см)	навоз, компост	P_2O_5	K_2O
Плодовые породы	60	20...40	150...300	120...200
Кустарниковые ягодники	40...50	40...50	120	90
Земляника	35...40	50...60	90...120	60...90

Культура	Южная зона (каштановые почвы и южные черноземы)			
	глубина (в см)	навоз, компост	P_2O_5	K_2O
Плодовые породы	65...70	30...40	100...150	100...150
Кустарниковые ягодники	50	25...30	120	60...90
Земляника	40	30...40	90...120	30...60

Нормы удобрений по полосам (в расчете на 1 га полосы) такие же, как и при сплошном внесении.

При ускоренной закладке сада, без предварительного проведения комплекса мероприятий по предпосадочному окультуриванию почвы, удобрения вносят только при посадке в траншеи, борозды или посадочные ямы, а последующее окультуривание почвы междурядий проводят постепенно в течение ряда лет.

Рекомендуемые нормы фосфорных, калийных и органических удобрений для предпосадочного внесения (табл. 190) корректируются поправочными коэффициентами (см. стр.483) в зависимости от содержания в почве подвижных форм фосфора и калия (табл. 187). При этом норма органических удобрений, как правило, изменяется в соответствии с содержанием подвижного фосфора в почве.

Органические и минеральные удобрения, особенно фосфорные и калийные, следует заделывать в глубокие слои почвы, чтобы они находились в зоне расположения корней и тем самым лучше использовались плодовыми культурами. В период плодоношения садов создаются большие затруднения для глубокой заделки в почву удобрений. Поэтому в садах большой интерес приобретает запасное внесение фосфорных и калийных удобрений. Например, в Молдавии практикуется внесение под плантажную вспашку перед закладкой сада 60...120 т навоза и 300...600 кг фосфора и калия на 1 га, в зависимости от обеспеченности почвы подвижными формами P_2O_5 и K_2O.

В период предпосадочного окультуривания почвы следует большое внимание уделять борьбе с сорняками путем сочетания механического метода с применением гербицидов в посевах полевых культур, выращиваемых на этой площади. При сильной засоренности почвы, особенно злостными многолетними злаковыми сорняками, рекомендуется наряду с механической обработкой в чистом пару применять в комплексе ТХА, далапон и 2,4-Д.

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ ПРИ ПОСАДКЕ ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ И ЯГОДНИКОВ

Наряду с окультуриванием почвы перед закладкой сада важное значение имеет также местное внесение удобрений при посадке плодовых деревьев и ягодных кустарников. При механизированной посадке смородины, крыжовника и малины часто ограничиваются только хорошей предпосадочной заправкой почвы в период окультуривания участка, а перед самой посадкой удобрения не вносят.

В современных промышленных садах наиболее распространен траншейный способ посадки плодовых деревьев. Траншея нарезается глубиной 45...60 см и шириной 40...50 см плантажным плугом дважды в одном направлении по линии будущего ряда деревьев. При этом органические удобрения (перепревший навоз, выдержанный компост или некислый низинный торф) чаще всего вносят перед нарезкой траншеи полосой по линии будущей траншеи.

По ряду причин возможны и другие варианты, когда органические удобрения вносят на дно нарезанной траншеи или половинную их дозу дают перед нарезкой траншеи, а другую половину — на ее дно. Азотные удобрения при этом способе посадки не применяются, а фосфорные и калийные лучше вносить на дно траншеи. После засыпки траншеи (бульдозером со специальным приспособлением) проводят механизированную посадку саженцев и делают лунки для полива. На каждый саженец дают 20...30 л воды, затем приствольные круги мульчируют торфом, компостом, навозом или рыхлой землей.

На 100 м траншеи для семечковых и косточковых пород вносят: на дерново-подзолистых почвах — 800...1200 кг органических удобрений, 8 кг P_2O_5 (40 кг простого суперфосфата) и 2,5...3 кг K_2O (4,5...5,5 кг хлористого калия); на черноземах и каштановых почвах — 400...800 кг органических удобрений, 4...6 кг P_2O_5 и 1,5...2,5 кг K_2O.

Основываясь на рекомендациях по внесению удобрений в посадочные ямы, легко подсчитать норму удобрений на 1 м³ почвы траншеи. Для этого нормы органических и минеральных удобрений (табл. 191) для семечковых пород умножают на 2, для косточковых — на 5 и для кустарниковых ягодников — на 10.

При посадке смородины, крыжовника и особенно малины хороший результат дает внесение органических удобрений в борозды, нарезанные плугом. После этого посадку ягодников проводят машиной.

При посадке земляники рассадопосадочными машинами удобрения местно не применяют, а ограничиваются их внесением перед посадкой на всю площадь участка.

Посадка плодовых деревьев и ягодных кустарников в ямы, подготовленные с помощью ямокопателей (диаметр ям 20. . .100 см, глубина до 60. . .70 см) или вручную, в настоящее время проводится только на небольших участках или при ремонте садов.

Окультуривание почвы во всем объеме посадочной ямы играет важную роль для приживаемости саженца и ускоряет начало плодоношения молодого сада. Для почв среднего плодородия рекомендуется следующий размер посадочных ям.

Культуры	Диаметр, см	Глубина, см	Объем, м³
Яблоня, груша	100	60	0,5
Вишня, слива	80	40	0,3
Кустарниковые ягодники	50...60	30...35	0,1

На бедных почвах диаметр ям увеличивают как минимум на 25... 30%. Лучше использовать для засыпки ям при посадке саженцев только пахотный слой почвы, который берут из междурядий сада (если в них не проводился плантаж), а почву, вынутую из ямы, разбрасывают в междурядье. Когда для посадки дерева используют всю почву, вынутую из ямы, то в нижнюю часть ямы ссыпают больше пахотного слоя и меньше подпахотного, а в верхнюю часть — наоборот. Корневую систему дерева присыпают только почвой пахотного слоя.

Как показали опыты, оптимальной дозой удобрений при посадке сада являются 15 г перегноя и 0,03...0,05 г NPK на 1 кг почвы ямы. Ряд исследователей предлагают органические, минеральные удобрения и известь равномерно перемешивать со всей почвой посадочной ямы. Н. Д. Спиваковский рекомендует полуперепревший навоз, компост или перегной перемешивать со всей почвой ямы, 2/3 дозы минеральных удобрений в смеси с органическими заделывать перекопкой на дне ямы и 1/3 дозы минеральных удобрений перемешивать с почвой, которой засыпается нижняя половина ямы. Если применяется торф, то его смешивают со всем объемом почвы. Такое внесение минеральных удобрений исключает угнетение ими саженца.

В случае если почва перед закладкой сада была произвесткована в полной мере, то в период посадки известь добавляется только в те слои почвы ямы, которые не затронуло известкование.

Слаборазложившийся навоз вносить в посадочные ямы не следует, так как это может снизить приживаемость саженцев. Такой навоз,

191. Нормы органических и минеральных удобрений в садах и ягодниках на одну посадочную яму (в кг) (по Н. Д. Спиваковскому)

Вид удобрений	Дерново-подзолистые почвы			Черноземы и каштановые почвы		
	семечковые	косточковые	ягодные кустарники	семечковые	косточковые	ягодные кустарники
Навоз (перепревший), компост, перегной	20...30	10...12	8...10	10...12	8	4...6
Хлористый калий (или)	0,1	0,05	0,03	0,06	0,04	0,02
Сернокислый калий	0,15	0,06	0,04	0,08	0,05	0,03
Суперфосфат (или)	1,0	0,4	0,2	0,5	0,3	0,15
Фосфоритная мука	1,5	0,6	0,3	—	—	—
Аммиачная селитра	0,06	0,04	0,02	0,06	0,04	0,02
Молотый известняк или доломит	0,6...1,0	0,3...0,4	0,1...0,15	—	—	—
Всего минеральных удобрений (в г д.в.)	N 21	14	7	21	14	7
	P_2O_5 200	80	40	100	60	30
	K_2O 60	30	18	36	24	12

заделанный на большую глубину, разлагается в анаэробных условиях с образованием вредных недоокисленных соединений. В таблице 191 приводятся нормы удобрений в посадочные ямы, размеры которых были указаны выше. Если объем ямы увеличивают, то пропорционально следует увеличить и дозы вносимых удобрений. При внесении суперфосфата в смеси с фосфоритной мукой 1 часть суперфосфата приравнивается к 2...4 частям фосфоритной муки. Общая норма питательных веществ минеральных удобрений в посадочную яму составляет в зависимости от типа почв (в г д. в.): для семечковых $N_{20}P_{100...200}K_{40...60}$, косточковых $N_{15}P_{60...80}K_{20...30}$ и ягодных кустарников $N_7P_{30...40}K_{10...20}$. При весенней посадке в сухую погоду рекомендуется за день или за несколько часов до посадки ставить саженцы корнями в воду или земляную болтушку. После посадки проводят полив из расчета 20...30 л воды на одно дерево. Когда вода впитается, приствольный круг присыпают сухой землей и мульчируют торфом (слоем 4...5 см), навозом или компостом (15...20 кг на дерево). При хорошей предпосадочной заправке почвы сады и ягодники можно не удобрять в течение 3...5 лет. В загущенных садах этот срок сокращается.

УДОБРЕНИЕ МОЛОДОГО САДА

Применение удобрений в молодом саду складывается из удобрения приствольных кругов и междурядий. Приствольные круги содержат только под чистым паром. Еще лучше проводить до-

полнительное мульчирование их торфом или компостом. В междурядьях молодого сада выращиваются картофель, овощи, кормовые корнеплоды, однолетние бобовые растения, медоносы, а в условиях достаточного увлажнения — многолетние бобовые и злаковые травы. Система удобрения междурядных культур должна строиться так, чтобы происходило интенсивное повышение плодородия почвы с целью получения в дальнейшем высокого урожая плодовых деревьев. На легких и средних по механическому составу почвах выращивают сидераты: люпин, горчицу, вико-овсяную смесь, фацелию. При внесении удобрений в посадочные ямы молодые деревца в год посадки не удобряют. Удобрения вносят на второй год и позднее в зависимости от степени окультуренности почвы в посадочной яме.

На 1 м² приствольного круга в соответствии с почвенно-климатическими условиями, породой и возрастом деревьев рекомендуют вносить наряду с 3...4 кг органических удобрений 3...6 г N, 4..6 г P_2O_5 и 2...5 г K_2O. Более высокие дозы вносят на бедных почвах, а также в условиях орошения; более низкие — на богатых почвах и в зоне недостаточного увлажнения. Внесение на 1 м² 3...4 кг органических удобрений соответствует дозе 30...40 т, 2...6 г д. в. минеральных удобрений на 1 м²— 20...60 кг питательного вещества на 1 га. На одно дерево в зависимости от его возраста (3...13 лет) и почвенно-климатической зоны выращивания применяют 10...80 кг навоза и 15...120 г N, 15... 120 г P_2O_5 и 10...100 г K_2O.

При раздельном применении органических и минеральных удобрений дозы их увеличиваются в 1,5 раза. На бедных почвах молодые деревья удобряют ежегодно, а на хорошо окультуренных — один раз в 2...3 года. На кислых почвах вносят известь по 0,5...1 кг на 1 м² из расчета на 5...10 лет. Норму удобрений на одно дерево в зависимости от его возраста можно рассчитать следующим образом. Если, например, возраст дерева 6 лет, то диаметр его приствольного круга будет равен примерно 3 м (6 : 2), а площадь составит около 7 м². Допустим, что норма удобрений на 1 м² приствольного круга составляет: навоза — 4 кг, N — 5 г, P_2O_5 — 5 г и K_2O — 5 г. Тогда всего требуется внести на одно дерево навоза 28 кг и по 35 г азота, фосфора и калия.

УДОБРЕНИЯ ПЛОДОНОСЯЩЕГО САДА

В плодоносящем саду междурядные культуры не возделывают, удобрения вносят равномерно на всю площадь сада. В садах обычно используют различные системы содержания почвы: паровую (черный пар), культурное задернение (кроме приствольных кругов), паро-сидеральную, дерново-перегнойную (травы в течение сезона несколько раз скашивают и оставляют в виде мульчи) и мульчирование. В зонах достаточного увлажнения или при орошении почва чаще всего содержится под черным паром, но через год высеваются сплошь по всей площади междурядья или через междурядье однолетние травы на зеленое удобрение. В зонах недостаточного увлажнения сидеральные однолетние травы высевают через одно междурядье сада при чередовании с черным паром (два года пар и один год однолетние

192. Нормы удобрений для плодовых садов различных зон садоводства (по Н. Д. Спиваковскому)

Зона садоводства	Сочетание минеральных удобрений с органическими	Навоз или компост (в т на 1 га)	Минеральные удобрения (в кг д.в. на 1 га)		
			N	P_2O_5	K_2O
Северная, средняя и южная (при достаточном увлажнении или при орошении)	Совместно с навозом	10...20	40...75	40...60	40...60
	При летнем посеве сидератов без внесения навоза	—	60...100	60...80	50...80
	При внесении органических удобрений через год, а в промежуточный год NPK	20...40	70...120	70...100	70...90
Южная (неорошаемые сады засушливых районов)	Совместно с навозом	20	30	30	30
	При летнем посеве сидератов без внесения навоза	—	40	40	30
	При внесении органических удобрений через год, а в промежуточный год NPK	30...40	60	60	40

травы). Средние нормы удобрений для плодовых садов для различных зон садоводства приведены в таблице 192.

Фосфорные и калийные удобрения можно применять в запас на 2...4 года. При этом ежегодно вносят только азотные удобрения. Ор-

193. Примерные ежегодные нормы минеральных удобрений в интенсивных садах Молдавской ССР (в кг д. в. на 1 га)

Планируемый урожай (в ц с 1 га)	N	Уровень содержания в почве подвижных фосфора и калия					
		низкий		средний		высокий	
		P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
		Семечковые					
До 100	90	45	90	30	60	—	45
100...200	120	60	120	45	90	30	60
200...300	180	90	150	60	120	45	90
300...400	210	—	—	90	150	60	120
Более 400	240	—	—	120	180	90	150
		Косточковые					
До 50	45	45	90	30	60	—	45
50...150	60	90	120	45	90	45	60
150...250	90	120	150	90	120	60	90
Более 250	120	—	—	120	150	90	120

ганические удобрения применяют один раз в 2...3 года по 30—60 т на 1 га. После запашки сидератов дозу навоза снижают в два раза или его вовсе не вносят в этот год. В таблице 193 приведены нормы удобрений для интенсивных садов Молдавии в зависимости от величины урожая и агрохимических свойств почвы. В нормах не учтена предпосадочная заправка почвы. Если она проводилась, то нормы фосфорных и калийных удобрений снижают на 20%.

Рекомендации по применению удобрений в садах требуют дальнейшего совершенствования.

СРОКИ, СПОСОБЫ ВНЕСЕНИЯ И ЗАДЕЛКИ УДОБРЕНИЙ В ПЛОДОВЫХ САДАХ

Органические, фосфорные и калийные удобрения лучше вносить в садах осенью с глубокой их заделкой. Азотные удобрения, как правило, применяют весной. В зонах недостаточного увлажнения 1/3—1/2 годовой нормы азотных удобрений можно заделывать с осени. В этом случае лучше использовать амминачные и амидные удобрения. Наряду с внесением основного удобрения осенью и весной практикуются подкормки садов в течение вегетационного периода. В этом случае наиболее целесообразно использовать только азотные удобрения, так как фосфорные и калийные удобрения при мелкой их заделке малоэффективны. Роль азотных подкормок возрастает особенно в условиях орошения. В малоурожайные годы ограничиваются внесением азотных удобрений только весной до начала цветения. В урожайные годы, особенно в садах с зимними сортами, часто проводят две подкормки: первую — после цветения и вторую — после физиологического осыпания завязи. Доза азота при подкормке 30... 50 кг на 1 га.

В подкормку можно использовать навозную жижу, разбавленную в 2—3 раза водой, и настой птичьего помета (одна часть на 10...12 частей воды). На 1 м² вносят 10...12 л раствора с заделкой в почву.

Способы заделки удобрений должны предусматривать наименьшую возможность механического повреждения корней. Особую осторожность следует соблюдать при обработке почвы в приствольных кругах косточковых деревьев (вишни, сливы) и яблони на карликовых подвоях, у которых корневая система залегает поверхностно.

При обычном способе заделки удобрений под вспашку выдерживается следующая глубина обработки почвы: в приствольных кругах или полосах семечковых насаждений — 10...15 см, косточковых — 5...10; в междурядьях семечковых садов — до 20 см, косточковых — до 16 см. Почву вблизи штамба обрабатывают на глубину 5...8 см. Однако в садах более эффективна глубокая заделка удобрений в зону наибольшего размещения корней при условии минимального их повреждения. Определенная часть корней всегда повреждается при обработке почвы. Поэтому для более активного их отрастания подрезку лучше проводить дисковым или черенковым ножом до глубины вспашки, нежели обрывать корни лемехом плуга. В молодых садах практикуют внесение удобрений под глубокую вспашку на периферии кроны

в целях окультуривания почвы. При этом органические, фосфорные и калийные удобрения разбрасывают вдоль рядов на периферии кроны лентой шириной 60...70 см и заделывают их плугом на глубину 30 см и более. Спустя 2...4 года операцию повторяют, отступая ближе к середине междурядий. Наиболее широко используются в садоводстве внесение удобрений в борозды, нарезаемые в междурядьях на глубину 25...30 см. В молодых садах борозды располагают на расстоянии 1...1,5 м от штамба. Чем старше деревья, тем дальше от ствола нарезается первая борозда. Расстояние между бороздами в междурядье 0,8...1 м. В Уманском СХИ положительные результаты дал опыт с механизированным глубоким внесением удобрений под 20-летние яблони сорта Донешта. Минеральные удобрения в дозе $N_{120}P_{180}K_{180}$ вносили в виде ленты садовым удобрителем параллельно рядам деревьев на расстоянии 3 м от штамба с обеих сторон ряда на глубину 50 см. В Уманском СХИ хорошо зарекомендовал себя также послойный способ внесения удобрений. Удобрения помещают на дно плужной борозды в три прохода 3-корпусного плуга с двух сторон ряда. При этом в зависимости от расстояния от ствола дерева удобрения вносят на разную глубину: до 2 м — на глубину 15 см, 2...3 м — на 25 см, свыше 4 м — на 38...40 см. Здесь учитывается то, что корневая система дерева по мере удаления от штамба углубляется в почву.

Минеральные удобрения можно заделывать в почву на глубину 30...50 см вдоль рядов деревьев в три строчки с помощью плуга ПРВН-2,5А, оборудованного приспособлением для внесения туков. Жидкие удобрения вносят гидробурами, турбобурами и шприцами на глубину до 50 см очагами вокруг деревьев или строчками очагов вдоль ряда, а также гидроимпульсными машинами на глубину до 40 см очагами в две строчки вдоль ряда деревьев.

При глубокой заделке удобрений их действие возрастает в 1,5...2 раза по сравнению с обычной заделкой под плуг на глубину 18...20 см. При глубокой заделке удобрений резко увеличивается общее количество корней и особенно плотность обрастающих корней в тех слоях почвы, где в предыдущие годы были внесены удобрения; повышается также морозоустойчивость деревьев.

Некорневые подкормки эффективны в начале цветения, в период роста плодов и в фазе закладки плодовых почек. Опрыскивать деревья лучше всего вечером или утром, а также в пасмурную погоду, чтобы раствор дольше не высыхал на листьях. Если спустя 6 ч после подкормки пройдет дождь, то ее следует повторить. Для опрыскивания яблонь весной используют 0,3%-ный раствор мочевины, летом и осенью — 0,4...0,5%-ный. Для груши концентрацию снижают вдвое. Вишню весной обрабатывают 0,5...0,6%-ным раствором мочевины, а в последующие сроки — 1%-ным. Для предохранения листьев от ожогов на 1 г мочевины добавляют 1,4 г извести. Кроме мочевины, для опрыскивания применяют 2...3%-ный раствор двойного суперфосфата и 1%-ный раствор сернокислого калия. Для некорневой подкормки растений без внешних признаков недостаточного питания микроэлементами используют растворы микроудобрений: сернокислого цинка 0,1...0,5% + 0,15% гашеной извести, борной кислоты 0,005...0,01%,

сернокислого марганца 0,1...0,5%. Расход раствора на 1 га 1000... 1200 л. При совместном внесении нескольких микроудобрений доза каждого уменьшается в два раза (кроме буры). Наилучшие результаты дает опрыскивание смесью растворов макро- и микроудобрений. Число подкормок зависит от величины урожая плодовых деревьев. Так, при высоком урожае проводят три-четыре опрыскивания за вегетационный период, при среднем — два-три.

УДОБРЕНИЕ ПАЛЬМЕТТНЫХ САДОВ

В пальметтных садах плотность деревьев на 1 га достигает 660—1250 шт. Пальметтное садоводство у нас в стране развивается главным образом в южных областях. Основная порода в этих садах — яблоня, груша возделывается реже. Из косточковых таким способом выращивают персик. Урожаи плодов в пальметтных садах достигают 600...800 ц с 1 га. Деревья в них начинают плодоносить на 3...5-й год после посадки. В первые 3...4 года молодые пальметтные сады удобряют только азотными удобрениями (с увеличением нормы азота по годам от 45 до 90 кг на 1 га) при условии хорошего предпосадочного и припосадочного окультуривания почвы. С 4...5-го года после посадки до 8-го при наличии 400...600 деревьев на 1 га вносят один раз в 2...4 года 30...40 т на 1 га органических удобрений и ежегодно $N_{90...120}P_{45...60}K_{45...90}$ (в зависимости от возраста насаждений и свойств почвы). В садах при плотности 800...1000 деревьев на 1 га нормы удобрений увеличивают на 25...30%.

В плодоносящих пальметтных садах (400...600 деревьев на 1 га) в возрасте старше 8 лет органические удобрения вносят в количестве 30...40 т на 1 га один раз в 2...4 года, а минеральные — ежегодно в нормах $N_{120...180}P_{60...80}K_{60...120}$, в зависимости от зоны садоводства. При плотности 800...1000 деревьев на 1 га нормы увеличивают на 25...30%. В год внесения органических удобрений нормы минеральных туков уменьшают в два раза.

УДОБРЕНИЕ ЯГОДНЫХ КУСТАРНИКОВ

Плантации ягодных кустарников существуют в течение довольно длительного периода: малины, смородины и крыжовника в ягодооборотах 8...10 лет. Под ягодники ежегодно вносят на 1 га 20...30 т навоза (или компоста) и минеральные удобрения в нормах $N_{40...60}P_{40...60}K_{40...60}$. При внесении на 1 га 30...40 т органических удобрений через год нормы минеральных удобрений в промежуточный год составляют $N_{30...90}P_{60...90}K_{40...90}$, в год внесения органических удобрений минеральные не используют.

Научно-исследовательский зональный институт садоводства нечерноземной полосы рекомендует вносить удобрения в борозды. Для этого один раз в 3...4 года почву в междурядьях насаждений смородины и крыжовника пашут всвал. В образующиеся вблизи рядов борозды (глубиной до 25...30 см) вносят навоз и фосфорно-калийные удобрения. Затем удобрения закрывают почвой при пахоте вразвал.

Кроме этого, также один раз в 3...4 года вдоль рядков вносят на 1 м полосы 3...4 кг навоза, который заделывают в почву.

При заделке удобрений глубина вспашки в междурядьях малины 12...15 см, смородины и крыжовника 10...16 см. Защитные полосы (до внешней проекции ветвей кроны) обрабатывают на глубину 8...10 см, не повреждая корней. Фосфорные и калийные удобрения можно вносить в запас на 2...4 года. Азотные удобрения применяют ежегодно. Органические, фосфорные и калийные удобрения заделывают с осени под плуг, азотные — весной под культиватор. Наряду с ранневесенним внесением азотных удобрений ягодные кустарники при высоком урожае подкармливают в фазе зеленой завязи. В ягодных кустарниках (чаще всего на малине) применяют мульчирование почвы в рядах торфом, навозом и пр. Свежий навоз и торфонавозный компост при этом сверху слегка присыпают землей, чтобы уменьшить потери аммиачного азота. Доза мульчи около 60 т на 1 га. Осенью при перекопке почвы под кустами мульчу заделывают. Малина и смородина чувствительны к хлору. Поэтому под эти культуры лучше использовать калийные удобрения с меньшим содержанием хлора. Однако при осеннем внесении хлористого калия хлор вымывается из корнеобитаемого слоя почвы и не оказывает отрицательного влияния на растения.

Некорневая подкормка проводится 0,3...0,5%-ным раствором мочевины, 1...2%-ным сернокислого калия, 2...3%-ным суперфосфата и 0,02...0,05%-ным раствором микроудобрений. Учитывая, что через нижнюю сторону листа элементы питания из раствора поступают более интенсивно, при опрыскивании следует стараться больше увлажнять нижнюю сторону листьев.

УДОБРЕНИЕ ЗЕМЛЯНИКИ

Земляника возделывается в специализированных севооборотах в течение 4...5 лет. Наиболее продуктивные — 2-й и 3-й годы. Корневая система земляники в основном располагается в слое почвы 0...20 см.

После посадки рассады земляники проводят мульчирование рядов навозом или компостом. После хорошей предпосадочной заправки почвы органическими и фосфорно-калийными минеральными удобрениями в первые 2...3 года землянику можно не удобрять. При плохой заправке уже на 2-й год вносят органические удобрения и полное минеральное удобрение. На плантациях земляники рекомендуют вносить на 1 га 30...40 т навоза (или компоста) и $N_{40...70}P_{50...60}K_{40...60}$. Навоз, фосфорные и калийные удобрения заделывают в почву осенью. Глубина обработки почвы в междурядьях 8...10 см, в рядках 4...6 см. Азотные удобрения вносят обычно дважды: рано весной (20...40 кг N на 1 га) и после сбора урожая (30...40 кг N на 1 га). О необходимости азотной подкормки судят по цвету листьев или по данным химической листовой диагностики. Некорневая подкормка 0,4%-ным раствором мочевины способствует повышению урожая ягод на 20...30%. Опрыскивание проводится в фазу цветения и по первым завязям. Концентрация раствора микроудобрений при подкормке 0,02%.

194. Система удобрения в 9-польном земляничном севообороте совхоза имени Ленина (по Е. Г. Кузнецовой)

Поле севооборота	Культура	Удобрение на 1 га
1	Озимые на зерно	Компост 20...30 т, известь 2...2,5 т, $N_{70...80}P_{60...70}K_{150...180}$
2	Овес на зерно	$N_{70...80}$ в основное удобрение и $P_{15...20}$ в рядки при посеве
3	Однолетние травы на сидерацию	Навоз, компост 20...30 т, $N_{70...80}P_{70...80}K_{120...150}$
4	Однолетние травы на зеленый корм	Компост 30...40 т, $P_{ф180...200}$, $N_{80...90}P_{50...70}K_{120...150}$
		Внесение удобрений перед посадкой земляники: компост 35...40 т, $P_{70...80}K_{200...240}$
5	Земляника молодая	$N_{35...50}$
6	Земляника 1-го года плодоношения	Не удобряют
7	Земляника 2-го года плодоношения	N по мере необходимости
8—9	Земляника 3...4-го года плодоношения	$N_{35...50}P_{30...40}K_{90...120}$

В таблице 194 приводится система удобрения в земляничном севообороте совхоза имени Ленина Московской области на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах. Средняя урожайность ягод земляники составила здесь в 1972, 1973 и 1975 гг. соответственно 60,6; 58,7; 113,3 ц с 1 га, а среднегодовая прибыль с 1 га земляники — 6533 руб.

Удобрение овощных культур в закрытом грунте

В защищенном грунте с единицы площади получают в несколько раз выше урожай, чем в открытом, и это накладывает свой отпечаток на характер применения удобрений. Удобрения здесь применяются в более высоких нормах (от 6 до 21 т минеральных туков на 1 га), и значительную часть питательных веществ приходится вносить в течение вегетационного периода, чтобы не создать первоначальной высокой дозой основного удобрения повышенную концентрацию почвенного раствора. При интенсивном овощеводстве закрытого грунта агрохимический контроль за состоянием растения и почвы проводится ежемесячно на протяжении всего вегетационного периода.

Вынос на 1 ц урожая огурцов, томатов и салата следующий (в кг):

	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Огурцы сорта Марфинский	0,25	0,13	0,51	0,07	0,03
Огурцы партенокарпические	0,14	0,09	0,28	0,17	0,03
Томаты	0,33	0,12	0,63	0,46	0,08
Салат	0,23	0,07	0,40	0,10	0,03

Коэффициенты использования питательных веществ тепличными овощными растениями из грунта составляют: подвижного фосфора (по

Трогу) — 15...20%, подвижного калия (по Масловой) — 30...40%, водорастворимых форм питательных веществ (водная вытяжка) — 100%. Из минеральных удобрений потребляется азота 50...70%, фосфора 20...40, калия 60...70 и магния 60...70%.

Важная роль в получении высокого урожая овощей в теплицах принадлежит грунтам.

СОСТАВ И СВОЙСТВА ТЕПЛИЧНЫХ ГРУНТОВ

В грунтовых теплицах толщина насыпного слоя почвы (грунта) 25...30 см. На 1 м² теплицы надо заготовить не менее 0,20...0,25 м³ грунта. В современном промышленном тепличном овощеводстве практикуют многолетнее использование почвенных грунтов (в течение 15...25 лет) при соблюдении комплекса мероприятий по их обеззараживанию (пропаривание, газовая и влажная дезинфекция) и рассолению (промывка при наличии дренажной системы). Состав тепличных грунтов применяют разнообразный. В качестве примера можно привести тепличные грунты следующего состава: 1) низинный торф (75%) + дерновая земля (25%); 2) низинный торф (60%) + дерновая земля (20%) + навоз (20%); 3) низинный торф (100%); 4) низинный торф (40%) + огородная или полевая земля (40%) + конский навоз (наполовину с опилками) (20%); 5) низинный торф (40%) + верховой или переходный торф (20%) + дерновая или полевая земля (10%) + навоз (25%) + крупный песок (5%).

В районах, где не имеется торфа, тепличный грунт готовят из смеси пахотного слоя почвы с перегноем, навозом или компостом, добавляя в качестве рыхлящего материала опилки, соломенную резку, рисовую шелуху или древесную кору. В тепличных хозяйствах, расположенных вблизи лесоразработок или деревообрабатывающих предприятий, используют в качестве дешевых и эффективных субстратов компостированную (компост 1,5...3-летней подготовки) или свежую некомпостированную древесную кору в чистом виде или в смеси с 25...75% торфа. Кора является хорошей средой для развития корневой системы растений, содержит фосфор, калий, магний, микроэлементы, но в ней практически нет азота. На 1 м³ коры при ее компостировании вносят 4,3 кг мочевины и 1,5 кг двойного (или 3 кг простого) суперфосфата.

В качестве тепличного грунта можно использовать в чистом виде низинный, переходный или верховой торф.

Выращивают овощи в теплицах также и на соломенных тюках. Солома должна быть свежей и не обработанной гербицидами. Ее прессуют в тюки размером 0,5×0,5×1 м. На 1 га теплиц требуется 9300 тюков, или 120...130 т соломы.

Для улучшения водно-физических свойств почвогрунтов в них вносят на глубину 15...20 см при дождевании полимеры (крилиумы) из расчета 0,1...0,5% от массы почвы и затем тщательно перемешивают по всей глубине слоя.

Для приготовления грунтов рекомендуется применять нормальнозольный низинный торф (около 12% золы) со следующими показа-

телями: степень разложения не более 40%, влагоемкость 500...1000%, степень насыщенности основаниями 65%, средняя емкость поглощения 137 м.-экв. и содержание обменного алюминия 0,3 м.-экв. на 100 г абсолютно сухого торфа, содержание N — 1,6...2,6%, P_2O_5 — 0,05...0,40%, K_2O — 0,03...0,20%, CaO — 1,5...3,0%, Fe_2O_3 — 0,20...3,00% на абсолютно сухой торф. Не рекомендуется использовать известковые и вивианитовые торфа, а также торфа с высоким содержанием бора. Не допускается содержание в торфе более 5...6% валового и более 1% подвижного железа. Для нейтрализации кислотности 1 т абсолютно сухого торфа требуется следующее количество извести (в кг) в зависимости от величины pH_{KCl}: 60...30 кг при pH 3,6...4,8; 30...10 кг при pH 4,8...5,8 и 10...5 кг при pH 5,8...6,3.

Оптимальная реакция тепличных грунтов должна быть близкой к нейтральной, pH водной вытяжки 6,5...6,8. Норму извести для тепличных грунтов определяют с использованием величины pH солевой вытяжки или 1/2 гидролитической кислотности. По содержанию органического вещества почвенные грунты подразделяются следующим образом: пониженное — 30%, среднее — 30...60% и высокое — более 60%. Предел концентрации солей в почвогрунте зависит от содержания в нем органического вещества и определяется по формуле: $П = \frac{C \cdot 2 + 15}{100}$, где $П$ — предельная концентрация солей (в %); C — содержание органического вещества методом прокаливания (в %).

Предельное содержание хлора в почвогрунте не должно превышать при выращивании томатов 0,024 и огурцов 0,007% на абсолютно сухую почву. При внесении на 1 м² 100 г хлористого калия (или 10 ц на 1 га) в грунте создается сверхдопустимая концентрация хлора. В избыточном количестве токсичен для растений также простой суперфосфат ввиду большого содержания гипса и солей тяжелых металлов. Возможно также отравление растений (особенно молодых) аммиаком и сероводородом из-за внесения высоких норм слабоперепревшего навоза в переувлажненную почву. В тепличных грунтах содержание некоторых элементов на 1 кг абсолютно сухой почвы не должно превышать следующих пределов: бора — 1 мг (водная вытяжка), марганца — 300 мг (0,1 н. раствор H_2SO_4), меди — 8 мг (0,1 н. раствор HCl), цинка и кобальта — по 6 мг (0,1 н. раствор HNO_3), молибдена — 0,5 мг (по Григу).

Тепличный почвогрунт готовят или сразу на месте в теплице при ее вводе в действие или заранее в виде компоста. Такой компост бывает готов через 6...8 месяцев. Навоз в целях биотермической дезинфекции складируется отдельно в штабеля сроком на 2...3 месяца.

В последние годы широко используются результаты анализа водной вытяжки тепличного грунта. Должный оптимальный уровень содержания подвижных элементов питания в тепличном грунте (водная вытяжка) определяют по соответствующим формулам, учитывая величину содержания в нем органического вещества:

$$N = \frac{C \cdot 2 + 15}{3}; \quad K_2O = \frac{C \cdot 2 + 15}{1{,}5}; \quad MgO = \frac{C \cdot 2 + 15}{5} \cdot 1{,}66,$$

195. Классификация тепличных грунтов в методе объемного экстрагирования по содержанию водорастворимых питательных веществ и солей при выращивании огурцов и томатов (рекомендации НИИОХ)

Уровень обеспеченности	Содержание элементов питания (в мг на 1 л почвы)				Общее содержание солей	
	N	P_2O_5	K_2O	MgO	*mS*/см	в г на 1 л почвы
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

Примечание. Для пересчета содержания элементов питания в г на 1 м² при слое грунта 30 см указанные в таблице величины умножают на коэффициент 0,3.

где N, K_2O и MgO — содержание соответствующих питательных веществ (в мг на 100 г абсолютно сухой почвы); *C* — содержание органического вещества (потеря при прокаливании) (в %).

Исходя из расчетного оптимального уровня (*P*), устанавливают классификацию грунтов по содержанию в них подвижных питательных веществ: низкое — 1/3*P*; ниже нормы — от 1/3 до 2/3 *P*; нормальное — от 2/3 до 1*P*; повышенное — от 1 до 1 1/3 *P*; высокое — больше 1 1/3 *P*. По содержанию фосфора грунты группируют независимо от уровня содержания в них органического вещества (в мг P_2O_5 на 100 г абсолютно сухой почвы): низкое — до 2; ниже нормы — 2...4; нормальное — 4...6; повышенное — 6...8; высокое — больше 8. Фактическое содержание питательных веществ в грунте для сравнения с указанной расчетной классификацией определяют в водной вытяжке при соотношении почвогрунта к воде 1 : 5, а для торфа 1 : 10.

В настоящее время в ряде тепличных хозяйств содержание водорастворимых элементов питания в грунте определяется методом объемного экстрагирования (в мг на 1 л сырой почвы) при соотношении субстрата к воде 1 : 2. Общая концентрация солей определяется в той же вытяжке (табл. 195) потенциометрически (*mS*/см) или методом сухого остатка (в г на 1 л почвы).

В целях продления срока бессменного использования тепличного грунта предъявляются определенные требования к поливной воде. Она должна иметь pH в пределах 6...7, содержать в 1 л не более 350 мг Ca, 150 мг Cl, 180 мг Na_2O, 350 мг SO_4^{2-}, 1 мг Fe, 0,6 мг фтора и не иметь загрязнения фенолом; сухой остаток не более 1000—1200 мг на 1 л.

ПИТАТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ РАССАДНЫХ ГОРШОЧКОВ

Рассаду овощных культур можно выращивать в горшочках из полимерных материалов или верхового торфа, заполненных питательной смесью; в торфяных кубиках и торфоперегнойных

горшочках, изготовленных машинами-прессами, а также в торфоблоках заводского изготовления.

Состав смесей для приготовления горшочков может быть следующий:

1) низинный выветрившийся торф (60%) + перегной (20%) + полевая или зерновая земля (10%) + коровяк (5%) и опилки (5%);
2) низинный выветрившийся торф (60%) + полевая или дерновая земля (13%) + конский навоз (20%) и коровяк (7%);
3) низинный выветрившийся торф (70%) + коровяк (7%) и опилки (23%);
4) верховой торф (90%) и коровяк (10%);
5) перегной (50%) + полевая или дерновая земля (40%) и опилки (10%);
6) перегной (45%) + коровяк (10%) + опилки или рисовая шелуха (45%).

На 1 м³ горшечной смеси вносят следующее количество питательных веществ в виде минеральных удобрений (в кг):

Культура	N	P_2O_5	K_2O
Капуста	0,5...0,7	0,4...0,5	0,4...0,5
Томаты, перец, баклажаны	0,4...0,5	0,6...0,8	0,6...0,9
Огурцы, арбузы, дыни	0,3	0,2...0,3	0,3...0,5

Нормы извести (в кг) на 1 м³ смеси определяют по величине pH солевой вытяжки: 6 кг при pH 4,5...5,0; 5 кг при pH 5,1...5,5; 2...3 кг при pH 5,5...6,5 и 0,5 кг при pH 6,5...7,2.

При изготовлении кубиков (размером 8×8×8 или 10×10×10 см) из чистого переходного или низинного торфа на 1 м³ торфяной массы вносят до 6,5 кг доломитовой муки, 0,5 кг аммиачной селитры, 1 кг калийной селитры, 1,5 кг двойного суперфосфата, 0,3 кг сернокислого магния, по 3 г сернокислой меди, сернокислого цинка, борной кислоты и азотнокислого кобальта, 6 г молибденовокислого аммония и 11 г сернокислого марганца. При этом дозы питательных веществ на 1 м³ торфа составляют (в кг): N — 0,30, P_2O_5 — 0,65, K_2O — 0,45 и MgO — 0,1.

Торфоблоки, изготовленные заводским путем из верхового торфа с добавлением полного минерального удобрения и микроэлементов (меди, бора, молибдена, цинка, кобальта и железа), позволяют перевести производство рассады на промышленную основу. Каждый блок состоит из 30 ячеек, размер каждой ячейки 10×10×4 см. На 1 м³ торфяной массы, используемой для приготовления сухих торфоблоков, добавляют примерно такое же количество макро- и микроэлементов, как и в случае изготовления торфяных кубиков.

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАССАДЫ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Рассада капусты. Рассаду ранней и цветной капусты выращивают в парниках с биологическим или техническим обогревом, а также в обогреваемых пленочных теплицах; рассаду поздних

сортов капусты — как в обогреваемых пленочных сооружениях, так и в необогреваемых, а рассаду средних сортов — в холодных рассадниках открытого грунта или в необогреваемых пленочных укрытиях. Рассаду ранней и цветной капусты выгоняют в торфоперегнойных горшочках или безгоршечным способом.

В почву холодного или укрытого пленкой рассадника вносят с осени под вспашку на 1 га 100...200 т навоза или компоста, фосфорно-калийные удобрения в дозах $P_{40...80}K_{60...120}$, известь по мере надобности, а весной примерно 50 кг азота. Подкармливают рассаду обычно дважды: в фазу двух настоящих листочков и через 6...10 дней после первой подкормки. В первую подкормку на 10 л воды дают 20 г аммиачной селитры, 30 г суперфосфата и 8 г хлористого калия; во вторую — 30...40 г аммиачной селитры, 40 г суперфосфата и 20 г хлористого калия. На 1 м² расходуют 10 л раствора.

Раннюю, цветную и позднюю капусту, выращиваемую в торфоперегнойных горшочках, подкармливают один-два раза. На 10 л воды дают 20...40 г аммиачной селитры, 20...40 г суперфосфата и 8...20 г хлористого калия. На 2...3 м² расходуют 10 л раствора. Для рассады цветной капусты применяют, кроме того, две некорневые подкормки: 0,02%-ным раствором борной кислоты и 0,05%-ным раствором молибденовокислого аммония в фазу 2...3-го листа и 5...6-го листа (перед высадкой в грунт).

Рассаду огурцов и томатов выращивают в торфоперегнойных горшочках. При этом рассаду огурцов обычно не подкармливают. Рассаду томатов подкармливают, как правило, один-два раза. Первый раз подкормку проводят через 10...12 дней после пикировки: на 10 л воды вносят 5 г аммиачной селитры, 40 г суперфосфата и 15 г хлористого калия; 10 л раствора расходуют на 3 м². Второй раз рассаду подкармливают за две недели до высадки в открытый грунт. При этом на 10 л воды дают 10 г аммиачной селитры, 60 г суперфосфата и 20 г хлористого калия. Этот объем раствора расходуют на 1,5...2 м².

При выращивании рассады огурцов и томатов в ящиках на верховом торфе на 1 м³ торфа вносят: 12...14 кг доломитовой муки, 600 г аммиачной селитры, 800 г двойного суперфосфата, 800 г сернокислого калия, 15 г борной кислоты, 15 г сернокислого железа, 20 г медного купороса, 2 г сернокислого марганца, 4 г молибденовокислого аммония и 2 г сернокислого цинка. Через 8...10 дней после пикировки сеянцев рассаду подкармливают раствором минеральных удобрений: в 10 л воды растворяют 15 г калийной селитры, 5 г аммиачной селитры, 5 г мочевины, 10 г двойного суперфосфата, 5 г сернокислого калия и 5 г сернокислого магния. На 2 м² расходуют 10 л раствора. После подкормки растения поливают водой, чтобы смыть попавший на листья раствор удобрений.

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ОГУРЦОВ, ТОМАТОВ И САЛАТА

Выращивание на почвогрунтах. За 10...15 дней до высадки рассады огурцов или томатов в почвогрунт в него запахивают из расчета на 1 м² 15...25 кг навоза и после этого отбирают

образец грунта на анализ. В образце определяют: методом прокаливания содержание органического вещества, содержание железа и марганца (в экстракте Моргана), аммиачного и нитратного азота, фосфора, калия, кальция (в водной вытяжке), общую концентрацию солей и величину pH. Сравнивая результаты анализа с расчетными (по вышеуказанным формулам) уровнями обеспеченности тепличного грунта питательными веществами, устанавливают по таблице 196 дозы минеральных удобрений для основного внесения. После внесения дозы снова отбирают образцы грунта на анализ для определения общего содержания солей, величину которого сравнивают с расчетной допустимой предельной концентрацией солей. В случае повышенной концентрации солей проводят обильный полив водой. В первые 4...6 недель после посадки рассады растения не подкармливают. В последующем дозы минеральных удобрений для подкормки определяют также по таблице 196, основываясь на результатах ежемесячных агрохимических анализов грунта и листьев. Однако в отличие от основного удобрения доза подкормки вносится дробно в несколько сроков из расчета разового внесения в корневую подкормку (в сухом виде или с водой) не более 5 г N и 10...15 г K_2O на 1 м² с повторением через 7...15 дней. В пересчете на физические туки общее их количество на 1 м² за одну подкормку не должно превышать 70 г (особенно для огурцов) из-за возможного повышения концентрации почвенного раствора, в том числе аммиачной селитры не более 15 г и сернокислого калия 30 г. Огурцы и томаты подкармливают за вегетацию обычно 5...8 раз. Подкормка дает лучший эффект в солнечную погоду. В подкормку используют главным образом азот и калий, так как они вымываются из корнеобитаемого слоя грунта в результате частых поливов, а также из-за возможной высокой концентрации солей в почвогрунте в случае внесения высокой разовой дозы азотных и калийных удобрений перед высадкой рассады.

Кроме корневых, проводят и некорневые подкормки растений дождеванием растворами минеральных удобрений и микроудобрений.

196. Дозы минеральных удобрений под огурцы и томаты для основного внесения и в подкормки (в г д. в. на 1 м²) (рекомендации НИИОХ)

Содержание питательных веществ в почвогрунте (расчетным методом)	Огурцы				Томаты			
	N	P_2O_5	K_2O	MgO	N	P_2O_5	K_2O	MgO
Низкое	17...25	45...60	26...39	8...12	25...32	45...60	78...100	25...40
Ниже нормы	8...17	23...45	13...26	5...8	19...25	23...45	57...78	15...25
Нормальное	0...8	0...23	0...13	0...5	13...19	0...23	39...57	10...15
Повышенное	—	—	—	—	6...13	—	18...39	5...10
Высокое	—	—	—	—	0...6	—	0...18	0...5

Примечание. Дозы питательных веществ в кг на 1 га можно получить, умножив приведенные цифры на 10.

197. Дозы минеральных удобрений для основного внесения под овощные культуры (в г д.в. на 1 м²) в зависимости от обеспеченности тепличного грунта элементами питания, определенными в водной вытяжке по методу объемного экстрагирования (рекомендация НИИОХ)

Содержание питательных веществ в грунте	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
			Огурцы		
Низкое	20...30	45...60	45...60	20...30	15...20
Умеренное	10...20	25...45	30...45	10...20	10...15
Нормальное	0...10	0...25	0...30	0...10	0...10
Повышенное	—	—	—	—	—
			Томаты		
Низкое	12...25	45...60	75...100	30...35	35...45
Умеренное	0...12	25...45	50...75	20...30	30...35
Нормальное	—	0...25	25...50	15...20	20...30
Повышенное	—	—	0...25	10...15	10...20
			Салат		
Низкое	20...26	30...45	10...20	15...25	15...20
Умеренное	10...20	20...30	0...10	10...15	10...15
Нормальное	0...10	0...20	—	0...10	0...10
Повышенное	—	—	—	—	—

Концентрация раствора в процентном выражении не должна превышать 0,22...0,27% для огурцов и 0,40% для томатов. Для подкормки огурцов на 10 л воды берут до 20 г мочевины или 5...7 г аммиачной селитры, 5...6 г двойного суперфосфата, 7...8 г сернокислого калия (или хлористого калия). Из микроудобрений делают маточный раствор: на 1 л воды дают 2,86 г борной кислоты, 0,08 г медного купороса, 0,1 г молибденовокислого аммония и 1,8 г сернокислого марганца. На 10 л приготовленного для опрыскивания раствора минеральных удобрений приливают 10 мл маточного раствора микроудобрений и хорошо перемешивают. На 100 м² теплицы расходуют 25...30 л такого раствора. Некорневые подкормки следует проводить в пасмурные дни. Важное значение имеет искусственная подкормка растений углекислотой (на 100 м² посадок 2...2,5 кг пищевой углекислоты). Подкормку углекислотой лучше проводить утром.

Дозы минеральных удобрений, приведенные в таблице 196, находятся в зависимости от расчетного оптимального уровня содержания соответствующего элемента питания в грунте. Последний, в свою очередь, зависит от содержания органического вещества. Чем больше органического вещества в грунте, тем выше для него расчетный оптимальный уровень содержания элементов питания (за исключением фосфора). В результате одна и та же величина фактического содержания питательного вещества в грунте (по данным агрохимического анализа) будет соответствовать более низкой градации обеспеченности, а отсюда, следовательно, возрастает и доза удобрений. Недостаток указанного метода определения доз удобрений заключается в том, что

в нем не учитывается уровень планируемой урожайности овощных культур.

В последние годы в овощеводстве закрытого грунта все шире используется метод определения доз минеральных удобрений на планируемый урожай с учетом выноса питательных веществ, коэффициентов их использования из почвогрунта и удобрений.

В совхозе «Московский» на тепличных грунтах из смеси торфа, дерновой земли и навоза и имеющих содержание органического вещества 10...40%, плотность 0,3...0,8 г/см³ и общую скважность 60...90% при основной заправке грунта на 1 м² вносят и запахивают 10...12 кг органических удобрений, отбирают на анализ образец грунта и по результатам анализа водной вытяжки (методом объемного экстрагирования) с помощью таблицы определяют дозы питательных веществ для основного внесения удобрений. Необходимое количество питательных веществ для подкормок определяют по разнице между расчетной дозой на планируемый урожай и дозой основного внесения удобрений. Первую подкормку огурцов начинают через 4 недели, а томатов — через 6...8 недель после высадки рассады. Интервалы между последующими подкормками — как указывалось выше. При этом каждый месяц для диагностики питания проводят агрохимические анализы грунтов и листьев. За одну подкормку на 1 м² вносят не более 5 г N и 10...15 г K_2O, а всего за вегетационный период при корневых и некорневых подкормках вносят на 1 м² под огурцы 30...35 г N и 55...60 г K_2O, а под томаты 20...22 г N и 15...20 г K_2O.

Пример. Планируемый урожай огурцов с 1 м²—30 кг, а вынос питательных веществ (в г): N — 43, P_2O_5 — 27, K_2O — 84 и MgO — 9. При содержании в грунте (водная вытяжка) 60 мг N, 20 мг P_2O_5, 100 мг K_2O и 40 мг MgO на 1 л·(дм³) сырой почвы количество водорастворимых элементов питания на 1 м² при слое грунта 30 см (т. е. в объеме 0,3 м³) составит (в г): N — 18, P_2O_5 — 6, K_2O — 30 и MgO — 12 (исходные величины умножены на коэффициент 0,3).

Это же количество питательных веществ растения смогут использовать из грунта, так как коэффициент использования растениями водорастворимых элементов питания принимается за 100%. Следовательно, растениям недостает (в г): N — 24, P_2O_5 — 21, K_2O — 54. Огурцы используют из минеральных удобрений примерно 60% азота, 30% фосфора и 70% калия. Тогда с учетом коэффициента использования требуется внести с минеральными удобрениями (в г): N — 40, P_2O_5 — 70 и K_2O —77. По таблице 197 в основное удобрение следует внести на 1 м² при имеющемся в данном случае умеренном содержании питательных веществ в грунте 15 г N, 35 г P_2O_5 и 35 г K_2O. Тогда остается внести в подкормки с минеральными удобрениями (в г): N — 25, P_2O_5 — 35 и K_2O — 42. Для этого придется дать 4...5 подкормок, учитывая, что за одну подкормку можно вносить не более 5 г N и 10...15 г K_2O. Фосфор в виде двойного суперфосфата можно было внести с основным удобрением или в одну-две подкормки из расчета 10...15 г P_2O_5 или 25...35 г двойного суперфосфата на 1 м², чтобы общее количество всех удобрений за одну подкормку составляло не более 70 г на 1 м².

Лучшими удобрениями в закрытом грунте являются: аммиачная селитра, мочевина, двойной суперфосфат, сернокислый калий, калийная селитра, магний-аммоний-фосфат, метафосфат калия и доломитовая мука.

Выращивание на соломенных тюках. Такой способ выращивания практикуется для огурцов и томатов. Уложенные в теплице тюки поливают горячей водой (60...70°С). Через два дня полив повторяют.

На 1 кг соломы каждый раз расходуют 1,3...1,5 л воды. В результате солома разбухает и способна лучше удерживать минеральные удобрения, которые вносят через два дня после второго полива. Их разбрасывают равномерно из расчета на каждые 100 кг соломы 1,4 кг аммиачной селитры, 1,2 кг простого суперфосфата (0,6 кг двойного), 1,3 кг калийной селитры, 0,45 кг сернокислого магния и 34 г сернокислого железа. Затем удобрения вмывают в соломенные тюки водой через мелкую сетку-лейку. Если удобрения останутся в повышенной концентрации в самом верхнем слое тюка, то это может вызвать повреждение корневой системы молодых растений. Известь вносят после минеральных удобрений (370...400 г на 100 кг соломы). За 1—2 дня перед высадкой рассады поверх соломенных тюков насыпают слой почвогрунта толщиной 8...10 см. Иногда почвогрунт вносят не по всей поверхности, а только в лунки, подготовленные для посадки рассады. Рассаду обычно высаживают через 12...16 дней. Прослойка грунта между горшочком с рассадой и соломенным тюком должна быть не менее 5...6 см. Первую подкормку проводят через две недели после посадки: на 10 л воды растворяют по 7,5 г аммиачной и калийной селитры. Все последующие подкормки осуществляются с интервалом 7...10 дней. В этом случае в подкормку используют только азотные и калийные удобрения. Весь фосфор вносят до посадки. В одну подкормку общее количество удобрений на 1 м² не должно превышать 70 г. Некорневая подкормка растений проводится точно так же, как и при других способах выращивания.

Гидропоника. В качестве субстрата при выращивании овощей на гидропонике используют гранитный гравий, керамзит и вермикулит (в чистом виде и в смеси с гравием). Размер фракций от 3 до 15 мм. Из питательных смесей широкое распространение для выращивания огурцов и томатов получил раствор В. А. Чеснокова и Е. И. Базыриной: на 1000 л воды растворяют 200 г аммиачной селитры, 500 г калийной селитры, 550 г простого суперфосфата, 300 г сернокислого магния, 6 г хлористого железа, 0,72 г борной кислоты, 0,02 г сернокислой меди, 0,45 г сернокислого марганца и 0,06 г сернокислого цинка. На этом питательном растворе получают с 1 м² полезной площади до 20 кг томатов и до 40 кг огурцов.

В ряде тепличных хозяйств используют питательные растворы «Киевская овощная фабрика» и Н. П. Родникова, состав которых дифференцирован по периодам роста огурцов и томатов; pH растворов для огурцов 6,5...6,7, для томатов 6,0...6,2. Раствор используют с частичной заменой в течение месяца, а затем полностью сливают и промывают субстрат водой в течение 1...2 суток. Корректировку раствора проводят через каждые 5 дней, восполняя недостающие элементы питания.

Один раз в год после смены культуры за 20 дней до высадки рассады субстрат дезинфицируют 5%-ным раствором формалина в течение суток или 2%-ным раствором карбатиона в течение 6 ч, а затем промывают водой до полного исчезновения запаха. Можно также дезинфицировать субстрат паром (температура 100°С) в течение 2—3 ч. В процессе использования субстрата (особенно керамзита) в нем накапливаются различные соли, токсичные для растений корневые вы-

деления и возбудители грибных заболеваний. Поэтому субстрат наряду с дезинфекцией подвергается регенерации с использованием для этого воды (при гранитном гравии) или разных химических растворов. Наиболее пригодным регенерирующим раствором для керамзита является едкий калий, связывающий кремнекислоту в водорастворимый метасиликат калия. Через 2...3 дня после внесения в субстрат едкого калия его удаляют раствором формалина, а последний — водой и раствором суперфосфата (50 г на 1 м² субстрата).

При выращивании культур на верховом торфе используют питательные растворы, применяемые в гидропонике. Широкое распространение получил питательный раствор Э. Абеле, состав которого изменяют по фазам развития растений (в г на 1000 л воды): аммиачная селитра — 180...300, калийная селитра — 290...1100, суперфосфат — 280...800 и сернокислый магний — 250...300. При выращивании томатов используют также питательный раствор ТСХА, состоящий из (в кг на 1000 л воды): аммиачной селитры (2,8...2,9), суперфосфата (3,3...4,9), калийной селитры (5,9...6,8) и сернокислого магния (1,9...2,9).

Вносят его один раз в месяц, а в остальное время растения поливают водой.

При комбинированном способе до посадки растений вносят в верховой торф сухие удобрения, затем 2...3 месяца растения поливают водой и только после истечения этого срока — питательным раствором Э. Абеле. Необходимым условием получения высоких урожаев овощей на верховом торфе является применение микроудобрений (в г на 1 м³ торфа): буры 13,8, хелата железа 41,4, сульфата железа 41,4, меди сернокислой 25,2, цинка сернокислого 16,8, марганца сернокислого 16,8, молибдата натрия 2,8.

ТЕХНОЛОГИЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ РАБОТ ПРИ ХРАНЕНИИ, ДОСТАВКЕ И ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Минеральные удобрения с химических заводов (комбинатов) железнодорожным или водным транспортом поступают на прирельсовые или пристанские склады районного объединения «Сельхозхимия», откуда их затем транспортируют в хозяйства. Около 80% удобрений перевозится россыпью (навалом) и 20% — в таре. При тарных перевозках удобрения упаковываются в водонепроницаемые бумажные, полихлорвиниловые или полиэтиленовые мешки емкостью от 30 до 60 кг, снабженные этикетками с указанием ГОСТ, вида удобрения и завода-изготовителя. Наиболее удобно вести погрузочно-разгрузочные работы с затаренными удобрениями при укладке мешков в несколько рядов на плоские или стоечные поддоны. Перспективна доставка минеральных удобрений в саморазгружающихся мягких контейнерах. Пылевидные удобрения (известняковая и фосфоритная мука) целесообразно транспортировать в вагонах-цистернах с аэропневматической разгрузкой.

Прирельсовые склады строятся емкостью 1,2...15 тыс. т. Для ам-

миачной селитры строятся отдельные склады на 1200...3500 т, и предъявляются особые требования к хранению, так как это удобрение пожаро- и взрывоопасно.

Жидкие удобрения перевозят в аммиачных цистернах и хранят на складах в вертикальных или горизонтальных металлических резервуарах общей емкостью 600...2000 м³.

При хранении аммиачной селитры на стоечных поддонах допускается высота штабеля до 4,4 м, а на плоских поддонах — в два яруса. Без поддонов мешки с аммиачной селитрой укладывают штабелем высотой 1,5...1,8 м в 8...10 рядов. Масса отдельного штабеля не должна превышать 120 т. Все другие затаренные удобрения также следует хранить на стоечных поддонах, которые устанавливают в четыре ряда общей высотой 4,4 м. Незатаренные удобрения можно хранить насыпью высотой до 5 м. Фосфоритную, известняковую муку, а также гранулированный суперфосфат удобно хранить в складах силосного (башенного) типа.

На прирельсовых складах для выгрузки незатаренных удобрений из вагонов или со склада используют машины, которые разрыхляют удобрения и с помощью ленточных транспортеров подают их на склад или в автомашину. Затаренные удобрения выгружают из вагонов на склад или погружают со склада в бортовые автомобили с помощью электропогрузчиков или автопогрузчиков. Пылевидные удобрения выгружают из цистерн-цементовозов и крытых вагонов на прирельсовые склады силосного, бункерного типа или в автоцистерны пневморазгрузчиками.

На глубинных складах «Сельхозхимии» и хозяйственных складах в пунктах химизации для загрузки и выгрузки минеральных удобрений используют тракторные погрузчики-бульдозеры, универсальные фронтальные тракторные погрузчики, оборудованные сменными погрузочными средствами, погрузчики-экскаваторы.

Для подготовки минеральных удобрений к внесению применяются измельчитель-растариватель и измельчитель удобрений, а также специальные смесительно-дозирующие и смесительные установки.

В хозяйствах часто вносят двойные или тройные смеси минеральных удобрений. Приготовленная смесь минеральных удобрений должна быть хорошо рассеваемой и однородной по составу, чтобы не было большой неравномерности (более 15...20%) при ее разбрасывании по полю, особенно центробежными машинами. При подготовке различных смесей влажность аммиачной селитры, сульфата аммония и мочевины не должна превышать 0,3%, фосфоритной муки и калийных удобрений — 2%, а двойного гранулированного суперфосфата — 5%. Для тукосмешения в хозяйственных условиях обычно используют гранулированные удобрения. Заблаговременно можно смешивать калийные удобрения с фосфоритной мукой, а с суперфосфатом — незадолго до внесения.

Следует учитывать, что при смешивании аммиачной селитры с суперфосфатом, а также при использовании в составе смеси аммиачной селитры и мочевины, а также мочевины и суперфосфата образуется гигроскопичная мажущаяся трудновысеваемая масса.

В зависимости от удаленности полей от складских помещений и наличия техники доставка и внесение минеральных удобрений и извести проводятся по следующим технологическим схемам:

а) прямоточная: прирельсовый склад — разбрасыватель — поле;

б) перегрузочная: прирельсовый склад — транспортные машины-перегрузчики — разбрасыватель на поле;

в) перевалочная: прирельсовый склад — автотракторный транспорт (тракторные прицепы, бортовые автомобили, автомобили-самосвалы) — склад хозяйственного, межхозяйственного пункта химизации, глубинный склад отделения «Сельхозхимии» или временные площадки на поле.

Далее удобрения, если они хранились на поле, после погрузки вносят тракторными разбрасывателями, а если хранились на глубинном складе — автомобильными разбрасывателями.

С глубинного склада районного отделения «Сельхозхимии» удобрения могут транспортироваться также машинами-перегрузчиками к разбрасывателю на поле. В последнем случае схема называется перевалочно-перегрузочной.

Если от склада до поля расстояние 3...5 км, то, как правило, в прямоточной схеме используют тракторные разбрасыватели; при расстоянии 5...8 км и больше — автомобильные.

Экономически выгодный радиус действия самолета с аэродрома равен примерно 10...12 км, а доза внесения удобрений 100...200 кг на 1 га.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

По данным полевых опытов, при средних нормах внесения минеральных удобрений 1 кг действующего вещества (в тройном или двойном сочетании азота, фосфора и калия) обеспечивает прибавку зерна озимых и яровых культур 2,7...5,7 кг, зерна кукурузы 4,7...7,1, зерна риса 6...11, картофеля 20...32, сахарной свеклы 26...52, хлопка-сырца 2,3...5,6, льносоломы 4,6...6,1 и семян подсолнечника 2...3,5 кг. В зависимости от вида сельскохозяйственной культуры и почвенно-климатических условий чистый доход на 1 руб. затрат, связанных с применением минеральных удобрений, составляет по результатам опытов агрохимической службы страны от 1,5 до 8 руб., в среднем 3...4 руб. Один рубль затрат, связанных с применением органических удобрений, окупается 1,5...5 руб., а 1 руб. известкования — 3...7 руб.

В условиях производства определение экономической эффективности применения удобрений под отдельную культуру или в севообороте проводится на основе сравнения урожайности на удобренной площади и на контрольной (неудобренной) полосе участка. Если не оставляют контрольных полос, то используют данные опытных учреждений по прибавке урожая в аналогичных условиях. Стоимость продукции выражают в закупочных ценах или в ценах фактической реа-

лизации. Чистый доход от применения удобрений определяется по формуле:

$$Чд = (С + с) - Е,$$

где $Чд$ — чистый доход (в руб.); $С$ — стоимость дополнительной основной продукции, полученной от применения удобрений (в руб.); $с$ — стоимость дополнительной побочной продукции, полученной от удобрений (в руб.); $Е$ — сумма всех затрат, связанных с применением удобрений (в руб.).

Сумма затрат ($Е$) складывается из следующих показателей:

$$Е = З_1 + З_2 + З_3 + З_4 + З_5 + З_6 + З_7,$$

где $З_1$ — стоимость удобрений по прейскуранту оптовых цен (для минеральных удобрений, извести и торфа) или по плановым ценам (для местных органических удобрений); $З_2$ — затраты на доставку удобрений в хозяйство и на поле (с установленными наценками за доставку); $З_3$ — затраты на хранение и складскую переработку удобрений в хозяйстве; $З_4$ — затраты на внесение удобрений; $З_5$ — затраты на уборку, доработку и переработку прибавки урожая; $З_6$ — затраты на реализацию дополнительной продукции; $З_7$ — накладные расходы.

Увеличение чистого дохода от применения удобрений можно выразить в виде формулы:

$$Чу - Чо = (Ву - Вн) - Е,$$

где $Чу$ — чистый доход с удобренной площади (в руб.); $Чо$ — чистый доход с неудобренной площади (в руб.); $Ву$ — стоимость валовой продукции (основной и побочной) с удобренной площади (в руб.); $Вн$ — стоимость валовой продукции с неудобренной площади (в руб.).

Рентабельность применения удобрений $Р$ (в %) определяется по формуле:

$$Р = \frac{(С + с) - Е}{Е} \cdot 100 \quad \left(\text{или } Р = \frac{Чд}{Е} \cdot 100\right),$$

а окупаемость дополнительных затрат, связанных с применением удобрений,— по формуле:

$$О = \frac{С + с}{Е}.$$

Изменения в себестоимости продукции в результате применения удобрений можно выразить так:

$$Д = \frac{А}{Уо} \text{ и } Д_1 = \frac{А + А_1}{Уо + Уп},$$

где $Д$ и $Д_1$ — себестоимость единицы продукции без удобрений и с удобрениями (в руб.); $А$ — все затраты (без удобрений) на 1 га (в руб.); $А_1$ — дополнительные затраты на удобрения на 1 га (в руб.); $Уо$ — урожайность с 1 га без внесения удобрений или при более низком сравнительном уровне их применения (в ц); $Уп$ — прибавка урожая с 1 га от применения удобрений (в ц).

Указанная методика определения экономической эффективности удобрений разработана отделами экономики химизации ВНИИЭСХ, ВИУА, ВИЖ и ВНИИ защиты растений.

При пользовании этой методикой затраты на удобрения следует дифференцировать по годам в зависимости от их последействия:

Вид удобрений	Год действия	Доля затрат (в %)
Органические . .	1-й	60
	2-й	30
	3-й	10
Азотные	1-й	100
Фосфорные . . .	1-й	55
	2-й	30
	3-й	15
Калийные . . .	1-й	70
	2-й	30

Действие и последействие извести желательно учитывать в течение 5...7 лет (в зависимости от нормы ее внесения) с ежегодным отчислением затрат в пределах 20...14,3%.

Определение экономической эффективности применения удобрений в севообороте лучше проводить за ротацию. Продуктивность севооборота выражают в кормовых или зерновых единицах. Стоимость товарной продукции оценивается в закупочных ценах, а продукции кормовых культур (и побочной продукции), на которую нет таковых цен,— по стоимости 1 ц кормовых единиц (закупочная цена 1 ц зерна овса). Показатели экономической эффективности системы удобрения за ротацию севооборота рассчитываются, как и под отдельные культуры, по вышеприведенным формулам, в которых величина каждого параметра за ротацию складывается с учетом каждой культуры севооборота. Например, рентабельность системы применения удобрений выражается формулой:

$$P\,(\%) = \frac{(C_1 + c_1) - E_1 + (C_2 + c_2) - E_2 + \ldots + (C_n + c_n) - E_n}{E_1 + E_2 + \ldots + E_n} 100,$$

где C_1, C_2, C_n — стоимость дополнительной основной продукции культур севооборота, полученной от применения удобрений (в руб.); c_1, c_2, c_n — стоимость дополнительной побочной продукции культур севооборота, полученной от применения удобрений (в руб.); E_1, E_2, E_n — сумма всех затрат, связанных с применением удобрений под соответствующие культуры севооборота (в руб.).

При сравнении вариантов системы удобрения по экономическим показателям предпочтение отдается варианту, где наиболее высокий урожай и чистый доход с 1 га, наивысшая производительность труда, низкая себестоимость продукции и высокая рентабельность. Однако окупаемость удобрений может быть выше на варианте с меньшим уровнем их внесения. В районах интенсивной химизации земледелия определяющими показателями экономической эффективности удобрений между сравниваемыми различными вариантами опыта являются чистый доход с 1 га и урожайность. При этом следует обращать внимание на поддержание оптимального баланса питательных веществ в почве за ротацию севооборота. В зонах недостаточного применения удобрений ведущим показателем в экономической оценке применяемых туков является их окупаемость прибавкой урожая, что позволяет рациональнее использовать удобрения на большей площади.

Экономическая эффективность применения удобрений повышается при индустриальной технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Глава XIV

ДЕЙСТВИЕ УДОБРЕНИЙ НА СОСТАВ И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ

Основной целью возделывания сельскохозяйственных растений является получение определенных химических веществ: белков, жиров, крахмала, сахаров, клетчатки, витаминов, алкалоидов, эфирных масел, каучука и других химических соединений, которые используются как продукты питания человека, корма для сельскохозяйственных животных или служат сырьем для промышленности. При выращивании растений необходимо стремиться получить наибольший урожай высокого качества, с максимальным содержанием в нем тех ценных химических веществ, ради которых выращиваются растения.

Качество урожая в зависимости от условий выращивания может изменяться в широких пределах. Содержание белка в пшенице, например, может колебаться от 9 до 25%, крахмала в картофеле — от 10 до 24%, сахара в сахарной свекле — от 12 до 22%; содержание жира в семенах масличных культур, сахаров и витаминов в плодах и овощах, алкалоидов и эфирных масел в алкалоидных и эфиромасличных растениях в зависимости от условий выращивания может изменяться в полтора-два раза. Это значит, что даже при равном урожае с одной и той же площади посева можно получить значительно большее количество хозяйственно-ценных продуктов, если качество растений лучше.

В последние годы в нашей стране существенно повысилась урожайность и увеличились валовые сборы многих сельскохозяйственных культур. Однако в ряде районов качество урожая зерновых и некоторых других культур не удовлетворяет требованиям перерабатывающей промышленности и потребностям населения. Кроме того, в результате низкого качества урожая значительно возрастают потери продукции во время хранения, особенно картофеля, сахарной свеклы и овощных культур. Поэтому улучшение химического состава растений и повышение качества урожая — одна из важных задач, стоящих перед сельскохозяйственным производством.

Основными процессами, приводящими к формированию урожая того или иного качества, являются, с одной стороны, биосинтез белков и других азотистых соединений, а с другой, биосинтез углеводов или (в семенах масличных растений) жиров. Эти процессы требуют различных условий, и почти всегда при усилении процесса биосинтеза белков уменьшается накопление углеводов или жиров, а при меньшей интенсивности процессов синтеза белков усиливается относительно накоп-

ление углеводов в растениях. К настоящему времени исследовано влияние многих факторов внешней среды на количественную и качественную изменчивость химического состава растений. К таким факторам относятся температура, влажность почвы и воздуха, количество и качество света, почвенные условия, агротехника, действие стимуляторов роста и т. д., однако многочисленные агрохимические и биохимические исследования показывают, что одним из наиболее эффективных и быстродействующих факторов, приводящих к изменению химического состава растений и повышению качества урожая, являются удобрения. Действие удобрений на химический состав растений определяется тем, что питательные вещества, поступающие в растения из удобрений, входят в состав важнейших органических соединений и повышают их содержание в урожае, а также тем, что отдельные элементы питания играют очень важную роль в процессах обмена веществ в растениях.

Применение удобрений без учета биологических особенностей растений, почвенно-климатических условий и действия самих удобрений иногда приводит не к улучшению, а к снижению качества урожая.

Улучшая снабжение растений теми или иными элементами питания на разных фазах роста, можно изменять направленность процессов обмена веществ в желательную сторону и вызывать накопление в растениях белков, крахмала, сахаров, жиров, алкалоидов, витаминов и других хозяйственно-ценных веществ. К настоящему времени во всех почвенно-климатических зонах нашей страны проведено большое число исследований по действию удобрений на химический состав и качество урожая. Общие закономерности, установленные в результате этих исследований, можно свести к следующим основным положениям.

Азот, поступающий в растения, быстро превращается в аминокислоты, которые являются необходимыми соединениями для биосинтеза белковых веществ, нуклеиновых кислот, алкалоидов и других соединений. Азот входит также в состав хлорофилла, ряда витаминов, гормонов и т. д. Поэтому лучшие условия азотного питания способствуют более интенсивному накоплению этих соединений в растениях.

При недостатке азота содержание белков и особенно небелковых азотистых соединений в растениях значительно понижается. Относительное содержание крахмала и сахаров при пониженном азотном питании обычно более высокое, чем при оптимальных его условиях. Однако резкий недостаток азота может вызвать снижение содержания подвижных форм углеводов за счет увеличения содержания клетчатки.

Снижение содержания углеводов при внесении повышенных норм азотных удобрений объясняется тем, что на многих этапах азотного обмена (при восстановлении нитратов до аммиака, биосинтезе аминокислот из аммиака, биосинтезе амидов, азотистых оснований, нуклеиновых кислот, белков и других азотистых соединений) растение затрачивает большое количество энергии, которую оно получает главным образом в процессе фотосинтетического фосфорилирования и окислительного распада углеводов. Углеродный скелет образующихся азотистых соединений также строится за счет углеводов или продуктов их превращений, вследствие чего при усиленном азотном питании

значительная часть фиксированного при фотосинтезе углерода затрачивается на биосинтез не углеводов, а различных азотистых соединений. Таким образом, при усиленном азотном питании содержание углеводов или жиров в растениях понижается.

Для качества ряда сельскохозяйственных культур важное значение имеют формы применяемых азотных удобрений. Было показано, что разные источники азотного питания оказывают неодинаковое влияние на превращение веществ в растениях. В частности, при аммиачном питании растений обмен веществ смещается в сторону накопления большего количества восстановленных соединений (эфирных масел, алкалоидов), а при нитратном источнике азота усиливается образование окисленных соединений, главным образом органических кислот.

Очень сильное, в ряде случаев определяющее влияние на многие биохимические процессы в растениях оказывает фосфор, принимающий непосредственное участие в синтезе и распаде сахарозы, крахмала, белков, жиров и многих других соединений. Под влиянием фосфорных удобрений резко усиливается интенсивность синтеза сахарозы, крахмала и жиров. Интенсивность синтеза белков под влиянием фосфора также повышается, однако в меньшей степени, чем интенсивность синтеза сахарозы или крахмала. Поэтому, как правило, при недостатке фосфора в растениях содержится относительно меньшее количество сахарозы и крахмала по сравнению с содержанием белков, а при внесении фосфора интенсивность синтеза углеводов увеличивается, причем в большей степени, чем интенсивность синтеза белков.

Калий оказывает положительное действие на интенсивность фотосинтеза и на биосинтез и накопление в растениях сахарозы, крахмала и жиров. Биосинтез белков при внесении оптимальных норм калийных удобрений также усиливается. При сравнении различных источников азота (аммиачного или нитратного) особенно заметно выявляется положительное влияние калия на синтез белков при аммиачном питании. Недостаточное питание растений калием приводит к ослаблению синтеза сахарозы, крахмала и жиров, а содержание моносахаридов в растениях повышается.

Таким образом, в зависимости от условий минерального питания химический состав растений и качество урожая могут подвергаться значительным изменениям.

Особенно важное значение имеет повышенное содержание белка в сельскохозяйственных растениях. Белок не может быть заменен в питании человека и животных никакими другими веществами, и ежедневно человек с пищей должен получать 70...100 г белка. Недостаток белка в пище приводит к серьезным нарушениям обмена веществ.

Проблема увеличения производства белка для удовлетворения потребностей в нем населения по всеобщему признанию является одной из наиболее острых и трудных проблем нашего времени и имеет первостепенное практическое значение. По материалам ФАО, в настоящее время примерно половина всего населения Земли испытывает белковое голодание. В связи с этим работники науки и практики

сельского хозяйства всех стран стремятся разработать приемы, способствующие повышению содержания белка в урожае основных сельскохозяйственных культур.

В Советском Союзе обеспеченность пищевым белком близка к норме и белковой проблемы для нашего населения не существует. Но у нас есть другая проблема — недостаток белка в животноводстве, в кормлении скота и птицы.

Наиболее доступными, широко распространенными и дешевыми источниками белка являются зерновые злаковые и зерновые бобовые, поэтому повышению содержания белка в этих культурах должно уделяться особое внимание. Если принять, что в настоящее время в нашей стране среднегодовое производство зерна составляет свыше 200 млн. т, то простые расчеты показывают, что в целом по СССР увеличение содержания белка в зерновых культурах только на 1% дает возможность дополнительно получать более 2 000 000 т белка.

Изучение действия удобрений на качество зерна злаков в нашей стране впервые было начато в лаборатории Д. Н. Прянишникова. Эти исследования показали, что наибольшее положительное действие на накопление белка в зерне оказывают азотные удобрения, особенно в районах Нечерноземной зоны, где в силу низкого естественного плодородия почв зерно получают обычно худшего качества, чем при выращивании в южных районах.

Многочисленные опыты показывают, что в этих районах важнейшим условием повышения качества зерна является применение удобрений. Например, в опытах, проведенных на дерново-подзолистых почвах Пермской области без внесения удобрений, содержание белка в зерне пшеницы было 11,7%, а клейковины — 26,6%. При внесении $P_{60}K_{60}$ содержание белка и клейковины соответственно составляло 11,9 и 25,9%, а по $N_{60}P_{60}K_{60}$ количество белка увеличилось до 14,1%, а клейковины — до 34,2%. Аналогичные результаты получены при внесении удобрений и под другие зерновые культуры, выращиваемые в Нечерноземной зоне: рожь, овес, ячмень.

В полевых опытах с ячменем, проведенных в Белорусском научно-исследовательском институте земледелия на дерново-подзолистых почвах с низким содержанием подвижного фосфора и обменного калия, фосфорно-калийные удобрения значительно повышали урожай зерна, но содержание белка при этом не изменялось и даже имело тенденцию к снижению. Азотные удобрения, внесенные на фоне РК, вызывали дальнейшее повышение урожая, а при внесении более высоких норм азота он затрачивался в основном на увеличение содержания белка в зерне. Общий сбор белка при внесении удобрений возрастал почти в два раза (табл. 198).

Для повышения качества урожая зерновых культур большое значение имеют сроки внесения азотных удобрений. Как известно, озимые зерновые эффективно используют азот при внесении его весной в подкормку. Весенняя подкормка озимых не только значительно повышает урожай, но и улучшает его качество. При внесении под озимую пшеницу весной в подкормку 30...60 кг азота на 1 га содержание белка в зерне часто повышается на 1...2%.

198. Влияние удобрений на урожай и качество ячменя (среднее за 3 года)

Вариант опыта	Урожай (в ц с 1 га)	Белок (в %)	Сбор белка (в кг с 1 га)
Без удобрений	14,5	11,0	160
$P_{40}K_{40}$	19,2	10,6	204
$N_{20}P_{40}K_{40}$	22,2	11,3	251
$N_{40}P_{40}K_{40}$	23,9	12,1	289
$N_{60}P_{40}K_{40}$	23,0	13,2	304

Пшеница — основная продовольственная зерновая культура нашей страны, и улучшению технологических и хлебопекарных качеств этой культуры в настоящее время уделяется особенно большое внимание. Необходимо стремиться выращивать сильные пшеницы, которые в соответствии со стандартом должны содержать не менее 14% белка и не менее 28% клейковины I группы.

Накопление белка происходит в результате реутилизации азотистых веществ, содержащихся в вегетативных органах до начала налива зерна и поглощения азота из почвы. Озимая пшеница в конце вегетации часто испытывает недостаток азота. Исследования показали, что к началу молочной спелости в зерне содержится до 40...50% азота от содержания его в зрелом зерне, к началу восковой спелости — 70...80%, а остальной азот в количестве 20...30% поступает в зерно в фазу восковой спелости. Если в самом конце вегетации поступление азота замедляется или прекращается, то получают зерно с более низким содержанием белка. Поэтому для повышения содержания белка в зерне большое значение имеет достаточное азотное питание растений в поздние фазы: в период колошения, цветения и начала налива зерна. Азот, поступающий в растение в эти фазы, интенсивно передвигается в семена, и в период налива зерна синтез белков в них идет более интенсивно.

Это было показано в большом числе исследований, проведенных в различных почвенно-климатических зонах нашей страны. Например, в опытах И. В. Мосолова урожай под действием поздних подкормок практически не изменялся, но происходило значительное улучшение качества зерна. Наибольшее повышение содержания белка (на 2,8%) и клейковины (на 10%) наблюдалось при внесении азотных удобрений в начале налива зерна (табл. 199). Однако следует учиты-

199. Влияние азотных подкормок на урожай и качество зерна пшеницы сорта Безостая 1 (Ставропольский край)

Вариант опыта	Урожай (в ц с 1 га)	Белок (в %)	Сырая клейковина (в %)
Фон (контроль)	39,6	16,4	23,6
Фон+N_{45} в фазу выхода в трубку	42,5	17,3	24,0
Фон+N_{45} в фазу колошения	41,2	18,2	30,0
Фон+N_{45} в начале налива зерна	39,0	19,2	33,8

вать, что такое положительное действие поздних азотных подкормок проявляется лишь при достаточной обеспеченности растений влагой.

В последнее время было установлено, что растения обладают способностью довольно интенсивно поглощать и усваивать через листья аммиачные и нитратные соли, а также мочевину при некорневом применении растворов этих веществ, причем после поглощения через листья процессы усвоения и превращения этих веществ принципиально не отличаются от процессов, которые происходят после их поглощения через корни. Поэтому сейчас широкое распространение получили некорневые подкормки растений азотными удобрениями. На практике для некорневых подкормок растений чаще всего используют растворы мочевины или аммиачной селитры. Опыты показали, что мочевина дает даже лучшие результаты по сравнению с аммиачной селитрой. Это объясняется тем, что мочевина — не только источник азота, но и физиологически активное вещество. Под действием мочевины повышается фотосинтетическая деятельность листьев и повышается активность протеолитических ферментов в листьях, белки листьев распадаются более интенсивно, благодаря чему усиливается отток азотистых соединений из листьев в созревающее зерно.

Исследования, проведенные с использованием мочевины, меченной ^{15}N, показали, что азот мочевины, внесенный в поздние сроки, включается в основном в проламины и глютелины, т. е. в белки клейковины. При благоприятных погодных условиях содержание клейковины в зерне в результате такой подкормки увеличивается на 7...10%. Благодаря этому колхозы и совхозы увеличивают сборы сильных пшениц.

Некорневые подкормки пшеницы мочевиной значительно улучшают хлебопекарные качества муки. Опытами Московского государственного университета, которые проводились на дерново-подзолистых почвах Московской области, было показано, что в среднем за два года при поздних некорневых подкормках мочевиной в дозе 30 кг азота на 1 га наряду со значительным повышением содержания белка и клейковины в зерне «сила» муки под действием подкормки была $509 \cdot 10^{-4}$ джоулей против $349 \cdot 10^{-4}$ в контроле, а упругость теста 189 мм по сравнению со 179 мм в контроле *.

Некорневые подкормки пшеницы растворами мочевины проводят с помощью авиации в период цветения — начала молочной спелости зерна, дозы азота 30...50 кг на 1 га, концентрация раствора при мелком распыливании может достигать 30% без опасения вызвать ожоги листьев.

Каково же действие на качество урожая пшеницы других основных элементов питания — фосфора и калия? Большинство исследователей считают, что одностороннее усиление фосфорного питания растений вызывает снижение содержания белка в зерне и ухудшение

---

* «Сила» муки — это работа в джоулях, затрачиваемая на раздувание пленки теста в шар до его разрыва. Определяется на альвеографе. Упругость теста характеризуется максимальным сопротивлением пленки теста (в мм) при раздувании ее в шар.

хлебопекарных качеств муки. Например, А. А. Созинов приводит средние данные по 44 опытам, из которых следует, что внесение под озимую пшеницу суперфосфата в дозах 20...30 кг P_2O_5 на 1 га вызывало снижение содержания клейковины с 33,0 до 30,9%, стекловидности зерна с 64 до 49%, «силы» муки от $261 \cdot 10^{-4}$ до $219 \cdot 10^{-4}$ джоулей.

В вегетационных опытах И. В. Мосолова с яровой пшеницей при внесении (в г на 1 сосуд) $N_{0,75}P_{0,5}K_{0,5}$ урожай зерна составил 15,3 г, содержание белка 12,9%, а сбор белка 1,97 г на один сосуд. Если вносили повышенную дозу фосфора (1 г на сосуд) при тех же дозах азота и калия, то урожай зерна повышался до 17,2 г, но содержание белка снижалось на 2,5% и составляло всего 10,4%. Сбор белка также снижался и составлял 1,79 г на сосуд.

Отрицательное действие повышенных норм фосфора на качество пшеницы, конечно, не означает, что фосфор не нужен для растений или оказывает отрицательное действие на биосинтез белков. Снижение содержания белков в зерне происходит главным образом вследствие двух причин. Фосфор усиливает рост растений, повышает урожай зерна и вегетативной массы, что приводит к «разбавлению» азота в растении, растение испытывает недостаток азота, и зерно формируется с более низким содержанием белка. Поэтому следует выдерживать правильное соотношение между азотом и фосфором в течение всего периода роста растений. Второй причиной отрицательного действия фосфора на качество зерна является то, что в отличие от мочевины фосфор стимулирует не распад, а биосинтез белков в листьях, в результате чего отток азота из листьев, его реутилизация в период созревания зерна значительно ослабляется и в зерно поступает меньшее количество азотистых веществ.

В ряде опытов отмечено, что на почвах с очень низким содержанием подвижного фосфора фосфорные удобрения не снижали или даже несколько повышали содержание белка в зерне пшеницы.

Калийные удобрения, вносимые в обычных нормах, не изменяют или даже несколько повышают содержание белка в зерне.

Однако повышенные нормы калийных удобрений могут значительно снижать содержание белка в зерне. Например, в опытах И. В. Мосолова и Ф. К. Воробьева при выращивании пшеницы на дерново-подзолистой почве содержание белка (в %) в зерне в зависимости от внесенных удобрений изменялось следующим образом:

Без удобрений	NP	NPK	NPK_2*
13,1	17,2	18,4	12,5

Отрицательное действие высоких норм калийных удобрений на содержание белка в зерне объясняется следующим. В зерновых культурах существует обратная зависимость между содержанием белков и крахмала: чем больше крахмала накапливается в зерне, тем меньше в нем содержится белков. Калий безусловно необходим в значительных количествах для нормального роста растений и для биосинтеза белков, но он более интенсивно стимулирует синтез и передвижение

* K_2 — внесение удвоенной нормы калия.

углеводов, чем синтез азотистых веществ. Поэтому при внесении повышенных норм калийных удобрений в сильной степени повышается синтез углеводов, их передвижение в созревающие семена, в них накапливается много крахмала, а относительное содержание белков соответственно снижается.

Действие удобрений на качество урожая других зерновых культур в основном аналогично их действию на пшеницу.

Особый интерес представляет изменчивость качества зерна кукурузы под влиянием удобрений. Эта культура может давать очень высокие урожаи, однако содержание белков в зерне у нее недостаточное, что ухудшает его кормовую и продовольственную ценность. Поэтому изучению влияния условий выращивания на химический состав зерна кукурузы уделяется очень большое внимание.

Наибольшего повышения урожаев и количества белка в зерне можно достичь лишь при использовании азотных удобрений. По данным А. С. Хантера, под действием азотных удобрений урожай и содержание белка в зерне кукурузы изменялись следующим образом (табл. 200).

Таким образом, под действием азотных удобрений общий сбор белка с единицы площади увеличился в 2—3 раза.

Аналогичные результаты получены и в других исследованиях.

Зеленая масса кукурузы, как и зерна, отличается низким содержанием протеина. Для повышения содержания протеина в кукурузе очень эффективна некорневая подкормка посевов растворами мочевины. При этом мочевина, попадая на листья растений, легко проникает в ткани и быстро превращается в аминокислоты и белки, обогащая корм протеином более чем в 1,5 раза. На основании обобщенных данных научно-исследовательских институтов по некорневой подкормке кукурузы мочевиной рекомендуется опрыскивать с самолета посевы кукурузы в фазе молочной и молочно-восковой спелости (за 2...3 недели до уборки на силос) 20...25%-ным раствором мочевины из расчета 400...500 л раствора на 1 га. В результате такого опрыскивания содержание протеина в кукурузе повышается на 55...60% (прибавка 250...350 кг протеина на 1 га) и увеличивается содержание переваримого протеина от 60—65 до 90—105 г на одну кормовую единицу. Расчеты показывают, что 1 кг мочевины при некорневой под-

200. Влияние азота на величину и качество урожая кукурузы

Норма азота (в кг на 1 га)	Урожай зерна (в ц с 1 га)	Содержание белка в зерне (в %)	Сбор белка (в кг с 1 га)
0	40,7	6,92	282
45	57,0	7,27	415
90	74,5	7,86	586
112	83,4	8,06	672
134	88,6	8,45	748
179	92,5	8,74	806
224	92,7	9,30	862

кормке может дать дополнительно 1,6...2 кг протеина, которого достаточно для получения от коров 15...25 кг молока.

В решении проблемы растительного белка весьма важная роль принадлежит бобовым культурам, которые содержат в 2...3 раза больше белка, чем зерновые. Расширение посевов зерновых бобовых культур позволяет резко улучшить белковый баланс кормов и расширить ассортимент продуктов питания для населения. В связи с тем что бобовые растения усваивают азот воздуха с помощью клубеньковых бактерий, качество их урожая и содержание в нем белков определяются прежде всего интенсивностью фиксации азота клубеньковыми бактериями, а все другие факторы оказывают на химический состав этих культур дополнительное влияние. Следовательно, для получения больших урожаев бобовых высокого качества необходимы условия, при которых происходит интенсивная фиксация атмосферного азота. Такими условиями являются прежде всего инокуляция бобовых соответствующими расами клубеньковых бактерий и известкование кислых почв. В повышении качества урожая зерновых бобовых культур особенно большое значение имеют фосфорные и калийные удобрения, так как они стимулируют образование и рост клубеньков и интенсивность азотфиксации. В опытах Всесоюзного института растениеводства в Ленинградской области с горохом сорта Масличный при выращивании без удобрения в семенах содержалось 25,2% белка, при внесении на 1 га по 45 кг фосфора и калия содержание белка увеличилось до 27,4%, а при внесении на 1 га 90 кг фосфора и 135 кг калия — до 31,5%.

В опытах Воронежского сельскохозяйственного института на выщелоченном черноземе в среднем за 5 лет урожайность гороха при внесении P_{60} увеличилась с 25,6 ц на контроле до 31,6 ц с 1 га, а содержание белка — с 22,7 до 24,2%. Под влиянием $P_{60}K_{60}$ урожайность гороха возросла до 32,7 ц с 1 га, а содержание белка увеличилось до 25,4%. Таким образом, фосфорно-калийные удобрения увеличивали сбор белка с 1 га от 580 до 830 кг.

В последние годы установлено, что качество урожая бобовых улучшается и под действием некоторых микроэлементов, в частности при внесении молибденовых удобрений. Молибден в наибольшей степени повышает урожай и содержание белка в зерне, так как под действием молибдена стимулируется фиксация атмосферного азота бобовыми растениями.

В опытах Уманского сельскохозяйственного института на оподзоленном черноземе в среднем за 4 года без внесения удобрений был получен урожай гороха 21,5 ц с 1 га с содержанием белка 21,4%. При внесении под горох молибдена урожай повысился до 24,3 ц с 1 га, а содержание белка — до 22,3%.

Большую актуальность имеет изучение не только общего содержания белков в урожае сельскохозяйственных культур, но и качества самих белков и прежде всего их фракционного и аминокислотного состава. Определение аминокислотного состава белков становится неотъемлемой частью анализа качества урожая. Белки состоят из 20 различных аминокислот. Однако не все они обладают одинаковой

пищевой ценностью. Многие аминокислоты могут синтезироваться в организме человека и животных из безазотистых соединений и аммиака или других аминокислот и затем использоваться для образования белковых молекул, необходимых для построения органов и тканей животного организма. Однако некоторые аминокислоты не могут синтезироваться в организме человека и животных и должны быть получены с пищей. Это так называемые биологически незаменимые аминокислоты.

Для человека незаменимы восемь аминокислот, и по средним нормам взрослый человек ежедневно должен получать следующие количества этих аминокислот (в г): триптофана 1,0, лизина 5,5, лейцина 7, изолейцина 4, валина 5, метионина 3,5, фенилаланина 5, треонина 4. При недостатке или отсутствии в пище одной из нескольких аминокислот наблюдаются серьезные нарушения обмена веществ, приводящие к тяжелым заболеваниям.

Белки довольно резко различаются по аминокислотному составу, в том числе и по содержанию незаменимых аминокислот. Некоторые белки содержат все аминокислоты в количестве, достаточном для организма человека и животных. Такие белки называются биологически полноценными. К ним относятся белки куриного яйца, молока, мяса. Однако многие белки, чаще всего растительного происхождения, не содержат или содержат в недостаточном количестве одну или несколько незаменимых аминокислот. Например, в белках зерновых злаков содержится недостаточное количество лизина и триптофана, в белках семян бобовых культур недостаточно метионина, в белках клубней картофеля мало валина и т. д. Эти белки называются неполноценными.

Человек при очень редких обстоятельствах удовлетворяет свою потребность в белках и незаменимых аминокислот только за счет одного какого-либо продукта. При кормлении же сельскохозяйственных животных, особенно при откорме свиней и птицы, такие случаи довольно часты. Поэтому здесь необходимо учитывать не только общее содержание белков в рационах, но и содержание незаменимых аминокислот в белках.

Биологическую питательную ценность белков определяют сравнением всех свойств данного белка, прежде всего его аминокислотного состава, с наиболее ценными и хорошо усвояемыми белками куриного яйца или молока. Если биологическую питательную ценность белков яйца принять за 100%, то питательная ценность белков некоторых сельскохозяйственных культур будет выражаться следующими цифрами (в%): пшеница — 62...67, кукуруза — 52...58, ячмень — 64, зерновые бобовые — 75...85, картофель — 85. Следует учитывать, что это не общая ценность продукта по отношению к яйцу и молоку, а ценность белков, содержащихся в данном продукте.

Как показано выше, содержание белков в урожае сельскохозяйственных растений может существенно изменяться в зависимости от вносимых удобрений, а общий сбор белка с единицы площади при правильном применении удобрений повышается в 2...3 раза.

Возникает вопрос: изменяется ли под действием удобрений аминокислотный состав белков и содержание в белках незаменимых амино-

кислот? Исследования показали, что состав белков зерновых культур может изменяться под действием азотных удобрений, особенно при поздних сроках их внесения. При этом в зерне обычно синтезируется большее количество спирторастворимых и щелочерастворимых белков, повышается их доля в общем белковом комплексе. Показано, что отдельные белковые фракции имеют различный аминокислотный состав, причем спирторастворимые (проламины) и щелочерастворимые (глютелины) белки содержат меньшее количество ряда незаменимых аминокислот и больше глутаминовой кислоты, пролина и амидов по сравнению с водорастворимыми (альбумины) и солерастворимыми (глобулины) белками. Поэтому под влиянием азотных удобрений может происходить некоторое снижение содержания незаменимых аминокислот в суммарных белках и понижение их питательной ценности. Если же рассчитывать количество незаменимых аминокислот на сухую массу зерна, то с повышением процентного содержания белка в зерне количество незаменимых аминокислот в зерне несколько повышается вследствие увеличения общего количества белка.

Однако следует подчеркнуть, что состав индивидуальных растительных белков под влиянием удобрений не претерпевает никаких изменений, этот состав стабилен, он определяется генетическими факторами, природой самого растения. Удобрения могут лишь изменять фракционный состав белков, но аминокислотный состав индивидуальных белков под действием удобрений не изменяется.

Под действием удобрений существенным изменениям подвергается накопление в растениях не только азотистых, но и других веществ, в частности крахмала. Наиболее важное значение имеет изменение содержания крахмала в картофеле — основного показателя качества клубней, особенно при использовании их для технической переработки.

Минеральные удобрения, содержащие большое количество хлора, вызывают снижение содержания крахмала, причем иногда настолько значительное, что общие сборы крахмала с удобренных и неудобренных участков бывают равны. В этих случаях совершенно не оправдываются затраты на вносимые удобрения. Д. Н. Прянишников приводил данные многолетних опытов, которые показывают, что при внесении под картофель сульфата калия среднее содержание крахмала в клубнях составляло 20%, при внесении 40%-ной калийной соли оно понижалось до 17%, а по карналлиту — даже до 16%. Поэтому при внесении под картофель калийных удобрений очень важен правильный выбор как соответствующих форм их, так и способов и сроков внесения, при которых не происходит снижения содержания крахмала в клубнях.

Удобрения, содержащие большое количество хлора, снижают качество урожая гречихи, табака и некоторых других культур. При замене хлористых калийных солей сернокислыми или при заблаговременном внесении калийных хлористых удобрений, когда хлор вымывается в осенне-весенний период, урожай и качество его значительно возрастают.

Картофель относится к группе культур, предъявляющих повышенные требования к калийному питанию. Калий стимулирует образование углеводов, особенно крахмала, как в листьях, так и в клубнях кар-

201. Влияние различных форм калийных удобрений на урожай и качество картофеля (среднее за 6 лет)

Вариант опыта	Урожай (в ц с 1 га)	Содержание крахмала (в %)	Сбор крахмала (в ц с 1 га)
$N_{90}P_{60}$ (фон)	164	16,5	27,1
Фон+хлористый калий	206	15,3	31,4
Фон+сернокислый калий	202	16,1	32,6
Фон+азотнокислый калий	204	16,0	32,5
Фон+шенит	211	16,0	33,7
Фон+40 %-ная калийная соль	207	15,0	30,9

тофеля. При недостатке калия поступающие в клубни углеводы очень медленно превращаются в крахмал.

Одной из причин снижения содержания крахмала при внесении повышенного количества хлорсодержащих удобрений является активирование Cl-ионами действия амилаз, которые катализируют гидролитическое расщепление крахмала, в связи с чем содержание крахмала в клубнях остается на низком уровне. Для улучшения качества картофеля важное значение имеет внесение под картофель бесхлорных форм калийных удобрений (табл. 201).

В этих опытах, проведенных на Раменской агрохимической опытной станции на дерново-подзолистых суглинистых почвах с низким содержанием подвижного фосфора и средним содержанием обменного калия, все формы калийных удобрений вносили в нормах по 60 кг K_2O на 1 га. Урожай клубней при внесении всех форм калийных удобрений повышался в равной степени, но хлорсодержащие калийные удобрения значительно снижали содержание крахмала в клубнях. При внесении таких удобрений в более высоких нормах снижение содержания крахмала было еще значительнее. Например, на Брестской областной опытной станции при выращивании картофеля на дерново-подзолистых супесчаных почвах при внесении возрастающих норм калийных удобрений в виде хлористого калия содержание крахмала в клубнях изменялось следующим образом (в %): без удобрений — 16,1; $N_{60}P_{60}$ — 15,1; $N_{60}P_{60}K_{60}$ — 15,0; $N_{60}P_{60}K_{90}$ — 14,1; $N_{60}P_{60}K_{120}$ — 13,5. Таким образом, при внесении повышенных норм калийных удобрений непосредственно под картофель содержание крахмала в клубнях резко падает, клубни становятся более водянистыми, качество их ухудшается. Для ослабления отрицательного действия хлорсодержащих калийных удобрений их необходимо вносить с осени.

Азотные удобрения значительно повышают урожай клубней, но также вызывают некоторое снижение содержания крахмала. В среднем по 21 опыту, проведенному в ГДР, содержание крахмала в клубнях при внесении азота было следующим: без азота — 16,4%; N_{40} — 16,2%; N_{80} — 16,1%; N_{100} — 15,9%. При усилении поступления азота в растения продукты распада углеводов расходуются на связывание аммиака и образование аминокислот и белков, в результате чего содержание углеводов в растениях понижается.

Фосфорные удобрения повышают количество крахмала в клубнях. В многочисленных опытах показано, что под действием фосфора содержание крахмала в клубнях обычно возрастает на 1...2%.

Картофель является важным источником аскорбиновой кислоты (витамина С). Обычно в клубнях содержание этого витамина составляет 15...25 мг%. При внесении под картофель повышенных норм азотных удобрений содержание витамина С в клубнях значительно снижается. В случае же внесения фосфорных и калийных удобрений вредное действие одностороннего азотного удобрения на биосинтез аскорбиновой кислоты устраняется.

Очищенные сырые клубни картофеля на воздухе темнеют. Потемнение мякоти клубней является серьезным фактором, снижающим качество картофеля. Потемнение клубней связано с тем, что под действием кислорода воздуха с участием ферментов происходит окисление аминокислоты тирозина в меланины — вещества темного цвета. Кроме того, многие фенольные соединения с участием железа при окислении также образуют темноокрашенные продукты. При повышенном содержании в клубнях калия (не менее 2...2,5% сухой массы) степень потемнения клубней резко ослабляется. Поэтому для предотвращения потемнения клубней рекомендуется внесение повышенных норм калийных удобрений. Одностороннее внесение высоких норм азотных удобрений усиливает потемнение мякоти клубней картофеля.

Важнейшими химическими соединениями, ради получения которых выращиваются многие растения, являются сахароза и моносахариды. Техническая и кормовая ценность сахарной свеклы и многих овощей определяется прежде всего содержанием в них сахаров. Поэтому при выращивании сахарной свеклы и овощных культур необходимо создавать такие условия, при которых происходит накопление наибольшего количества сахаров. Следует учитывать, что при современных объемах производства повышение сахаристости сахарной свеклы только на 0,1% дает возможность получить дополнительно 80 тыс. т сахара.

Для сахарной свеклы в первую половину вегетационного периода необходимо создавать такие условия, при которых происходит наиболее интенсивное формирование ботвы. Это достигается внесением азотных, фосфорных и калийных удобрений. Во вторую половину вегетационного периода для повышения содержания сахара в корнях более благоприятны условия, при которых уровень азотного питания несколько снижен, а питание фосфором и калием усилено. Повышенный уровень азотного питания во второй период вегетации сахарной свеклы стимулирует рост ботвы и накопление в растениях азотистых соединений, в результате чего содержание сахара в корнях может значительно снижаться. Дж. Кук приводит средние результаты 41 полевого опыта по влиянию повышенных норм азота на сахаристость сахарной свеклы. В этих опытах при внесении 75, 150 и 224 кг азота на 1 га содержание сахара в корнях составило соответственно 16,6; 16,2; 15,8%, а общий сбор сахара — 66,3; 67,0 и 64,9 ц с 1 га. Таким образом, внесение избыточно высоких норм азотных удобрений не только не увеличивает, но даже снижает сбор сахара с единицы площади.

В 264 опытах, проведенных Государственной агрохимической служ-

202. **Влияние фосфорных удобрений на урожай и качество корней сахарной свеклы** (в среднем на 3 года)

Вариант	Урожай (в ц с 1 га)	Сахар (в %)	Сбор сахара (в ц с 1 га)	Азот (в % на сухую массу)		
				общий	белковый	вредный
Без удобрений	207	14,9	29,8	0,83	0,50	0,33
$N_{90}K_{100}$ (фон)	248	14,2	35,2	1,21	0,72	0,49
Фон+P_{120}	473	15,5	73,2	1,02	0,64	0,37
Фон+P_{180}	501	15,7	77,9	1,05	0,69	0,36

бой в основных районах свеклосеяния нашей страны, было показано, что при внесении удобрений в нормах $N_{70}P_{60...80}K_{65...75}$ происходило увеличение содержания сахара в корнях сахарной свеклы по сравнению с контролем на 0,2...0,3%, а сбор сахара с 1 га повышался на 8...18%. Если на том же фоне фосфорно-калийных удобрений нормы азота повышали с 70 до 120 кг на 1 га, то содержание сахара в корнях снижалось на 0,3...0,5%.

Очень часто наибольшее положительное действие на урожай и качество корнеплодов оказывают фосфорные удобрения. В опытах Р. Е. Елешева и Б. С. Басибекова, проведенных на светло-каштановых почвах юга Казахстана со средним содержанием подвижного фосфора и высоким содержанием доступного калия, фосфорные удобрения довольно резко изменяли как урожайность, так и качество урожая сахарной свеклы (табл. 202).

Под действием фосфорных удобрений сахаристость корней повышалась по сравнению с фоном с 14,9 до 15,7%, а сбор сахара возрастал в два раза, до 70 ц с 1 га и более. Кроме того, фосфорные удобрения значительно уменьшают содержание вредного азота в корнеплодах, который снижает выход сахара при переработке свеклы.

Содержание сахаров в большинстве овощных культур в зависимости от вносимых удобрений изменяется в такой же зависимости, как и у сахарной свеклы. Кроме этого, под действием удобрений повышается содержание ряда витаминов в корнях.

Исключительно важное значение имеет повышение качества урожая подсолнечника — основной масличной культуры нашей страны. Достаточно сказать, что увеличение содержания жира в семенах подсолнечника только на 1% при современных объемах производства этой культуры дает возможность дополнительно получить около 60 тыс. т растительного масла.

Жиры в растениях образуются из углеводов, и обычно между содержанием белков и жиров существует обратная зависимость; при большем содержании жира количество белка в семенах уменьшается, и наоборот. Поэтому для повышения содержания жира в семенах необходимо создавать такие условия питания растений, которые способствуют накоплению углеводов и, следовательно, усилению синтеза жиров в семенах и снижению содержания белков.

На повышение масличности семян наибольшее положительное влияние оказывают фосфорные и калийные удобрения. При внесении этих удобрений содержание жира в семенах повышается на 2...4%. Азотные удобрения усиливают интенсивность синтеза белков, в результате чего содержание белков в семенах повышается, а жира снижается. Особенно заметно снижение содержания жира в семенах под действием азотных удобрений при выращивании масличных культур на черноземных почвах и в условиях недостаточного увлажнения.

Действие удобрений на содержание жира в семенах можно видеть из данных опытов с подсолнечником, проведенных в Воронежской области (% жира в ядре): без удобрений — 49,4, мочевина (30 кг азота на 1 га) — 43,8, преципитат (45 кг P_2O_5 на 1 га) — 52,2, калийная соль (45 кг K_2O на 1 га) — 51,6. Аналогичные данные получены в опытах, проведенных в Молдавской ССР, Краснодарском крае и других районах.

Особенно резкое влияние на содержание жира в семенах оказывает азотное и фосфорное питание в период цветения и созревания. Мы указывали, что содержание белка в семенах зерновых культур значительно увеличивается при повышенном уровне азотного питания в период созревания семян. Аналогичное явление наблюдается и у масличных культур. Однако в связи с тем что усиленный синтез белков в растениях понижает содержание углеводов, из которых образуются жиры, количество масла в семенах в этих условиях падает особенно заметно.

Следует отметить, что азотные удобрения, особенно на почвах с низким содержанием азота и в районах достаточного увлажнения, являются необходимыми при выращивании масличных культур. При недостатке азота наблюдается слабый рост растений, недостаточное развитие ассимиляционной поверхности, в результате чего в период созревания в растениях образуется мало углеводов и урожаи обычно получаются низкие с пониженным содержанием жира в семенах.

Наряду с изменением содержания жира в семенах под влиянием удобрений наблюдается изменение качественного состава жира. Это имеет большое значение в связи с тем, что некоторые ненасыщенные жирные кислоты (линолевая, линоленовая, арахидоновая) не могут синтезироваться в организме человека, но они принимают участие в обмене веществ и должны обязательно содержаться в пище. Эти ненасыщенные жирные кислоты относят к витаминам и их комплекс называют витамином F. При большом содержании этих кислот в масле питательная ценность его повышается. Кроме того, большое количество ненасыщенных жирных кислот повышает техническую ценность жира, так как такой жир легче высыхает и из него получают олифу и лак лучшего качества. В подсолнечном масле содержится около 10% насыщенных жирных кислот (пальмитиновой и стеариновой), около 20% олеиновой кислоты и примерно 70% незаменимой линолевой кислоты. Наибольшее влияние на состав жирных кислот в масле подсолнечника оказывают азотные удобрения. В вегетационных опытах Т. А. Панченко на выщелоченном черноземе на фоне РК содержание

жирных кислот в масле семян подсолнечника сорта Передовик изменялось следующим образом (в % от суммы жирных кислот):

	Пальмитиновая	Стеариновая	Олеиновая	Линолевая
$N^{*}_{0,2}$	6,6	1,8	21,2	70,3
$N_{0,4}$	7,7	2,2	21,5	68,1
$N_{0,8}$	5,6	3,3	41,8	49,1

Под действием повышенных доз азота происходило некоторое возрастание содержания насыщенных жирных кислот и резкое увеличение количества олеиновой кислоты в масле с одновременным снижением содержания линолевой кислоты, т. е. качество масла под действием азотных удобрений значительно ухудшается.

Фосфорные и калийные удобрения обычно вызывают некоторое снижение содержания насыщенных жирных кислот и значительное увеличение количества линолевой кислоты, т. е. повышение качества масла. Аналогичные результаты получены и в полевых опытах.

Таким образом, условия, вызывающие понижение содержания жира, приводят и к ухудшению его качества, а при большем содержании жира в семенах его качество, как правило, повышается.

Мы кратко рассмотрели влияние удобрений на содержание основных веществ; белков, углеводов и жиров, которые в значительной степени определяют пищевую, кормовую и техническую ценность сельскохозяйственных продуктов.

Имеются данные, показывающие, что под действием удобрений изменяется содержание в урожае и многих других веществ: витаминов, эфирных масел, алкалоидов, органических кислот. При правильном применении удобрений можно значительно повысить содержание и этих ценных веществ в урожае.

Для получения высококачественных урожаев нельзя дать каких-либо общих рецептов. В каждом отдельном случае для максимального улучшения качества урожая с помощью удобрений необходимо учитывать роль отдельных элементов питания в жизни растений, биологические особенности растений, основные закономерности процессов обмена веществ, свойства удобрений, свойства почвы и другие условия. Иными словами, агроном должен в совершенстве владеть агрохимическими и биохимическими знаниями и умело применять их на практике. Тогда при тех же затратах удобрений величина и качество урожаев сельскохозяйственных культур могут быть резко повышены.

---

* $N_{0,2}$, $N_{0,4}$, $N_{0,8}$ — граммов азота на один сосуд.

Глава XV

ПОЛЕВЫЕ И ВЕГЕТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В АГРОХИМИИ

ПОЛЕВЫЕ ОПЫТЫ В АГРОХИМИИ

Полевой опыт с удобрениями — опыт, проводимый в полевых условиях для определения действия удобрений на урожай сельскохозяйственных культур, его качество, а также на плодородие почвы.

Полевой опыт широко используется в агрохимии и является ведущим методом в изучении действия удобрений, разработке и обосновании рациональных приемов их использования и построения системы применения удобрений в сельском хозяйстве.

С помощью полевого опыта оценивается эффективность различных удобрений в разных почвенно-климатических зонах и при разных агротехнических условиях, устанавливаются наиболее эффективные нормы и сочетания питательных веществ, которые дают наиболее высокие урожаи сельскохозяйственных культур и улучшают их качество, определяются сроки и способы внесения удобрений, изучается сочетание удобрений с другими агротехническими приемами.

Полевые опыты с удобрениями проводятся в естественных (природных) типичных полевых условиях, на специально выделенном участке, их результаты используются для практических целей и внедряются в сельскохозяйственное производство, на основании полевых опытов даются научные обоснования государственных мероприятий по производству минеральных удобрений и поставке их колхозам и совхозам.

Полевые опыты с удобрениями можно классифицировать следующим образом.

Производственный опыт — полевой опыт, дающий возможность установить действие удобрений на урожай и его качество в производственных условиях.

Стационарный опыт — полевой опыт с систематическим внесением удобрений, проводимый на одном участке, в севообороте или при бессменной культуре в течение ряда лет.

Кратковременный опыт — полевой опыт с удобрениями, в котором изучается действие удобрений на урожай и качество сельскохозяйственной культуры в течение 2—3 лет в аналогичных почвенных условиях.

Мелкоделяночный опыт — полевой опыт, проводимый на делянках площадью не более 10 м².

Микрополевой опыт — опыт с удобрениями, проводимый на микро-

делянках в полевых условиях с естественным или насыпным пахотным слоем.

Массовые опыты — полевые опыты с удобрениями, проводимые одновременно по одинаковым схемам во многих пунктах.

Географическая сеть опытов — сеть полевых опытов с удобрениями, проводимых опытными учреждениями в различных географических зонах страны по согласованной программе.

Факториальный опыт — полевой опыт, в котором изучаемые уровни каждого фактора сочетаются со всеми уровнями остальных факторов.

Правильно поставленные полевые опыты, которые дают надежные теоретические и практические выводы для агрономической науки, должны отвечать следующим основным методическим требованиям: 1) соблюдение принципа единственного различия или наличие сравнимости; 2) типичность полевого опыта; 3) точность результатов исследования; 4) достоверность; 5) документация.

Соблюдение принципа единственного различия, или тождества, всех условий, кроме изучаемого, является одним из признаков правильно поставленного опыта.

Однако полное соблюдение данного принципа и формальный подход к соблюдению данного требования могут привести к заведомо неправильным методам сравнения и выводам. Например, действие азотного и фосфорного удобрения на озимых культурах при соблюдении принципа единственного различия следует изучать в одинаковых условиях, т. е. при одном и том же сроке и способе внесения, но такой подход был бы формальным, так как агрономически более правильно каждое удобрение вносить в наиболее оптимальные для него сроки (фосфорные — в основное внесение и в рядки при посеве; азотные — весной в подкормку).

В многолетних, длительных опытах строгое соблюдение неизменности условий агротехники (сорт, приемы обработки, севооборот и т. д.), т. е. принципа единственного различия, приводит к затуханию действия изучаемого приема, поэтому необходимо регулярно (один раз в ротацию) вносить изменения в комплекс сопутствующих неизучаемых условий.

Таким образом, соблюдение принципа единственного различия при разработке схемы, программы и проведении опыта зависит от цели и задачи исследования, степени изученности вопроса и конкретных условий, в которых проводится опыт.

Типичность, или репрезентативность,— важнейшее качество полевого опыта, который должен проводиться прежде всего в типичных для данного региона почвенно-климатических условиях. Также типичными должны быть производственные, агротехнические и организационно-хозяйственные условия. При несоблюдении данного требования результаты полевых опытов нельзя будет использовать из-за несоответствия опыта природным, агротехническим или организационно-хозяйственным условиях. Важным обобщенным критерием уровня агротехники при проведении полевого опыта служит высота урожая, для опытов с удобрениями должен быть повышенный агрофон.

Точность результатов исследования — количественные результаты, получаемые путем учета урожая, являются лишь приближенным выражением истинных результатов, так как при закладке и проведении опытов, учете урожая неизбежны погрешности. Конечно, чем меньше разница между истинным результатом и полученными учетными данными, тем точнее опыт. Причины погрешностей в полевом опыте, искажающие истинные результаты, заключаются прежде всего в неточности измерений и взвешиваний. Одна и та же ошибка, допущенная при измерении или взвешивании на делянке 10 м², будет в 100 раз больше по сравнению с делянкой 1000 м², поэтому чем меньше делянка, тем точнее должны проводиться на ней все работы. Другой существенной причиной погрешности в полевом опыте является невыравненность почвенного плодородия — пестрота участка, которая может быть вызвана наличием почвенных разностей на участке, рельефом и микрорельефом местности, неоднородностью агротехники и другими организационно-хозяйственными вопросами. Погрешности в полевом опыте могут носить и случайный характер: огрехи и просевы при закладке опыта, повреждения, потери в период проведения опыта и уборки урожая.

Точность полевого опыта (относительная ошибка выборочной средней $S_{\bar{x}}\%$) — это обобщенный статистический показатель, который дает количественную характеристику изменчивости результатов опыта, устанавливается математической обработкой результатов полевого опыта с использованием методов вариационной статистики и характеризуется величиной случайной ошибки средней, выраженной в процентах от среднего урожая по всему опыту (или по отдельному его варианту), и определяется по формуле:

$$S_{\bar{x}}\% = \frac{S_{\bar{x}} \cdot 100}{\bar{x}},$$

где $S_{\bar{x}}$ — величина ошибки средней арифметической; $\bar{x}$ — средний урожай.

Требование к точности полевого опыта различно в зависимости от задачи исследования, величины ожидаемого эффекта, ответственности выводов.

Достоверность опыта. Для объективной оценки пригодности результатов опыта для рекомендации сельскохозяйственному производству, установления существенной разницы между изучаемым приемом и контролем необходимо, чтобы опыт отвечал требованию достоверности. Точность и достоверность — два требования к полевому опыту тесно связаны между собой, но не тождественны. Различают два понятия достоверности: а) достоверность опыта по существу и б) достоверность или существенность результатов полевого опыта.

Соответствие полевого опыта поставленным задачам, т. е. логически оправданная, правильно построенная схема и программа опыта, пригодность фона и агротехники, проведение опыта на высоком методическом и техническом уровне обеспечат достоверность опыта по существу.

Математическая обработка результатов исследования укажет на достоверность или существенность результатов полевого опыта, т. е.

на математическую доказанность полученных разниц (прибавок) между сравниваемыми вариантами.

Документация опыта. Важным методическим требованием при проведении полевого опыта является ведение необходимой документации. Достаточно полная и точная документация позволит использовать результаты опыта и внедрять их в сельскохозяйственное производство, а при необходимости даст возможность воспроизвести, повторить эксперимент в близких к проведению опыта условиях. Первичные записи проводятся в дневнике полевых работ и наблюдений, сводные данные по каждому полевому опыту — в журнале полевого опыта.

Выбор участка для закладки полевого опыта

Участок для закладки полевого опыта должен отвечать требованию типичности данного региона. Результаты исследования, полученные на нетипичной для данного хозяйства или района почве, не могут быть внедрены в сельскохозяйственное производство. Почвенный покров опытного участка должен быть по возможности однородным, так как пестрота почвенного покрова в значительной степени повышает ошибку опыта и снижает достоверность его результатов, поэтому перед закладкой опыта необходимо провести почвенное и агрохимическое обследование участка.

При выборе участка для закладки полевого опыта важно знать его историю за последние 3—4 года, он должен засеваться одной культурой, иметь одну агротехнику, особенно однообразными должны быть те агротехнические приемы, которые имеют длительное последействие и существенно изменяют плодородие почвы (известкование, гипсование, применение повышенных норм органических и минеральных удобрений, особенно фосфорных, углубление пахотного слоя), участок должен быть чистым от сорняков (если не стоит задача борьбы с сорной растительностью) и т. д.

Рельеф опытного участка должен быть ровным или с равномерным, односторонним уклоном — 0,01...0,025 (1...2,5 м на 100 м), на котором делянки располагаются вдоль склона, иначе различные варианты попадают в неодинаковые (прежде всего) условия увлажнения. Более крутые склоны для закладки полевых опытов с удобрениями, особенно для многолетних опытов и в опытах с озимыми культурами, недопустимы, так как происходит смыв удобрений под действием весенних вод. Но в опытах с самотечным орошением оптимальные условия увлажнения почвы создаются при уклоне 0,005...0,01, поэтому при закладке таких опытов уклон рельефа обязателен.

При выборе участка для закладки опыта необходимо учитывать и микрорельеф: на участке опыта не должно быть блюдец, западин, бугорков, свальных и развальных борозд. Особенно строгие требования следует предъявлять к микрорельефу участка в опытах с орошением. Нарушают однородность участка и случайные факторы (ямы, траншеи, выброшенный грунт, а также раскорчевки, остатки от скирд и штабелей удобрений и т. д.). Опытный участок должен находиться на рассто-

янии не менее 200...300 м от водоемов и оврагов, на 40...50 м от построек и сплошного леса, на 25...30 м от отдельных деревьев, на 10 м от плотных изгородей. Через опытный участок не должны проходить дороги, от которых участок изолируется 5...10-метровой защитной полосой.

Подготовка участка для закладки опыта

На участке, выделенном под опыт, с целью сглаживания пестроты почвенного плодородия и детального изучения однородности почвы проводят уравнительные и рекогносцировочные посевы с дробным учетом урожая.

Следует различать пестроту почвы, зависящую от природных факторов (рельеф участка, генезис почвы), которую устранить невозможно, и пестроту почвенного плодородия, созданную неодинаковой историей участка (различные удобрения, неодинаковая обработка, разные культуры и т. д.), такая пестрота сглаживается при 2...3-летнем проведении уравнительных посевов. В отличие от хозяйственных уравнительные посевы проводятся на высоком агротехническом уровне. С помощью таких посевов не только сглаживается пестрота почвенного плодородия, но и создается необходимый агрофон для будущего опыта. Последний год проведения уравнительных посевов используется как рекогносцировочный с дробным учетом урожая, которым будут вскрыты наиболее существенные для размещения опыта элементы пестроты почвенного плодородия.

Участок для проведения уравнительных и рекогносцировочного посевов одновременно и однообразно обрабатывают, тщательно, без огрехов засевают чувствительной к изменению почвенного плодородия, но стойкой к неблагоприятным климатическим условиям культурой. Поэтому для рекогносцировочного посева чаще всего высевают яровые зерновые культуры: овес, ячмень, яровую пшеницу. Проведение рекогносцировочного посева — трудоемкая работа, так как учет урожая проводится дробным методом на малых (элементарных) делянках и в короткий срок, поэтому такие посевы проводят в основном при закладке многолетних полевых опытов на стационаре.

Таким образом, на основании почвенного и агрохимического обследования почвы, проведения уравнительного и рекогносцировочного посевов выбирается наиболее однородный по плодородию почв участок, составляется план размещения полевого опыта, определяется расположение вариантов и повторностей, намечается минимальная величина и наиболее эффективная форма делянок с заданной приближенной точностью.

Размещение опыта на участке

После выбора и подготовки участка для закладки полевого опыта с целью уменьшения различий в исходном плодородии почвы необходимо правильно расположить опыт на местности, оптимально разместить делянки, установить их величину и форму, определить повторность опыта. Число вариантов в опыте определяется целью и задачей исследований. С увеличением числа вариантов значительно

возрастает площадь, занятая опытом, следовательно, увеличивается пестрота почвенного плодородия, а точность исследования снижается.

В схеме полевого опыта должно содержаться минимальное количество вариантов, обеспечивающее решение поставленной задачи. Оптимальным следует считать 12...16 вариантов, дальнейшее увеличение их в схеме существенно осложняет методику постановки опыта.

Повторность опыта. Даже при самом тщательном выборе и подготовке участка к закладке полевого опыта невозможно избежать влияния пестроты почвенного плодородия. Чтобы полнее охватить пестроту почвенного плодородия и получить более точные средние урожаи по вариантам опыта, а также установить степень достоверности прибавок сравниваемых вариантов, необходимо одноименные делянки опыта равномерно размещать на территории участка, создавая повторность в пространстве.

Повторение опыта в течение ряда лет (2...3 года для краткосрочных опытов) обеспечит повторность опыта во времени, так как эффективность изучаемого в опытах фактора, его действие и последействие в значительной степени будут определяться метеорологическими условиями.

Средние урожаи, полученные с одинаковых делянок, всегда будут более точными, т. е. ближе к истинным величинам, чем урожаи с отдельных делянок, так как случайные ошибки опыта, вызывающие отклонения величины урожаев одноименных делянок, при наличии повторения будут взаимно погашаться. Повторность в опыте дает представление о пестроте почвенного плодородия и ее влиянии на урожай с одноименных делянок.

Таким образом, повторность опыта в пространстве и во времени дает возможность получить не только надежные и математически достоверные выводы, но и информацию о длительности последействия изучаемого фактора (удобрений), его зависимость от погодных условий.

В опытах с удобрениями повторность одноименных делянок может быть 2...8-кратной и более. С увеличением числа повторных одноименных делянок существенно повышается точность исследования, но значительно осложняется методика проведения опыта, резко возрастают площади под опытом.

В полевых опытах с удобрениями оптимальной является 4-кратная повторность для стационарных опытов, 6...8-кратная для опытов, требующих высокой точности.

Двукратное повторение опыта чаще всего проводится в производственных условиях, когда опыты закладываются на делянках площадью более 1000 м². Однако двукратное повторение не всегда обеспечивает надлежащую точность опыта, так как имеется риск выпадения одной делянки по случайным причинам, выпавший вариант остается без повторения и не представляет научной ценности.

Повторность опыта (n), необходимую при закладке опыта, можно рассчитать по формуле:

$$n = \left(\frac{V}{s_{\bar{x}}}\right)^2,$$

где V — коэффициент вариации, изменчивости; $s_{\bar{x}}$ — относительная ошибка средней.

Коэффициент вариации или изменчивости (V) точнее всего можно установить на основании данных дробного учета урожая, однако, как было сказано выше, рекогносцировочные посевы с дробным учетом урожая проводятся не для каждого полевого опыта. Поэтому для ориентировочного расчета можно использовать данные В. Н. Перегудова, который установил значение коэффициента вариации (V) для делянок 100 м² в среднем около 10% (с колебаниями от 5 до 25%); для делянок площадью 300...500 м² — 5...6%; на окультуренных участках с выровненным рельефом и при тщательно проведенном опыте коэффициент вариации составляет 5...8%.

Таким образом, повторность опыта зависит от пестроты почвенного покрова, от требуемой в зависимости от темы исследования точности опыта, а также от величины опытной делянки.

На опытном участке количество делянок определяется числом вариантов (l) и повторностью (n). Общая площадь, занятая под опыт, будет зависеть от общего числа делянок $N=l\cdot n$ и площади делянки, которая оказывает существенное влияние на точность исследования и зависит от ряда причин, например от пестроты почвенного плодородия. Точность опыта на участках с недостаточно однородным плодородием и плохо выровненным рельефом повышается не за счет увеличения размера делянки, а за счет увеличения повторности, а также за счет выбора более оптимальной формы делянки. Площадь опытной делянки зависит также от биологических особенностей исследуемой культуры. На делянке должно быть достаточное количество растений, перекрывающих индивидуальную изменчивость отдельных растений в развитии. Б. А. Доспехов рекомендует для пропашных культур как минимум 80...100 растений на делянке; другие исследователи рекомендуют минимальное количество растений для картофеля 40...50 растений, для кукурузы 60 учетных растений на делянке, поэтому для культур сплошного сева площадь делянки, как правило, меньше, чем для пропашных культур.

При установлении величины делянки необходимо учитывать и особенности агротехники опытной культуры, густоту стояния растений, ширину междурядий и т. д.

Площадь опытной делянки зависит от длительности опыта. В многолетних полевых опытах размер делянок часто увеличивается в связи с тем, что в период проведения опыта намечается разделение делянок и введение в схему дополнительных вариантов.

Площадь опытной делянки в зависимости от перечисленных выше условий может колебаться от 10 до 1000 м² и более, но оптимальная площадь делянки, по данным многих исследователей, составляет: для растений сплошного сева (зерновые, зерновые бобовые, травы) — 50...100 м²; для пропашных культур (картофель, кукуруза, сахарная свекла) — 100...200 м². Для льна оптимальная площадь делянки, дающая высокую точность опыта, составляет 25...50 м².

Однако определенных нормативов величины делянки для полевого опыта не существует, поэтому при выборе размера делянки необходимо руководствоваться минимальной площадью, которая обеспечивала бы в конкретных условиях необходимую точность опыта и получения досто-

верных результатов, а также нормальную работу сельскохозяйственных орудий, применяемых в опыте.

Следует различать общую, или посевную, площадь делянки и учетную (рис. 38). Определенный вариант опыта размещается на общей площади делянки. Если этот опыт с удобрениями, то в соответствии со схемой опыта вносятся удобрения. Учет урожая проводят с учетной площади делянки. Она меньше общей площади делянки, так как выделяют боковые и торцевые защитные полосы (между двумя смежными делянками выделяют сдвоенную защитную полосу), урожай с них не учитывают. Защитные полосы предохраняют учетную площадь делянки от посторонних влияний и повреждений: например, от нежелательного влияния «соседей» (так в опытах с удобрениями всегда отмечают перенос удобрений с одной делянки на другую при их внесении или при обработке почвы, особенно в многолетних опытах с озимыми культурами) или так называемого краевого влияния, когда боковые (краевые) растения находятся в лучших условиях доступа воздуха, освещения и т. д.

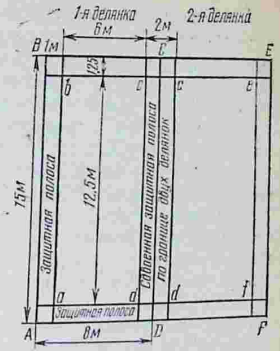


Рис. 38. Схема опытной и учетной площади.

Оптимальная ширина боковых защитных полос для культур сплошного сева 0,5...0,75 м; в многолетних опытах и опытах с озимыми культурами 1...1,5 м; сдвоенная защитная полоса соответственно 1,0...1,5 и 2...3 м. В опытах с пропашными культурами в защитную полосу выделяются один-два рядка с каждой стороны делянки (сдвоенная два — четыре рядка). Торцевые или краевые защитные полосы прежде всего предохраняют учетные площади делянки от случайных повреждений. Ширина их не менее 2...3 м.

Рациональная форма делянки, обеспечивающая высокую точность опыта, может быть установлена на основании данных дробного учета урожая. При отсутствии рекогносцировочного посева с дробным учетом руководствуются следующими соображениями.

Делянка вытянутой формы, особенно если она большой площади, полнее перекрывает пестроту почвенного плодородия, уменьшает вариационный коэффициент и увеличивает точность опыта. Если изменение плодородия участка явно выражено в одном направлении, например закладка опыта проводится на небольшом склоне, то делянки должны быть вытянуты вдоль склона, равномерно охватывая все его элементы, иначе делянки, расположенные на верхней и нижней части склона, будут в совершенно различных условиях (влажность, содержание питательных веществ и т. д.).

Делянки вытянутой формы следует также применять при поделяночной обработке (вспашка, посев, уход, уборка, механизированное

внесение удобрений). Недостатком делянки вытянутой формы является большой ее периметр, а следовательно, отторжение значительной части делянки под защитные полосы и уменьшение ее учетной площади, поэтому вытянутую форму можно использовать только при площади делянки более 50 м², иначе будет слабо устраняться краевой эффект.

При малых размерах делянки (10...20 м²) удобнее делянки квадратной формы, при которой смежные варианты оказывают меньшее влияние на результаты исследований. Повышение точности опыта и снижение коэффициента вариации при этом достигаются увеличением повторностей.

При поделяночном проведении агротехнических работ, а также в опытах с пропашными культурами ширина делянки должна быть кратной ширине рабочих захватов сельскохозяйственных машин, особенно посевных и уборочных, а также кратному числу рядков для пропашной культуры.

Общее расположение полевого опыта зависит от конфигурации и характера участка, рельефа местности, пестроты почвенного покрова. Оптимальная форма общей площади опыта, близкая к квадрату. В этом случае при любом расположении делянок обеспечиваются оптимальное расстояние между вариантами и лучшая их сравнимость.

Делянки опыта, соприкасаясь длинными сторонами, могут располагаться в один, два или несколько рядов. При двухрядном и многорядном расположении делянок в каждом ярусе должно находиться целое число повторений (рис. 39).

Однорядное, или одноярусное, расположение делянок применяется в опытах с небольшим количеством вариантов и повторностей на достаточно выравненном по плодородию почвы участке. При однорядном расположении делянки имеют, как правило, вытянутую форму и располагаются перпендикулярно к длинной стороне участка.

Двух- и многорядное расположение повторностей чаще всего применяется при большом количестве делянок (вариантов и повторностей) и при форме делянок, близкой к квадрату. Однако при таком расположении недопустимо территориальное сближение одноименных делянок как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении.

Кроме компактного расположения повторностей на одном участке, они могут располагаться разбросанно, т. е. в разных частях поля или даже на различных полях севооборота.

Расположение вариантов внутри повторений может носить систематический и случайный (рендомизированный) характер.

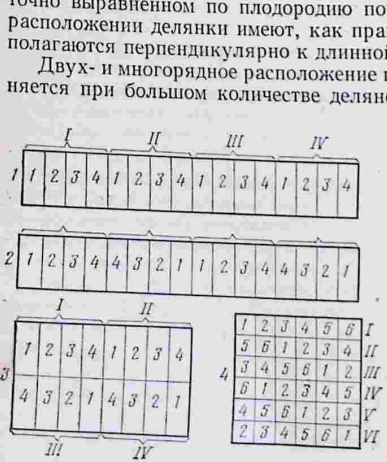


Рис. 39. Систематическое расположение вариантов в опыте.

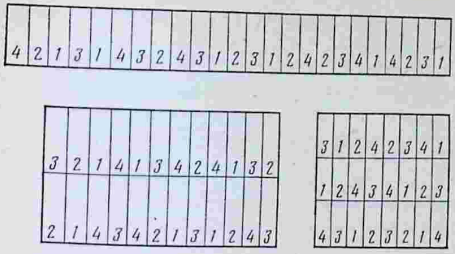


Рис. 40. Рендомизированное размещение блоков (повторений).

При систематическом расположении вариантов порядок следования делянок в каждом повторении подчиняется определенной системе, например последовательное, при однорядном расположении делянок в опыте. Если расположение опыта многорядное (многоярусное), то варианты одноименных делянок могут располагаться ступенчато, смещаясь на одну или несколько делянок в каждом ярусе, это так называемое шахматное расположение.

При рендомизированном расположении варианты размещаются случайно, по жребию или по специальным таблицам случайных чисел как при однорядном, так и при многорядном расположении повторностей (рис. 40).

Многие исследователи считают, что рендомизированное размещение вариантов в опыте полнее охватывает пестроту почвенного плодородия и дает объективную информацию с использованием наиболее обоснованной систематической обработки результатов опыта, так как все методы вариационного анализа основаны на принципе случайного отбора.

Контрольные варианты в опыте, как и любой варьирующий фактор, располагаются внутри повторения по методу рендомизации или систематическим методом. При этом количество делянок с контрольным вариантом равно количеству делянок любого другого варианта. Однако для выявления степени пестроты почвенного покрова, получения более точных и достоверных данных предложено вводить в схему опыта дополнительные контрольные варианты (стандарты). При таком методе в повторении опыта количество контрольных вариантов повторяется большее число раз, чем остальных вариантов. Данный метод называют стандартным методом расположения вариантов.

В настоящее время стандартный метод расположения делянок в опыте применяется редко, так как он трудоемок: вследствие дополнительных контрольных вариантов общая площадь, занятая опытом, возрастает на 40...50%. На достаточно хорошо выравненном по плодородию почвы участке стандартный метод по сравнению с систематическим и рендомизированным преимуществ не имеет.

Построение схем опытов с удобрениями

Схема полевого опыта и его программа определяются темой исследований (в опытах с удобрениями это виды, формы, нормы, сроки и способы внесения удобрений, соотношения питательных веществ и т. д.), т. е. конкретной задачей, которую необходимо решить постановкой данного полевого опыта. Схема опыта представляет собой совокупность вариантов, в основе которой лежит принцип единственного различия, т. е. в схеме варьирует изучаемый фактор, все остальные условия (так называемый фон) должны быть идентичны.

Варианты опыта, с которыми сравнивается эффективность изучаемого фактора, называются контрольными, а, например, контроль без удобрений — чистым контролем.

При составлении схемы опыта важно определить фон, т. е. те тождественные условия жизни растений, при которых будет проводиться опыт, а также правильно подобрать опытное растение, которое было бы чувствительно к изучаемому приему, а изучаемый прием было бы возможно шире использовать при возделывании данной культуры. При составлении схемы опыта необходимое число вариантов должно быть таким, чтобы получить достаточно полный и четкий ответ на изучаемый вопрос.

Виды удобрений. Примером простейшей схемы опыта с удобрениями является схема, состоящая из двух вариантов: 1) контроль (без удобрения), 2) вариант с удобрением. В опытах с видами удобрений контрольными вариантами могут быть чистый контроль или фон или чистый контроль и фон.

При определении действия отдельных видов удобрений, например азотных, фосфорных и калийных, недостаточно иметь схему, состоящую из четырех вариантов, т. е. 1—0, 2—N, 3—P, 4—K, так как эффективность действия удобрений часто обусловлена совместным их применением или так называемым двойным минимумом и схема будет такова: 1—0, 2—N, 3—P, 4—K, 5—NP, 6—NK, 7—PK, 8—NPK. Эта восьмерная схема, построенная на принципе ортогональности, представляет все возможные сочетания из трех видов удобрений и дает полный и достоверный ответ об эффективности удобрений, если будут использованы все способы сравнения.

При введении в восьмерную схему четвертого удобрения число вариантов удваивается и целесообразность такой схемы будет только в том случае, если ожидается высокая эффективность четвертого удобрения, например извести. Восьмерная схема в этом случае будет накладываться по известкованному и неизвесткованному фону и состоять из 16 вариантов. В других опытах четвертый вид удобрения (менее эффективный, чем известь) можно изучить по оптимальному варианту, например по NPK в восьмерной схеме, и таким образом схема будет состоять из 9 вариантов.

Недостатком ортогональной восьмерной схемы является ее громоздкость, поэтому в некоторых случаях ее сокращают. Первый путь сокращения восьмерной схемы — изучение не трех видов удобрения, а меньше. Например, при изучении только азотного удобрения схема

упрощается и будет состоять из четырех вариантов: 1—0, 2—N, 3—PK, 4 — NPK. При такой схеме возможно ввести варианты с дозами азотного удобрения N_2, N_3 и т. д., схема будет выглядеть следующим образом: 1 — О, 2 — N, 3 — PK, 4 — PKN_1, 5 — PKN_2, 6 — PKN_3. Второй путь сокращения восьмерной схемы возможен при условии отсутствия необходимости раздельного изучения азотного, фосфорного или калийного удобрения. Схема опыта при этом будет 5-вариантной: 1 — О, 2 — NP, 3 — NK, 4 — PK, 5 — NPK. При исключении варианта без удобрений схема будет 4-вариантной. Однако подобное исключение нежелательно, так как контрольный вариант необходим для понимания результатов опыта.

Восьмерная схема сокращается также в том случае, если известен порядок минимума элементов питания. Например, если на основании агрохимического обследования установлено, что на дерново-подзолистой почве в первом минимуме содержится азот, а во втором — фосфор, то действие фосфора и калия следует изучать на фоне азота, а эффективность калия — на фоне азотных и фосфорных удобрений. Или если известно, что почва на торфяниках и клеверищах содержит повышенное количество азота, то восьмерная схема может быть сокращена и представлена следующими вариантами: 1 — 0, 2 — P, 3 — NK, 4 — PK, 5 — NPK. В районах с высоким содержанием калия в почве эффективность удобрений следует изучать по схеме: 1 — 0, 2 — N, 3 — P, 4 — NP, 5 — NPK.

Формы удобрений. Полевые опыты с формами удобрений требуют высокой точности, тщательности выбора однородного участка и правильного подбора фона. Так, при изучении форм азотных удобрений необходимо прежде всего установить нуждаемость растений в азоте на данном участке, а затем изучать эффективность форм азотных удобрений. Если известно, что изменения урожая (прибавки), ожидаемые в зависимости от формы удобрений, будут выражаться небольшими величинами, то, чтобы получить достоверные результаты исследований, следует опыты проводить с высокой точностью.

В опытах с формами удобрений контрольными являются варианты: 1) без удобрений, 2) фон. В опытах с новой формой (видом) удобрений контрольным будет еще и третий вариант: фон + стандартное удобрение в одной или нескольких дозах. Это позволит определить степень чувствительности опытного растения к изменению в удобрениях количества усвояемого питательного вещества.

В опытах с новыми формами удобрений А. В. Соколовым предложена следующая схема: 1) без удобрений (контроль); 2) основное удобрение — фон (контроль); 3) основное удобрение + $^1/_2$ дозы стандартного удобрения; 4) основное удобрение + $^3/_4$ дозы стандартного удобрения; 5) основное удобрение + полная доза стандартного удобрения; 6) основное удобрение + полная доза первого исследуемого удобрения; 7) основное удобрение + полная доза второго испытуемого удобрения и т. д.

Формы азотных удобрений, учитывая их физиологическую кислотность и щелочность, следует изучать на двух фонах: известкованном и неизвесткованном.

При изучении эффективности форм удобрений необходимо правильно установить дозу их внесения, так как при высоких дозах происходит сглаживание разниц между испытываемыми формами удобрений. А. В. Соколовым и Ф. А. Юдиным предложены следующие схемы полевых опытов по изучению действия концентрированных и сложных удобрений.

Схема опытов со сложными удобрениями

1) без удобрения или фон;
2) сложное удобрение;
3) эквивалентные количества односторонних стандартных удобрений;
4) сложное удобрение + одностороннее стандартное удобрение для получения нормальных доз питательных веществ;
5) одностороннее стандартное удобрение в нормальных дозах.

Схема опытов с концентрированными удобрениями*

1) контроль (без удобрений);
2) NPK (смесь простых удобрений: аммиачная селитра, суперфосфат простой, хлористый калий);
3) NPK (смесь концентрированных удобрений: мочевина, суперфосфат двойной, хлористый калий);
4) аммофос + NK (смесь простых удобрений);
5) двойной суперфосфат + NK (смесь простых удобрений).

Эти схемы позволяют определить эффективность сложных и концентрированных удобрений в сравнении с простыми односторонними удобрениями, а также установить целесообразное соотношение питательных веществ в сложных удобрениях применительно к культуре и почвенным условиям.

Норма удобрения. В опытах по изучению норм удобрений важно установить интервал между нормами. Интервал должен быть достаточно велик, чтобы прибавки урожая от соседних норм (а их достаточно 3...4) различались на величину, превосходящую ошибку опыта, т. е. результаты исследования должны быть вполне достоверны. Контрольными вариантами в опытах с нормами являются варианты без удобрений или правильно выбранный оптимальный фон, с помощью которых возможно установить абсолютную прибавку урожая, даваемую данной нормой удобрения, и получить кривую изменения урожаев при возрастании норм удобрений.

Схема опыта с нормами удобрений может быть следующей: 1) фон (PK); 2) фон + $^1/_2$ нормы; 3) фон — N 1 норма; 4) фон + N $1^1/_2$ нормы; 5) фон + N 3 нормы.

На основании опытов можно установить, какая норма дает наибольший урожай и при какой норме получена максимальная оплата урожая, а также какая норма наиболее хозяйственно выгодна.

Оптимальная норма удобрения — величина относительная, зависящая от многих причин. Так, например, оптимальная норма азота при поливе будет одна, без полива — другая и т. д. Следовательно, эффективность норм удобрений в значительной степени определяется фоном. Поэтому, естественно, опыты с нормами удобрений переходят

---

* В схеме дозы азота, фосфора, калия эквивалентны второму варианту.

в опыты по изучению соотношения питательных веществ в конкретных условиях.

Изучение норм и соотношений питательных веществ в полевых опытах по ортогональной схеме, т. е. когда в каждом их повторении представлены все варианты схемы, а каждый вариант размещается во всех повторениях, привело бы к большой детализации (64...72 варианта), поэтому оптимальное соотношение, например N : P или N : P : K, лучше изучать по схеме, построенной по методу блоков или звеньев, предложенной А. В. Соколовым:

А	Б	В
1. Контроль (без удобрений)	1. Контроль (без удобрений)	1. Контроль (без удобрений)
2. $P_{90}K_{90}$	2. $N_{90}K_{90}$	2. $N_{90}P_{90}$
3. $P_{90}K_{90}+N_{60}$	3. $N_{90}K_{90}+P_{60}$	3. $N_{90}P_{90}+K_{60}$
4. $P_{90}K_{90}+N_{90}$	4. $N_{90}K_{90}+P_{90}$	4. $N_{90}P_{90}+K_{90}$
5. $P_{90}K_{90}+N_{120}$	5. $N_{90}K_{90}+P_{120}$	5. $N_{90}P_{90}+K_{120}$
	6. $N_{90}K_{90}+P_{180}$	

Таким образом, на основании полевых опытов возможно установить оптимальные нормы и соотношения питательных веществ, уточнить критические показатели лабораторных методов определения подвижных форм питательных веществ в зависимости от конкретных почвенных и хозяйственных условий, а также изучить потребности различных сельскохозяйственных культур в элементах питания.

Техника внесения удобрений. Оптимальные сроки и способы внесения удобрений оказывают существенное влияние на повышение эффективности удобрений. Контрольными вариантами в опытах со способами внесения удобрений являются: 1) без удобрений или фон; 2) с удобрениями, внесенными стандартным способом.

Сравнение с первым вариантом показывает на действие в данных условиях, а со вторым определяет эффективность нового способа внесения удобрений. В опытах по изучению новых способов внесения удобрений необходимо также включать контрольные варианты (без удобрений), но с дополнительной обработкой почвы, связанной с заделкой удобрения новым способом.

Общая норма всех элементов питания при изучении техники внесения удобрений должна оставаться одинаковой независимо от вариантов опыта (кроме вариантов без удобрения). Если к общей годовой норме, например, добавляется N в подкормку, то необходимо в схеме предусмотреть вариант с внесением N в подкормку, но без дополнительного увеличения общей нормы. Нормы удобрений для каждого способа должны быть оптимальными, так как некоторые способы внесения удобрений эффективны только при определенной дозе их внесения (например, местные способы внесения удобрений).

Схемы комплексных, или многофакторных, опытов. В комплексных, или многофакторных, опытах изучается действие разных удобрений в различных нормах, а также действие удобрений в сочетании с другими агротехническими приемами (нормы полива, сорта растений, способы обработки, различное чередование культур в севообороте и т. д.).

В результате совместного действия изучаемых в опыте приемов вскрываются дополнительные эффекты, которые получаются при взаимодействии двух или нескольких исследуемых в опыте факторов. Контрольными вариантами в многофакторных опытах являются варианты без удобрений на всех агротехнических фонах и все варианты с изучаемым удобрением на одном из фонов, принятом за стандарт.

Построение схемы многофакторных опытов может осуществляться по принципу ортогональности, т. е. по полному факториальному эксперименту, в котором, например, каждая доза одного из факторов сочетается со всеми дозами остальных, т. е. осуществляются все возможные сочетания испытуемых доз факторов.

Примером многофакторного опыта может служить классическая восьмерная схема, где три фактора N, P, K изучаются в двух дозах: 0 и 1. Схему такого опыта можно представить формулой $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$; если изучаются три фактора в трех дозах, то такую схему изображают формулой $3 \cdot 3 \cdot 3$, которая будет состоять из 27 вариантов; если взять четыре дозы $4 \cdot 4 \cdot 4$, то количество вариантов возрастает до 64, а при 5 — $5 \cdot 5 \cdot 5$ до 125, т. е. с увеличением доз количество вариантов прогрессивно возрастает. Проведение полевого опыта с таким количеством вариантов становится невозможным, поэтому схему многофакторного опыта можно построить по принципу выборок или синтетического опыта, который является сокращенным вариантом многофакторного опыта, равномерно охватывающим всю область взятых для изучения возрастающих норм удобрений, однако подобное нарушение ортогональности опыта приводит к уменьшению достоверности выводов.

В многофакторном опыте для обозначения вариантов применяется специальная символика; так, в опытах с удобрениями символы N, P, K не записываются, а на их месте ставятся цифры, указывающие дозы в условных единицах. Например, вариант NP_3K_2 (1—3—2 — нормы удобрений) будет записан — 132, а вариант $N_3P_4K_2$ — 342 и т. д.

Лаборатория методов изучения и прогнозирования эффективности удобрений ВИУА для повышения точности исследования предлагает блокировку вариантов внутри повторений. Например, схема опытов $3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$ будет размещена по трем блокам:

Блок 1	102	012	210	111	120	201	000	222	021
Блок 2	101	002	122	110	011	020	212	221	200
Блок 3	220	211	010	121	202	112	100	001	022

Эти блоки различаются по составу вошедших в них вариантов, но однородны в пределах эффектов трех факторов и их парных взаимодействий. Сумма доз каждого фактора во всех блоках также одинакова. Блокировка в зависимости от конструкций схемы опыта может проводиться в одном или двух направлениях, а это, в свою очередь, позволяет учесть пестроту почвенного плодородия как в одном, так и в двух направлениях (в горизонтальном — блоки строки, в вертикальном — блоки-столбцы).

Программа исследований в полевом опыте

Наряду с составлением схемы опыта важное значение имеет разработка программы опыта, которая должна включать агротехнические вопросы (техника закладки опыта, расчет норм удобрений, время и способ их внесения, посев, уход за опытом и т. д.), а также сопутствующие наблюдения и исследования, как качественные (визуальные), так и количественные (фенологические, метеорологические, фитопатологические и энтомологические наблюдения, изучение почвенно-агрохимических условий, сопутствующие анализы растений и почвы, методы и элементы учета урожая и т. д.).

В содержание программы исследования включают подробное описание всех условий проведения опыта, имеющих важное значение для решения поставленной на изучение задачи и получения точных и достоверных выводов.

В полевых опытах с удобрениями в программе в зависимости от темы и задачи исследования опытной культуры и других условий необходимы наблюдения и исследования за условиями питания растений, позволяющими оценить влияние изучаемого фактора на поступление и вынос основных питательных элементов: N, P_2O_5, K_2O, CaO, MgO, B, Cu, Mo, Mn, Sn, Co и т. д., а также определить влияние изучаемого приема на создание урожая и его качество (содержание белка, жира, сахара, крахмала, витаминов и т. д.).

Отбор и исследования растительных образцов проводят как в динамике, т. е. в течение вегетационного периода, так и в конечном урожае, данные анализа используют для определения темпов накопления массы урожая, установления биологического и хозяйственного выноса питательных веществ.

Отбор растительных проб проводят в основные фазы развития сельскохозяйственных культур или по календарным срокам (например, декадам) с определенной площади или по числу растений (для редко стоящих культур).

Почвенные образцы отбирают перед закладкой полевого опыта, и на основании данных анализа дается агрохимическая характеристика опытного участка и выбирается оптимальный срок для проведения опыта. Почвенные образцы отбирают также и во время проведения опыта для изучения влияния варьирующего фактора на агрохимические и агрофизические свойства почвы.

Для устранения систематических ошибок и для обеспечения представительности отбираемой выборки взятие почвенных образцов следует проводить методом рендомизации, который, как отмечает Б. А. Доспехов, «устраняет смещение оценки, значительно улучшает качество информации, позволяет экспериментатору более надежно использовать статистические методы обработки данных».

Количество индивидуальных почвенных проб для смешанного образца с одной опытной делянки зависит от степени варьирования основных объектов наблюдения в конкретных условиях. Кафедра земледелия и методики опытного дела ТСХА рекомендует для смешанного образца отбирать с одной делянки 6...8 почвенных проб с делянки площадью

менее 100 м²; на делянке площадью 100...200 м² — 8...12 проб, а если площадь делянок больше 200 м², число проб рекомендуют увеличивать до 15...20. Почвенные образцы отбираются буром и, как правило, на глубину пахотного слоя. Однако в зависимости от цели и задачи исследования индивидуальные почвенные образцы отбирают из различных горизонтов почвенного профиля. Почвенные разрезы следует выносить за пределы территории опытного участка.

Закладка и проведение полевого опыта с удобрениями

Соблюдение методических условий при закладке и проведении полевого эксперимента является важнейшим условием получения точных результатов, необходимых для объективной оценки изучаемого в опыте фактора.

После подготовки участка к закладке полевого опыта составляется план, на который наносят повторности и варианты, указывают их расположение, выбранную форму и размер делянки (общей, или посевной, и учетной). Две смежные делянки со сдвоенной защитной полосой вычерчиваются в более крупном масштабе с указанием краевых и боковых защиток.

Определяют и заносят в дневник общую площадь, занятую опытом, с защитной полосой вокруг опыта.

Границу опыта надежно фиксируют с точным указанием на плане и с записью в дневник размеров привязки опыта к постоянному реперу или фиксированному определенному ориентиру.

Схематический план опыта с точным соблюдением всех требований методики опытного дела переносят в натуру и проводят разбивку опыта. С этой целью провешивают длинную сторону опытного участка с использованием 5...10 вешек длиной 1,5...2 м. Вешки должны быть прямыми, выкрашенными в красный цвет или полосами для лучшей видимости. Для отбивки длинных сторон участка удобно также использовать шнур. С помощью угломерных инструментов (зеркального эккера, теодолита и др.) к длинной стороне участка восстанавливают перпендикуляр и отбивают короткую сторону.

Аналогично первой стороне провешивают вторую длинную сторону.

Размеры противоположных сторон опытного участка при правильно отбитом прямом угле равны между собой. Невязка для общего контура не должна превышать 5...10 см на 100 м длины, в противном случае (>10 см) разбивку опыта необходимо повторить.

По длинной стороне участка стальной мерной лентой или рулеткой откладывают ширину опытной делянки и фиксируют небольшим рабочим колышком (высотой 25...30 см, диаметром 3...4 см), таких колышек требуется на 10...15 шт. больше удвоенного числа делянок опыта. Колышки ставят возле отметки мерной ленты. Границы повторностей фиксируют двумя колышками. Все надписи на рабочих колышках размещают на стороне, обращенной внутрь соответствующей делянки. Делянки должны быть строго прямоугольной формы.

После разбивки опыта фиксируют его основные границы, т. е. осуществляют привязку полевого опыта к местности, так как рабочие колышки во время заделки удобрений (вспашка, культивация и т. д.) убирают, а без фиксации границ невозможно восстановить полевой опыт в натуре. При проведении привязки основные линии полевого опыта (не менее двух) выводятся за пределы обрабатываемой площади участка, в конце их устанавливают постоянные реперы. Расстояние между ориентиром (репером) и углом опытного участка замеряют, записывают в дневник и наносят на схематический план полевого опыта, чтобы при необходимости можно было восстановить границы опыта.

Учетные площади делянок и защитные полосы между ними для культур сплошного сева (зерновые, зерновые бобовые, лен, травы) удобнее отбивать по всходам. С этой целью вдоль длинной стороны посевной делянки на расстоянии 0,5...1 м от края натягивают шнур и с внешней стороны от учетной площади делянки пробивают дорожки шириной 15...20 см. Аналогичным образом на расстоянии 2...3 м отбивают торцевые защитки.

Защитные полосы для пропашных культур не отбивают, а выделяют их в период уборки урожая, оставляя 1...2 рядка с краев и 2...4 между смежными делянками, с которых урожай культуры не учитывают.

При закладке полевого опыта важнейшим моментом являются расчеты доз удобрений и внесение их на делянки опыта. От правильности и аккуратности проведения данной работы зависит надежность исследования, так как устранить ошибки, допущенные при расчетах и закладке опыта, а часто и вскрыть их бывает невозможно.

Согласно схеме опыта, минеральные удобрения рассчитывают по содержанию в них основного питательного вещества (N, P_2O_5 и K_2O) в килограммах на делянку по формуле:

$$X = \frac{a \cdot c}{100 \cdot b},$$

где X — количество удобрений на делянку (в кг); a — доза питательного вещества данного удобрения (в кг на 1 га); b — содержание действующего вещества в удобрении (в %); c — площадь опытной делянки (в м²).

Навески менее 1 кг отвешивают с точностью до 1 г; от 1 до 10 кг — с точностью до 10 г, а навески свыше 10 кг следует отвешивать с точностью до 100 г.

Все удобрения перед развешиванием должны быть тщательно размельчены и просеяны. Отвешивание удобрений проводят как в лабораторных, так и в полевых условиях. Затем, согласно схеме внесения удобрений, проводят рассев удобрений туковыми, комбинированными сеялками или вручную. Если на делянку предстоит внести несколько видов удобрений, то, соблюдая правила смешивания, можно вносить удобрения как в смешанном виде, так и раздельно. Рассев проводят в тихую, безветренную погоду, равномерно распределяют удобрения на посевной площади делянки. Посев и посадка на опытном участке проводятся высококачественным посевным материалом одновременно (в один день) на всех повторностях опыта. Разрыв в сроках сева ранних

яровых культур в 4...6 ч приводит к снижению урожая на 1...2 ц с гектара.

Норму высева семян правильнее устанавливать по числу семян, а не по массе, так как семенной материал в разные годы проведения опыта может быть разной крупности, а следовательно, на делянке может быть различная густота стояния растений.

Направление рядков культуры сплошного сева должно идти поперек делянок, вдоль длинной стороны опыта. Пропашные культуры сажают, как правило, вдоль длинной стороны опытной делянки с соблюдением кратности рядков или кратности прохода посевного орудия по ширине делянки. Однако и для пропашной культуры (если позволяет схема) лучше рядки располагать перпендикулярно к длинным сторонам делянки, т. е. вдоль длинной стороны опыта.

Уход за растениями в вегетационный период на опытном участке проводится тот же самый, что и в хозяйственных условиях, но все работы по уходу за растениями следует проводить тщательно и одновременно на всех повторностях.

Все агротехнические работы, связанные с закладкой, уходом и проведением опыта (кроме изучаемого фактора), должны проводиться одновременно, высококачественно, на оптимальном для данного опыта агротехническом фоне. Нарушение важнейших принципов единственного различия, типичности может привести к утрате достоверности опыта по существу.

К специальным работам по уходу на опытном участке относится (после появления всходов на культурах сплошного сева) отбивка защитных полос и учетных площадей делянок, обрезка концов опытных полей и расстановка этикеток с наименованием опыта и этикеток меньшего размера с номером делянки и наименованием варианта.

За 2...3 дня до уборки урожая восстанавливают границы учетных делянок, проводят тщательный осмотр каждой делянки полевого опыта и при необходимости делают выключки, которые замеряют, наносят на план и их площадь записывают в дневник. Под выключкой понимают часть учетной делянки, исключенной из учета вследствие случайных повреждений или ошибок, допущенных во время работы. Выключки необходимо делать для того, чтобы в учет поступил совершенно типичный для данного варианта урожай, который объективно отражал бы действие изучаемого фактора.

Площадь выключки не должна превышать 50% учетной площади делянки, в противном случае бракуется вся делянка. При уборке урожая прежде всего убирают защитные полосы и выключки, урожай с которых вывозят без учета с опытного участка, а затем приступают к уборке и учету урожая.

В методике опытного дела существует два основных способа учета урожая: прямой и косвенный. Прямым методом, или методом сплошного учета, убирают и взвешивают урожай со всей учетной площади делянки. В настоящее время широкое распространение получил способ уборки зерновых культур сплошным методом с использованием малогабаритного самоходного комбайна. При его использовании ширина учетной делянки должна быть кратной ширине захвата рабочего органа

203. Форма записи при сплошном методе учета

Номер делянки	Вариант опыта	Учетная площадь делянки (в м²)	Урожай с делянки (в кг)			Урожай (в ц с 1 га)		
			общей массы	зерна	соломы	общей массы	зерна	соломы

комбайна, а делянка лучше вытянутой формы. Если уборка зерновых культур проводится иным методом (серпами или косой с грабельками), то самоходный комбайн можно использовать при обмолоте снопов, соблюдая оптимальный режим работы и необходимую продолжительность работы комбайна вхолостую между уборкой двух делянок (3...4 мин). Пробы зерна отбирают для определения влажности и пересчета урожая зерна на стандартную 14%-ную влажность. Сплошным методом учета убирают пропашные культуры. Если клубни или корнеплоды загрязнены, вводится поправка на загрязненность.

При использовании косвенного метода учета урожая (по пробному снопу) урожай с учетной площади делянки убирают полностью и определяют общую сырую массу, как и при сплошном методе учета урожая. Затем с каждой учетной делянки отбирают два пробных снопа (зерновых, зерновых бобовых культур, трав) массой 4...5 кг, для льна до 15 кг, которые высушивают, обмолачивают и определяют общую массу и массу зерна (зерновые и зерновые бобовые культуры).

Все результаты учета урожая как при сплошном методе учета, так и по пробному снопу записывают в дневник полевого опыта, проводят первичную обработку цифрового материала (табл. 203, 204).

При уборке урожая с каждого варианта опыта отбирают образцы как основной, так и побочной продукции для определения его качества.

Все другие применяемые методы учета урожая (по пробным площадкам, по отдельным растениям) ведут к сокращению учетной площади делянки, дают приближенные, грубые результаты, снижают точность исследования и непригодны в опытном деле.

204. Форма записи при учете урожая по пробному снопу

Номер делянки	Вариант опыта	Учетная площадь делянки (в м²)	Урожай сырой массы (в кг)		Отношение урожая со всей делянки к массе пробного снопа	Масса сухого пробного снопа (в кг)			Урожай с делянки (в кг)			Урожай (в ц с 1 га)		
			со всей делянки	пробного снопа		общей массы	зерна	соломы	общей массы	зерна	соломы	общей массы	зерна	соломы

Производственный опыт и учет эффективности средств химизации в хозяйственных условиях

Во многих колхозах и совхозах для широкого внедрения достижений науки и передового опыта в сельскохозяйственное производство проводятся комплексные научно-производственные исследования. В их задачу входит предварительное испытание рекомендуемых научно-исследовательскими учреждениями новых приемов и методов повышения урожайности сельскохозяйственных культур, эффективность которых в значительной степени зависит от конкретных природных и организационно-хозяйственных условий.

Производственный опыт в условиях хозяйства позволяет выяснить, как наиболее целесообразно и полно использовать научные достижения и открытия и более успешно внедрять их в сельскохозяйственное производство, а также определить наряду с наиболее оптимальными агротехническими приемами и экономическую эффективность.

Для получения объективных данных необходимо, чтобы производственный метод отвечал основным методическим требованиям, предъявляемым к полевому опыту. Нарушение методики опытного дела может помешать объективному выяснению вопроса об эффективности изучаемого приема. В организации и проведении производственных опытов имеются методические особенности, которые определяются характером и задачей исследования, природными и организационно-хозяйственными условиями, материально-технической базой, видом опыта и т. д. В связи с этим единой, общепринятой методики для производственных опытов нет, она должна быть конкретна и специфична для каждого хозяйства.

При закладке производственного опыта нецелесообразно, например, включать в схему большое количество вариантов (более 4...5) и повторностей (более 3...4). Очень важно программой опыта предусмотреть и обеспечить максимальную механизацию всех процессов, связанных с закладкой опыта, его проведением и уборкой урожая, с тем, чтобы все операции проводились одновременно, в запланированные сроки.

Некоторые авторы рекомендуют проведение производственных опытов преимущественно на больших площадях (до 10...20 га и более), однако подобное увеличение размеров опытных участков не всегда оправдано и порой приводит к серьезным методическим погрешностям. Это объясняется тем, что варианты опыта, занимающие большие площади, могут быть размещены на различных почвенных разностях, что ведет к нарушению основного методического требования — принципа единственного различия. Поэтому информация о действии изучаемого фактора будет искажена, а следовательно, выводы, сделанные на основании таких опытов, могут быть ошибочными. Кроме того, производственные опыты на больших площадях трудоемки, поэтому в выборе размера площади для производственного опыта не должно быть шаблона и площадь, занятая производственным опытом, всегда должна быть оптимальной для каждого конкретного случая, а его программа должна включать минимум необходимых наблюдений и исследований.

Следующий этап опытных работ в производстве — учет эффективности средств химизации в хозяйственных условиях. С этой целью при внедрении нового приема (вида удобрения, норм, сроков или способов их внесения и т. д.) в массовое сельскохозяйственное производство, которое, как правило, проводят на больших площадях, в севооборотах колхозов и совхозов, в хозяйственных посевах оставляют 3...4 неудобренные полосы, которые являются контрольными или учетными. Урожай с них сравнивается с урожаем удобренного поля, где внедряется новый агротехнический прием.

В некоторых руководствах даются рекомендации располагать контрольные полосы ближе к краям поля или к дорогам и сравнивать урожаи контрольной полосы с урожаем всего удобренного поля. Однако это методически неверно, так как, во-первых, недопустимо неравноточное сравнение (разные по площади удобренное поле и неудобренная полоса), а во-вторых, растения контрольной полосы, расположенные ближе к краю поля или дороге, как правило, имеют иные условия развития, чем растения на середине поля. Поэтому контрольные полосы следует равномерно располагать на типичных участках поля, охватывающих все разнообразие земельного массива, через все поле, вдоль направления движения туковых сеялок и уборочных машин, отступая от края поля 20...30 м. Площадь контрольной полосы не должна превышать 0,1...0,25 га, и складывается она из кратного числа проходов уборочных машин (но не менее двух проходов) и длины гона. Боковые стороны учетной полосы провешиваются, а границы надежно фиксируются, с тем чтобы при учете урожая не допустить погрешностей.

Перед уборкой урожая рядом с контрольной полосой (иногда с двух сторон от контрольной полосы) выделяют удобренные полосы, которые должны проходить также через все поле параллельно контрольной полосе. Количество контрольных и удобренных полос, их площади должны быть строго одинаковыми, а уборка урожая на них должна проводиться одновременно.

Учет урожая на контрольных и удобренных полосах проводится прямым методом или по методу пробного снопа. Вначале, как и при уборке урожая в стационарном опыте, убирают защитные полосы.

205. Форма записи при учете агротехнических мероприятий в хозяйственных условиях (по Б. А. Доспехову)

Название агроприема	Бункерный урожай зерна					Засоренность зерна (в %)	Влажность зерна (в %)	Урожай зерна при стандартной влажности (в ц с 1 га)
	первая полоса	вторая полоса	первая полоса	вторая полоса	в среднем			
	в кг на учетную полосу 800 м²		в ц с 1 га					
Без удобрений	96,0	144,0	12,0	18,0	15,0	5,5	15,5	14,4
Удобрено	131,3	189,7	16,4	23,7	20,0	3,8	16,0	18,8

При уборке урожая с контрольных и удобренных полос отбирают растительные образцы для агрохимического анализа.

Для объективной оценки результатов учета эффективности средств химизации проводится математическая обработка полученных данных, дается точная агротехническая и экономическая оценка эффективности внедренного приема в конкретных условиях колхоза или совхоза.

ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ

Вегетационный опыт с удобрениями — опыт, проводимый в искусственных условиях в сосудах с целью изучения питания растений и обмена веществ в них. Вегетационные опыты, как и полевые, относятся к биологическим методам исследования. С помощью вегетационных опытов изучаются вопросы питания растений, дается оценка усвояемости питательных веществ удобрений, а также изучаются вопросы плодородия почв, т. е. глубоко вскрываются процессы круговорота веществ в земледелии и увязываются в единый комплекс по схеме Д. Н. Прянишникова: питание растений, свойства почвы и удобрения.

С помощью вегетационных опытов изучаются особенности питания различных сельскохозяйственных культур, устанавливаются возможности регулирования условий питания, даются теоретические обоснования приемов повышения урожая сельскохозяйственных культур и его качества. С помощью вегетационных опытов было установлено, какие макро- и микроэлементы необходимы для питания растений, в каких формах и в виде каких соединений способны растения усваивать питательные вещества, было также изучено значение симбиоза клубеньковых бактерий с бобовыми культурами в усвоении азота воздуха и многие другие вопросы.

В вегетационном опыте в зависимости от цели и задачи исследований длительность выращивания растений может продолжаться от нескольких дней до полного вызревания, а в многолетних опытах — в течение ряда лет.

Вегетационные опыты проводят в искусственных условиях в вегетационных домиках, где растения выращиваются в специальных вегетационных сосудах Митчерлиха (рис. 41).

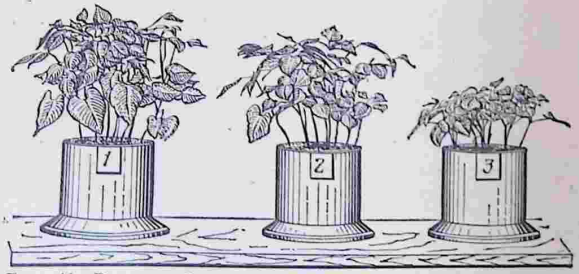


Рис. 41. Растения фасоли в вегетационных сосудах:
1 — шлак; *2* — известь; *3* — контроль.

Для детального изучения вопросов питания растений и применения удобрений вегетационные опыты проводят в различных модификациях: почвенные, песчаные и водные культуры, методами изолированного питания, текучих растворов, стерильных культур и т. д., которые позволяют изучить более тонкие различия в реакции растений на разные воздействия, вычленить влияние отдельных факторов на рост и развитие растений.

Почвенные культуры. В вегетационном методе почвенные культуры имеют важное значение при изучении взаимоотношения в системе растение — удобрение — почва. Исторически вегетационные опыты с почвенной культурой появились в результате стремления избежать неоднородности почвенного плодородия.

Почву для опыта отбирают с пахотного горизонта и для создания однородности во всех сосудах ее тщательно перемешивают и просеивают через грохот с диаметром отверстий 3 мм, это позволяет избежать расхождений результатов опыта с одноименных сосудов по повторностям.

В вегетационном опыте используется в основном верхний пахотный слой, поэтому растения получают из почвы значительно меньшее количество питательных веществ, чем в природных условиях, где они потребляют большое количество питательных веществ не только из пахотного, но и из подпахотного и более глубоких горизонтов.

В условиях вегетационного опыта растения в меньшей степени испытывают неблагоприятное влияние метеорологических условий, например недостаточное или избыточное увлажнение, так как полив осуществляется согласно программе эксперимента. Из всех модификаций вегетационного метода почвенные культуры ближе всего подходят к естественным условиям и к полевому опыту. Однако данные вегетационного опыта не могут быть перенесены непосредственно в производство, так как при проведении вегетационного опыта с почвенной культурой в отличие от полевого опыта можно получить только качественную оценку изучаемого приема, а не количественную, возможно установить эффективность изучаемого приема, но невозможно предсказать размер прибавки урожая в полевых условиях.

В вегетационном опыте бесполезно стремиться к созданию тех же условий, что и в поле, нужно только создавать равенство условий во всех сосудах, устранять вредное влияние и осуществлять оптимальное сочетание факторов роста (тепло, свет, влага и пр.).

При закладке вегетационных опытов рекомендуется вносить на сосуд емкостью 5...8 кг почвы следующие средние дозы удобрений (в г): N — 0,35...0,75 и более; P_2O_5 — 0,3...1,0; K_2O — 0,3...1,0. Дозы удобрений для почвенной культуры рассчитываются также на 1 кг сухой почвы (в г): N — 0,05...0,20; P_2O_5 — 0,05...1,15; K_2O — 0,05...0,2.

З. И. Журбицкий рекомендует при закладке вегетационного опыта следующие дозы удобрений (табл. 206).

В условиях вегетационного опыта для растений создаются оптимальные условия и эффект от изучаемого фактора проявляется более рельефно, поэтому экспериментатору представляется широкая возможность для изучения отдельных факторов.

206. Дозы удобрений (в г элементов питания на 1 кг почвы) в вегетационных опытах с почвенными культурами

Культура	N	P_2O_5	K_2O
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
Сахарная свекла	0,15	0,22	0,22
Лен	0,05—0,07	0,10—0,12	0,06—0,1
Конопля	0,20—0,30	0,20—0,30	0,20—0,30
Хлопчатник **	0,24	0,36	0,06—0,09
Табак	0,20—0,30	0,10—0,20	0,20—0,30
Овощные:			
капуста	0,15—0,20	0,20—0,25	0,20—0,20
томаты	0,10—0,15	0,15—0,20	0,20—0,35
огурцы	0,15—0,20	0,15—0,20	0,20—0,25
свекла столовая	0,15—0,20	0,20—0,25	0,20—0,25
морковь	0,15—0,20	0,20—0,25	0,20—0,25
лук	0,10—0,15	0,10—0,15	0,15—0,20

* В опытах с обогащением почвы азотом за счет фиксации его бобовыми.
** На карбонатных сероземах.

Техника закладки и проведения вегетационных опытов. Схемы вегетационных опытов в связи с отсутствием систематической ошибки и созданием однородности почвы в сосудах дают возможность более расчлененно и детально изучать исследуемый фактор, поэтому такие схемы часто могут быть многовариантными. Повторность в вегетационных опытах в зависимости от программы исследования и опытной культуры (зерновые, лен, травы или пропашные: картофель, свекла, кукуруза) может быть 2...4-или 6...8-кратная.

Для закладки вегетационного опыта определяют необходимую почвенную разность, на которой должен быть проведен опыт, выбирают типичный для данной почвенной разности участок, с которого, как правило, весной в период «поспевания» почвы, т. е. когда она не мажется и комки легко рассыпаются, отбирают почву с верхнего пахотного горизонта (если есть дернина, то ее снимают и отбрасывают). В летний период происходит нитрификация почвенного азота и иммобилизация растворимых фосфатов, поэтому почва, взятая для закладки опыта в летний период, будет слабее отзываться на азот, но несколько сильнее на фосфор.

Из взятой почвы отбирают смешанный образец для агрохимического анализа (до закладки опыта), а также определяют влажность и влагоемкость почвы, на основании которых устанавливают количество абсолютно сухой почвы в сосуде и рассчитывают норму полива. Все данные заносят в дневник вегетационного опыта.

Для опыта как с почвенными, так и с песчаными культурами используют сосуды (стеклянные, металлические или пластмассовые).

Размер сосудов оказывает существенное влияние на величину урожая; установлено, что для зерновых культур, льна, гороха, гречихи необходимы сосуды размером 15×20 и 20×20 см; для растений с глубоко растущей корневой системой: клевера, люцерны — 15×30 см, а для пропашных культур: картофеля, корнеплодов, кукурузы, подсолнечника лучшими будут сосуды 25×30 и 30×30 см. Сосуды такого размера вмещают от 5...7 до 12...14 кг почвы и более, однако в зависимости от задачи исследования могут быть использованы сосуды, вмещающие 1...3 кг почвы (песка).

Перед закладкой опыта сосуды подбирают по объему (высоте и диаметру); стеклянные и пластмассовые сосуды тарируются битым стеклом (200...300 г на сосуд), которое одновременно является и дренажем. Дренажное стекло распределяют на 2/3 дна сосуда под углом 30°, покрывают кружком марли, диаметр которой на 3...5 см больше диаметра сосуда, и на горке стекла вертикально на расстоянии 1,5...2 см от стенки сосуда (при набивке) устанавливают стеклянную трубку для полива.

Марлевый кружок «примазывают» увлажненным песком (на 300... 500 г песка берут 45...75 мл воды) и приступают к набивке сосуда, которую следует начинать с контрольного варианта.

Отвешивают требуемое количество почвы и проводят пробную набивку сосуда с таким расчетом, чтобы до верхнего края сосуда оставалось 2...2,5 см для размещения песка и проведения полива сверху. Если при пробной набивке уровень почвы окажется ниже или выше, необходимо изменить навеску. Количество почвы в сосудах должно быть строго одинаковое.

В вегетационных опытах используют удобрения, а также чистые соли, которые содержат минимальное количество балласта. Водорастворимые удобрения (азотные, калийные) применяют в виде раствора (на 100...50 мл воды около 1 г питательного вещества), а нерастворимые (фосфорные, известковые удобрения) вносят в виде сухих навесок.

При внесении удобрений в растворе необходимо создавать единую влажность во всех сосудах, не переувлажняя почву. При набивке сосудов оптимальной является влажность 40...50% от полной влагоемкости.

Удобрения равномерно распределяют в навеске почвы и тщательно перемешивают. Первые порции почвы (3...4 см) осторожно размещают в сосудах и укладывают более плотно. Для одинакового уплотнения почвы набивку сосудов всего опыта должен проводить один человек.

Посев растений в сосудах проводят высококачественными, чистосортными семенами с высокой всхожестью. Семенной материал предварительно отбирают, протравливают 1%-ным раствором формалина, промывают водой и проращивают. С этой целью в кюветы насыпают песок, покрывают фильтровальной бумагой, семена равномерно смачивают, распределяют тонким слоем и сверху покрывают двойным слоем смоченной фильтровальной бумаги или стеклом для уменьшения испарения воды. Семена проращивают при температуре 20... 25°С.

Посев проводят наклюнувшимися семенами по трафарету на глубину 0,5...2...5...6 см, в зависимости от культуры и размера семян.

Количество растений во всех сосудах после проращивания должно быть одинаковым. В сосуде диаметром 15 см рекомендуется оставлять: зерновых культур — 20...25 растений, гороха — 10...15, гречихи — 10...12, льна — 35...40, клевера — 6...12 растений.

Пропашные культуры выращивают в сосудах большого размера и до конца уборки оставляют по одному растению на сосуд. Для повышения точности результатов опыта увеличивают повторность исследования.

Посев мелкосемянных культур с известной всхожестью часто проводят сухими семенами. Для этой цели снимают верхний слой почвы в сосуде (0,3...0,5 см), требуемое количество семян равномерно распределяют по поверхности и заделывают отобранной почвой, а затем присыпают слоем кварцевого песка (200...300 г на сосуд) для предохранения почвы от испарения влаги, образования корки и трещин. Для одновременного появления всходов сосуды накрывают картоном, или бумагой, или поддонниками.

Полив растений в зависимости от программы опыта проводят водопроводной, дистиллированной или бидистиллированной водой в утренние часы.

Полив стеклянных, пластмассовых сосудов осуществляется по заранее рассчитанной норме полива. Во всех сосудах поддерживают оптимальную одинаковую влажность почвы (60...80% от полной влагоемкости).

В жаркую погоду и особенно если растение имеет мощную вегетативную массу, растения поливают дважды (утром и вечером), один раз по массе, другой по объему. Иногда в поливную норму вводят поправку на массу самого растения и тем самым увеличивают норму полива.

Сосуды Митчерлиха (под сеткой) поливают «до пролива».

В период созревания растений и для его ускорения полив растений проводят реже и норму полива сокращают.

Во время вегетации в ясную погоду вагонетки с растениями выкатывают из домика под сетку, а в дождливую погоду и на ночь оставляют в вегетационном домике.

Для равномерного освещения и нагрева сосуды на вагонетках и стеллажах в период полива переставляют по определенной системе. Чтобы растения не полегали, в сосудах устанавливают поддерживающие деревянные или проволочные каркасы.

Урожай убирают в период полного созревания растений. После высушивания в специальных пакетах определяют общую массу растений и массу семян после обмолота, солому и мякину определяют по разности.

Для анализа отбирают растительные и почвенные образцы. Если в программу опыта включен учет и анализ корневой системы, то многократной отмывкой отделяют корни от почвы, окончательно отмывают их на сите с диаметром 0,5 мм водопроводной и дистиллиро-

ванной водой, сушат, взвешивают и подготавливают для аналитической работы.

Первичная обработка опытных данных, полученных в вегетационном опыте, аналогична первичной обработке результатов полевого опыта.

Песчаные и водные культуры. В бесплодных средах, какими являются водные и песчаные культуры, исследование питания растений проводится в строго контролируемых условиях.

Для изучения питания растений в искусственной бесплодной среде (водной или песчаной) используют питательные смеси, которые содержат в достаточном количестве и нужном соотношении элементы питания, необходимые для нормального роста и развития растений (табл. 207).

Различия питательных смесей наряду с правильным подбором элементов питания заключаются в составе питательных солей и главным образом в источниках азотного и фосфорного питания, которые в питательной смеси должны уравновешивать друг друга по влиянию их на реакцию среды.

К питательным смесям предъявляются следующие требования:

1. Питательная смесь должна включать все необходимые растению питательные элементы. Если какой-нибудь питательный элемент будет отсутствовать, то ввиду незаменимости одного элемента другим

207. Питательные смеси для водных и песчаных культур
(в мг на 1 л воды или на 1 кг песка)

Состав смеси	Гельригеля	Кнопа	Прянишникова	Белоусова (для сахарной свеклы)	Ягодина (для гречихи)
$Ca(NO_3)_2$ безводная	492	1000	—	1100	—
NH_4NO_3	—	—	240	—	343
KH_2PO_4	136	250		360	263
K_2HPO_4	—	—	—	430	—
K_2SO_4	—	—	—	—	166
$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	—	—	—	—	40
$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	—	—	172	—	—
$MgSO_4$ безводная	60	250	60	54	—
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	—	—	—	—	716
KCl	75	120	160	—	—
$FeCl_3$	25	Следы	25	10	—
NaCl	—	—	—	100	—
H_3BO_3	—	—	—	5	2,86
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	—	—	344	—	—
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	—	—	—	—	0,197
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	—	—	—	—	0,44
$MnSO_4 \cdot 5H_2O$	—	—	—	5	2,63
$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	—	—	—	—	0,095
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	—	—	—	—	0,077
$CaCO_3$	—	—	—	—	500,5
$CaCO_3$ (дополнительно, через 20 дней)	—	—	—	—	55,5

такая питательная смесь не обеспечит нормального развития растений. 2. Питательные вещества в нормальной смеси как стандарта питательного раствора должны быть даны в усвояемой для растений форме. Нельзя, например, вводить в питательную смесь сернистые соединения в качестве источника серы. 3. Питательные вещества должны быть даны в таком количестве и в таком соотношении друг с другом, которые обеспечивают получение высокого урожая растений. 4. Реакция среды (pH) должна быть оптимальной или близкой к оптимальной в течение всего периода вегетации.

Питательные смеси Кнопа, Гельригеля составлялись главным образом эмпирическим путем.

Питательная смесь Прянишникова составлялась на основании теоретических предпосылок. Автор правильным выбором источников азотного и фосфорного питания приблизил исходную реакцию питательной смеси к нейтральной, которая сохранялась в течение всего периода проведения опыта. При создании этой смеси учитывалась способность различных растений усваивать фосфорную кислоту из труднорастворимых фосфатов. В связи с этим смесь была составлена таким образом, что не давала подщелачивания среды в течение вегетации растений, так как учитывалось буферное действие солей, входящих в состав смеси.

Буферным действием как против подкисления, так и против подщелачивания обладают соли фосфорной кислоты. Однозамещенные фосфаты (KH_2PO_4, NaH_2PO_4 и др.) буферят против подщелачивания, а двухзамещенные фосфаты (K_2HPO_4, Na_2HPO_4, $CaHPO_4$) и $Ca_3(PO_4)_2$ — против подкисления.

В питательной смеси Гельригеля азот в форме $Ca(NO_3)_2$ (физиологически щелочная соль), буфером против подщелачивания является KH_2PO_4.

В питательной смеси Прянишникова буферное действие против подкисления (NH_4NO_3 — физиологическая кислая соль) оказывает двухзамещенный фосфат кальция ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$). В смеси Белоусова буферное действие проводят одно- и двухзамещенные фосфаты. Эта смесь составлялась для сахарной свеклы, и в состав ее солей включен NaCl.

Первоначальные питательные смеси Сакка, Кнопа, Гельригеля и другие для нормального питания растений включали смесь элементов питания: N, P, K, S, Ca, Mg, Fe. В связи с бурным развитием естественных наук, в том числе и агрохимии, со значительным улучшением степени очистки питательных солей и бесплодной среды (песка, воды) количество элементов, необходимых для оптимального развития растений, резко возросло и в настоящее время в состав питательных смесей необходимо включать и микроэлементы: бор, медь, цинк, молибден, марганец, кобальт и др.

Техника закладки и проведения опыта в песчаных культурах аналогична почвенной культуре. Разница состоит лишь в том, что питательные вещества в песчаную культуру вносят в виде питательных смесей, которые состоят из растворов отдельных солей или сухих нерастворимых солей.

Подготовка песка для закладки опыта состоит в следующем. Песок заливают концентрированной соляной кислотой для растворения имеющихся в песке примесей. Соляную кислоту затем удаляют многократной промывкой водопроводной и дистиллированной водой (до отсутствия качественной реакции с $AqNO_3$ на ион Cl).

При сравнении бесплодных сред следует отметить, что песок в отличие от воды сильнее загрязнен. Вода дает более однородное распределение питательных веществ, одинаковая концентрация которых быстрее восстанавливается по мере потребления питательных веществ растениями, однако опыты в водной культуре очень трудоемки, поэтому в схемах опытов в водной культуре, как правило, отсутствует большая детализация.

При проведении вегетационных опытов с водной культурой используют стеклянные или полиэтиленовые сосуды емкостью 3,5...5 л и более.

Сосуды при закладке опыта наполняют на 3/4 объема сосуда дистиллированной водой. Затем пипеткой или мерным цилиндром (для каждого раствора питательной смеси должна быть своя пипетка или цилиндр), согласно схеме опыта, вносят необходимое количество раствора солей питательной смеси, доводят дистиллированной водой содержимое сосуда до метки на 1 см ниже уровня сосуда, тщательно перемешивают и закрывают деревянными кружками-крышками с 4...5 отверстиями диаметром 1,5...2 см. В эти отверстия высаживают подготовленные к высадке растения, одно отверстие в центре оставляют для крепления каркаса, другое — для стеклянной трубки, через которую продувают воздух для аэрации корневой системы.

Нижнюю сторону кружка плотно вставляют в сосуд, а верхняя, диаметр которой на 0,5 см шире диаметра сосуда, опирается на верхнюю часть сосуда. На стеклянные сосуды водной культуры надевают двойные чехлы с тесьмой в верхнем крае. Внутренний чехол из черного материала предохраняет питательный раствор и корневую систему от света, а верхний белый предохраняет сосуды от перегрева. Чехлы и тесьма плотно охватывают наружную часть кружка-крышки.

Для опытов с водной культурой вначале семена проращивают в кюветах с песком (как и в опытах с почвенной культурой), затем проростки растений осторожно пинцетом размещают для доращивания на парафинированной марлевой сетке, помещенной на кристаллизаторе, наполненном водой или питательным раствором малой концентрации (1/10 питательной смеси). Когда корни растений достигнут 5...6 см, растения вынимают, корни несколько подрезают для лучшего ветвления. Затем растения закрепляют с помощью ваты в отверстия кружков так, чтобы корни были погружены в питательный раствор.

Уход за растениями в водной культуре состоит из ежедневного продувания питательного раствора воздухом.

Систематически при проведении опытов с водной культурой по мере испарения раствора необходимо доливать сосуды дистиллированной водой до метки и систематически проверять реакцию среды.

В течение вегетации 3...4 раза, согласно схеме опыта, проводят полную смену растворов питательной смеси в сосудах.

При уборке растений в водной культуре учитывают урожай надземной массы и корней.

ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Лизиметрические исследования как полевой и вегетационный методы относятся к биологическим методам и в настоящее время нашли широкое применение в ряде естественных наук.

Лизиметр (от греческого lusos — растворение, освобождение) явился доступным прибором, с помощью которого впервые английский ученый Джон Дальтон в конце XVIII-начале XIX вв. выяснял роль атмосферных осадков в питании грунтовых вод.

Лизиметрический метод в агрохимии позволяет установить состав фильтрующихся вод, вести наблюдения за просачиванием атмосферных осадков, динамикой влажности почвы, определением (в природных условиях) транспирационных коэффициентов отдельных растений, изменением некоторых свойств почв под влиянием удобрений и т. д.

Особенно широко в агрохимии лизиметрические исследования используются при изучении потерь питательных веществ, вымывающихся при инфильтрации в связи с применением удобрений.

На основании сопоставления содержания и поступления питательных веществ в почву, выносом их урожаем дается основа для составления баланса питательных веществ в почве, необходимая для построения обоснованной системы применения удобрений.

В лизиметрических исследованиях используется несколько конструкций, отличающихся устройством и особенностями дополнительных приспособлений для изучения просачивания воды и растворенных в ней питательных веществ.

Однако при установке лизиметров и дополнительных к ним устройств необходимо учитывать следующие методические требования:

1. Должна быть обеспечена возможность вести наблюдения в условиях, наиболее близких окружающей природной обстановке. Для этой цели лизиметры вкапывают в грунт, и уровень почвы в них совпадает с поверхностью окружающей местности.

2. Для проведения сравнительных исследований или постановки опыта по определенной схеме обычно нужно иметь несколько лизиметров (10 и более). В связи с этим лизиметры устраиваются, как правило, группами, чаще в два ряда, с известным расстоянием между ними.

3. Для сбора стекающих из почвы вод устраивается обычно дренаж и затем короткие трубопроводы с выводом последних в подземный коридор, где помещаются специальные приемники. Этот коридор имеет естественное и искусственное освещение, позволяющее вести наблюдения круглые сутки. Подземное помещение хорошо изолируют, чтобы исключить попадание воды в лизиметрические устройства и предупреждать резкие колебания температуры (особенно зимой).

4. В зависимости от цели работы (темы) опыты могут проводиться как в парующих лизиметрах, так и занятых различными растениями.

Иногда в лизиметры высаживают и древесные породы (В. Р. Вильямс). Поэтому расположение лизиметров должно удовлетворять условиям, обеспечивающим нормальное развитие растений, например, освещению, защите урожаев от повреждений животными и птицами и т. д., для этого над лизиметрами устраивают сетки по типу тех, которые имеются при вегетационных домиках.

5. Так как учет количества атмосферных осадов при работе с лизиметрами весьма существен, то по соседству с установкой лизиметра должен помещаться дождемер.

6. Лизиметры устраиваются недалеко от лаборатории, чтобы избежать перевозок иногда больших объемов жидкости и проводить срочные наблюдения и исследования в любое время суток, в любую погоду.

Лизиметры по способу наполнения почвой подразделяются на два типа:

1. Лизиметры с почвой естественного строения.

2. Лизиметры с насыпной почвой, в которых нарушается естественное строение, но после просеивания почва набивается в лизиметры послойно с сохранением естественной последовательности в расположении отдельных генетических горизонтов и, как правило, уплотняется до природного объема.

Лизиметры делятся и по особенностям конструкции на:

1. Бетонные или кирпичные,
2. Металлические,
3. Лизиметрические воронки (Эбермайера).

В последние годы получили распространение лизиметры из пластмассовой пленки.

Бетонные или кирпичные лизиметры рассчитаны на длительное использование, имеют, как правило, площадь поверхности 1,2 и даже 4 м² и пригодны для работы только с насыпной почвой. Эти лизиметры многие научно-исследовательские учреждения разных стран используют для проведения стационарных, многолетних опытов.

В Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева бетонные лизиметры, построенные по проекту В. Р. Вильямса в 1900 г., работали до начала 30-х годов. Всего было установлено десять лизиметров, по пять в два ряда, емкостью 4 м² (площадь каждого лизиметра 2 м × 2 м и глубина 1 м). Дренажная система (на дне лизиметра) состояла не из песка и гравия, а из отрезков стеклянных трубок.

Металлические лизиметры очень разнообразны по конструкции, бывают разной формы и емкости. Применяются для работы как с почвами естественного сложения, так и с насыпными.

Металлические лизиметры изготавливают из листовой оцинкованной стали (иногда внутреннюю поверхность покрывают асфальтовым лаком), на дне, как и в бетонных лизиметрах, делают дренаж из песка и гравия.

В опытах с насыпной почвой часто используют лизиметры цилиндрической формы или в форме куба, которые наполняют почвой и закапывают в грунт непосредственно или помещают в другую металлическую емкость большего размера, которая вкопана в грунт и служит, во-первых, для укрепления его стенок, а, во-вторых, для того, чтобы

можно было беспрепятственно извлекать лизиметр и взвешивать. Иногда используют подвижные металлические лизиметры на вагонетках, находящихся в траншее.

Для взвешивания вагонетку с лизиметром вкатывают на весы, установленные посередине траншеи.

Металлические лизиметры с почвой естественного строения используют в основном цилиндрической формы с заостренными краями у дна для врезания в почву при их наполнении. После заполнения лизиметра почвой естественного сложения к нему герметически прикрепляется воронкообразной формы дно, заполненное дренажным материалом, после чего лизиметр переносится на постоянное место.

Во всех металлических лизиметрах в дне имеется отверстие, соединенное системой трубок с приемником для сбора фильтрата, они пригодны для опытов с парующими лизиметрами и при посеве тех или иных растений.

Лизиметрические воронки используют для опытов с почвами естественного строения, так как считают, что при врезании металлических лизиметров в грунте несомненно происходят хотя бы небольшие нарушения естественного сложения. Поэтому, стремясь быть ближе к естественным условиям, исследователь отказывается от боковых стенок лизиметра и на разной глубине устанавливает воронки, куда стекает просачивающаяся вода.

Лизиметрические воронки изготовляют из оцинкованного железа, винипласта, плексигласа или из других материалов, заполняют их дренажом и устанавливают следующим образом.

На вертикальной стенке траншеи, на заданной глубине делают ниши, в которые острым краем врезают в потолок воронки. (Воронки, как правило, диаметром 25 или 50 см имеют глубину 5 см). Концы воронок трубками соединены с приемниками. Расстояние между воронками 30...100 см, все пустоты в нишах после установления воронок засыпаются землей, траншея перекрывается, оставляется люк с крышкой для доступа к приемникам.

Считают, что лизиметрические воронки в исследованиях имеют некоторое преимущество по сравнению с другими лизиметрами (М. А. Бобрицкая и др.), так как позволяют проводить наблюдения в почве с сохранением ее естественного сложения.

Однако при использовании лизиметрических воронок возможно как затекание воды со стороны, так и отток ее на соседние участки. Поэтому при установке лизиметрических воронок на делянках с разными удобрениями необходимо иметь защитные полосы, как в полевых опытах.

Исследованиями установлено, что водный режим лизиметров неидентичен водному режиму естественных почв. Так, например, в лизиметры со стенками осадков попадает на 20...25% больше, чем в природных условиях, где воды сбегают по уклонам рельефа, наблюдаются существенные различия и в динамике разных форм почвенной влаги.

В лизиметрах дренажной системой создается воздушная прослойка, мешающая свободному движению гравитационной воды вниз. По-

этому в лизиметрах, как правило, отмечается избыточная влажность по сравнению с тем же слоем естественной почвы. Просачивание воды зависит от глубины лизиметра, в более глубоких лизиметрах оно относительно больше, чем в мелких. Испарение, напротив, более интенсивно проходит с поверхности мелких лизиметров, чем с поверхности глубоких и значительно отличается от почв при естественных условиях.

Анализируя данные многочисленных исследований, Б. А. Голубев, Ф. А. Юдин отмечают, что количество просачивающейся влаги зависит также от:

1. Способа наполнения лизиметра; просачивание идет интенсивнее в почвах, сохранивших естественное строение, т. к. в насыпных лизиметрах почва уплотняется;

2. Свойств почвы (чем она мелкоземистее, тем меньше просачивание);

3. Времени года (весной и осенью просачивание выше, чем зимой и летом);

4. Количества осадков и характера их распределения во времени (много осадков за короткий отрезок времени обусловливает более сильное просачивание);

5. Температуры воздуха и почвы (чем выше температура, тем больше испарение и тем меньше просачивание);

6. Наличия растений; в лизиметрах, занятых растениями, просачивание меньше, чем в парующих вследствие испарения влаги растениями.

Таким образом, водный режим лизиметров в значительной степени отличается от водного режима естественных почв. И результаты исследований, полученные с использованием лизиметров, будут неидентичны результатам, полученным в естественных условиях. Однако проведение опытов в лизиметрах дает возможность иметь надежные сравнимые результаты.

В агрономической химии лизиметрический метод широко используется для учета вымывания питательных веществ из почвы, которое непосредственно связано с просачиванием и в значительной степени зависит от вышеперечисленных факторов, так как вместе с водой вымываются из корнеобитаемых слоев почвы и растворимые питательные вещества.

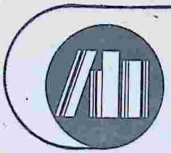
Однако исследованиями установлено, что величина потерь в большей степени зависит от содержания подвижных форм азота и в меньшей — от количества просачивающихся за год осадков. Подвижность азота определяется механическим составом почвы, при одном и том же количестве просочившейся воды на песчаной почве вымыто азота в 7,4 раза больше, чем на суглинистой. Потери от вымывания фосфора незначительны.

Б. А. Голубев, обобщив результаты многолетних исследований ряда авторов, работавших с неудобренными почвами в лизиметрах глубиной 1 м приводит следующие величины потерь от вымывания (в кг на 1 га):

азота — 12,8,
фосфора — 1,2,
калия — 27,4,
серы — 51,4,
кальция — 46,8,
магния — 32,
окиси кремния — 46,8.

М. А. Бобрицкая указывает, что наибольшие потери азота от вымывания происходят в парующей почве и что газообразные потери происходят в основном в форме закиси азота и молекулярного азота, которые составляют 78...98% общих потерь.

Таким образом, лизиметрические исследования, имея некоторый элемент условности в сравнении с естественными почвами, тем не менее дают возможность изучить передвижение питательных веществ и влаги в естественных условиях, определяют, как складывается питательный режим почвы, а также дают прямое определение одной из расходных статей баланса.



ЛИТЕРАТУРА

Прянишников Д. Н. Агрохимия. Избранные сочинения, т. III.— М.: АН СССР, 1952, 633 с.

Прянишников Д. Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. Избранные сочинения, т. III.— М.: Колос, 1965, 281...448 с.

Тимирязев К. А. Земледелие и физиология растений. Избранные сочинения, т. II.— М.: Сельхозгиз, 1948, 424 с.

Агрохимические методы исследования почв / отв. ред. А. В. Соколов. — М.: Наука, 1975, 656 с.

Бергельсон Л. Д. Биологические мембраны — М.: Наука, 1975, 157 с.

Блек К. А. Растение и почва.— М.: Колос, 1973, 503 с.

Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов / Под ред. П. Г. Найдина. Вып. 1. Изд. МСХ СССР, 1960, 472 с., вып. 2, Колос, 1964, 400 с., вып. 3, Колос, 1968, 479 с.

Гедройц К. К. Учение о поглотительной способности почв. Избранные сочинения, т. 1.— М.: Сельхозгиз, 1955, 241—384 с.

Глунцов Н. М., Штефан В. К. Удобрение овощных культур.— М.: Московский рабочий, 1975, 135 с.

Гулякин И. В. Система применения удобрений.— М.: Колос, 1979, 208 с.

Державин Л. М. Прогрессивные формы агрохимического обслуживания.— М.: Знание, 1980, 64 с.

Демин В. А. Определение доз удобрений под сельскохозяйственные культуры в севообороте.— М.: ТСХА, 1981, 91 с.

Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода.— М.: Наука, 1968, 266 с.

Журбицкий З. И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений.— М.: АН СССР, 1963, 294 с.

Каталымов М. В. Микроэлементы и микроудобрения.— М.: Химия, 1965, 332 с.

Кларксон Д. Транспорт ионов и структура растительной клетки.— М.: Мир, 1978, 368 с.

Коняев Н. Т. Хранение, доставка и внесение минеральных удобрений.— М.: Россельхозиздат, 1979, 94 с.

Кореньков Д. А., Гаврилов К. А., Шильников И. А., Васильев В. А. Справочник агрохимика.— М.: Россельхозиздат, 1980, 286 с.

Корнилов М. Ф., Небольсин А. Н., Семенов В. А., Козловский Е. В., Зяблов В. А. Известкование кислых почв нечерноземной полосы СССР.— М.: Колос, Л., 1971, 256 с.

Кук Дж. У. Регулирование плодородия почвы.— М.: Колос, 1970, 520 с.

Мазепин К. Г. Удобрение сахарной свеклы.— М.: Россельхозиздат, 1975, 50 с.

Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами / Под ред. А. В. Соколова и Д. Л. Аскинази.— М.: Наука, 1967, 183 с.

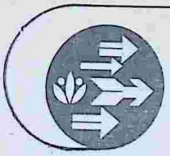
Михайлов Н. Н., Кшипер В. П. Определение потребности растений в удобрениях.— М.: Колос, 1971, 256 с.

Найдин П. Г. Удобрение зерновых и зернобобовых культур.— М.: Сельхозиздат, 1963, 263 с.

Научные основы и рекомендации по применению удобрений в Нечерноземной зоне Европейской части РСФСР.— М.: Россельхозиздат, 1976, 255 с.

Пейве Я. В. Руководство по применению микроудобрений.— М.: Сельхозиздат, 1963, 224 с.

Петербургский А. В. Практикум по агрономической химии.— М.: Колос, 1968, 496 с.
Петербургский А. В. Агрохимия и физиология питания растений.— М.: Россельхозиздат, 1971, 334 с.
Радов А. С., Столыпин Е. И. Удобрение в орошаемом земледелии.— М.: Наука, 1978, 223 с.
Рекомендации по рациональному использованию удобрений в защищенном грунте.— М.: ЦИНАО, 1977, 57 с.
Ромашов П. И. Удобрение сенокосов и пастбищ.— М.: Колос, 1969, 184 с.
Рубин С. С. Удобрение плодовых и ягодных культур.— М.: Колос, 1974, 224 с.
Сабинин Д. А. Избранные труды по минеральному питанию растений.— М.: Наука, 1971, 512 с.
Сапожников Н. А., Корнилов М. Ф. Научные основы системы удобрения в нечерноземной полосе.— Л.: Колос, 1977, 296 с.
Смирнов П. М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с ^{15}N).— М.: МСХ СССР ТСХА, 1977, 72 с.
Справочная книга по химизации сельского хозяйства / Под ред. Борисова В. М.— М.: Колос, 1969, 656 с.
Справочник агрохимика / Под ред. Кулаковской Т. Н. Минск.: Урожай, 1974, 368 с.
Тамман А. И. Удобрение картофеля в нечерноземной полосе и на оподзоленных черноземах.— М.: Сельхозиздат, 1963, 135 с.
Удобрение технических культур / Под ред. П. Г. Найдина.— М.: Сельхозиздат, 1957, 470 с.
Финеан Дж., Колмэн Р., Мичелл Р. Мембраны и их функции в клетке.— М.: Мир, 1977, 199 с.
Юдин Ф. А. Методика агрохимических исследований.— М.: Колос, 1980, 272 с.
Ягодин Б. А. Кобальт в жизни растений.— М.: Наука, 1970, 343 с.
Ягодин Б. А. Микроэлементы в овощеводстве. М.: Колос, 1964, 159 с.
Ягодин Б. А. Питание растений.— М.: МСХ СССР, ТСХА, 1980, 87 с.



ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Агрохимические картограммы 162...163
Агрохимическое обследование почв 532
Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) 224
Азот 178, 513
— роль в питании растений 178...184
— содержание и формы в почвах 185...193
Азотные подкормки 218
Азотфиксация 192...193
Акобальтоз 298
Активация ферментов 264
Алкогольдегидрогеназа 296
Альбинизм 286
Амилазы 523
Аминокислоты 521, 522
— незаменимые 521, 522
Аммиак 179, 186, 193
Аммиак безводный 204
Аммиачная вода 204...206
— селитра — получение, свойства, применение 206...209
Аммиачное и нитратное питание растений 184
Аммонизированный суперфосфат 310
Аммоний 179, 186, 193
Аммонификация 76, 185
Аммофос 305
Антагонизм 282
Апатит 240, 245, 246
Апопласт 48
Аспарагин 181
Аспарагиновая кислота 180...182
Ассимиляционный фермент 289
Ауксин 283, 286, 296
Ауксиноксидаза 283, 289
Ацетилкоэнзим А 264
Аэрация и питание растений 85

Бактериоз 283
Бактероиды 298
Баланс питательных веществ в почвах 411...414, 450, 453...455
Белки 512...514, 516, 518...521, 525
— аминокислотный состав 521, 522
— биологическая ценность 521
— биосинтез 512, 514
— в питании человека 514, 515, 521
— кукурузы 521
— пшеницы 515, 521
Биогеохимические провинции 281
Бобовые культуры 520, 521
— содержание белка 520
Болезнь обработки 287
Бор 282
Бормагниевые удобрения 284
Боросуперфосфат 284
Буферная способность почвы 127...130
Буферная способность почвенного раствора 128...129
Буферная способность твердой фазы 129...130

Валиномицин 56
Ванадий 301
Варианты опыта 532, 533, 538
Вегетационный домик 550, 554
Вегетационный метод 550...557
Витамин С 524
Витамин F 526
Водные культуры 551, 555...557
Выключки 545
Вымывание нитратов 188, 191
Вынос питательных веществ с урожаем 387, 388, 389
— биологический 387
— хозяйственный 387...389, 472, 481, 497
— остаточный 387...388, 392..,394
Выход навоза 341

Гажа 155
Галит 271
Географическая сеть опытов 529
Гидрогеназа 298
Гидроксиламинредуктаза 289
Гидропоника 506...507

Гидрослюды 88
Гипонитритредуктаза 286
Гипс 169, 173
— влияние на почву 171
— дозы, сроки и способы внесения 173...175
— применение в качестве удобрения 175...177
Гипсование почв 169...171
Глутаматдегидрогеназа 296
Глутамин 181
Глутаминтрансфераза 289
— глюкозидаза 283
Гниль коричневая 283
— сердечка 284
— сухая 283
Годовой план применения удобрений 456
Городской мусор 357
Грамицидин 53
Гуматы 91
Гуминовые кислоты 91...92
Гумины 91
Гумусовые вещества 89...95, 103
— — взаимодействие с минеральной частью почвы 90, 93
— — способность к разложению 93

Дегидрогеназа 291, 298
Дезаминирование 181
Дезоксирибонуклеиновая кислота 223
Делянка полевого опыта 532, 534...535, 544...545
Денитрификация 76, 188...190
Дефекат 158
Диаммофос 305
5,6-диметилбензимидазолкобамидный коэнзим 297
Динамика потребления питательных веществ культурами 418, 425, 427, 431, 432, 433, 438, 442...443, 445...447, 462, 465...466, 472, 480...482
Дозы известковых удобрений 163...165
Документация опыта 529, 531
Доломит 153
Доломитовая мука 153...156
Доломитовая пыль 159
Допосевное удобрение 401...403
Достоверность результатов опыта 529..., 531, 546

Емкость поглощения почв 114...119

Железопорфирины 295
Жидкие азотные удобрения 204...206
Жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) 313
Жиры 512, 514, 525

Запасное внесение фосфорных и калийных удобрений 403
Зеленое удобрение 375, 383

Известкование почвы 136, 137, 149..., 152
— действие на почву 143...146
— отзывчивость растений 137...143
— потребность 160...163
— продолжительность действия 150
— эффективность 149...152
Известковые удобрения 152...159
Известь — взаимодействие с почвой 143...146
— применение в севооборотах 167..., 169
— способы внесения 165...167
Изоцитратдегидрогеназа 289
Иммобилизация аммиачного и нитратного азота в почве 215
Инактивация 71
Индолилуксусная кислота 289
Использование торфяников 364

Калийный потенциал 269
Калимагнезия 272
Кальциевая селитра 196
Кальций, содержание в почвах 145
Каолинит 87, 106. 231
Карбоангидраза 295
Карбоаммофоска 308
Карбонат и бикарбонат аммония 199..., 200
Картограммы 244
Картограмма кислотности почв 162
Картофель 512, 522...524
— белки 521
— содержание крахмала 512, 522..., 523
Капуста 527
Кварц 86, 89
Кислотность почвы актуальная 121..., 122
— влияние на растения и микрофлору почвы 121, 137...143
— гидролитическая 124...126
Кислотность почвы обменная 122...126
Классификация полевых опытов 528..., 529
Клейковина 515...518
— состав 516
— свойства 516
Кобальт 297
Кобальт-метилкорриноид 297
Кобамидные соединения 297
Комплексные удобрения 303
Компостирование 366
Компосты 366
Контрольные варианты 537...542, 553

Коферментная форма 297
B-12-коэнзимзависимая рибонуклеотидредуктаза 297
Коэффициент возмещения (возврата) питательных веществ 412...413
— выноса питательных веществ 413
— распределения питательных веществ удобрений 413
— использования питательных веществ 390...393, 498
— — — — из пожнивно-корневых остатков 393
— — — — из почвы 390, 391, 497.., 498
— — — — из удобрений 391...392, 498
Кратковременный опыт 528
Крахмал 512...514, 522...523
Круговорот веществ в земледелии 324
Кукуруза 519
— содержание белка 519

Леггемоглобин 286, 298
Лецитин
Лизиметрические воронки
Лизиметры
— бетонные или кирпичные
— металлические
Лимонная кислота 243
Локальное внесение удобрений 402.., 403
Люпины 379

Магнийпорфирины 295
Малатдегидрогеназа 289, 296
Марганец 288
Марганизированный суперфосфат 290
Мартеновский фосфатшлак 253
Массовые опыты 529
Медный купорос 287
Медь 285
Меланин 286
Малкоделяночный опыт 528
Мембранный потенциал 263
Мембраны 48, 264
Мергель 156
Местные удобрения 323, 366
Метафосфаты 225, 313
Метилмалонилизомераза 297
Методические требования к полевым опытам 529...531
Методы изолированного питания 551
— стерильных культур 551
— текучих растворов 551
Микрополевой опыт 528, 529
Микроэлементы 279, 520
Молибдат аммония-натрия 294
Молибден 290
Молибденовокислый аммоний 294
Молибденовый суперфосфат 295
Молибденовый токсикоз 292
Монтмориллонит 231
Мочевина 209, 517, 518, 519
— некорневая подкормка 517, 519
— получение, свойства, взаимодействие с почвой, применение 209.., 211
Мочевиноформальдегидные удобрения, получение, свойства, применение 212...213

Навоз 323
— бесподстилочный 348
— жидкий 334
— перегной 334
— перепревший 334
— подстилочный 327
— полужидкий 334
— полуперепревший 334
— свежий 334
— удаление 331, 350
Навозная жижа 354
Натриевая селитра, получение, свойства, применение 195, 197
Необменное поглощение почвой катионов 113...114
Нистатин 53
Нитрагин 384
Нитратредуктаза 179, 291, 298
Нитраты 179, 186, 189, 195, 291, 513
— восстановление 513
Нитритредуктаза 179
Нитрификаторы 186...188
Нитрификация 186...188
Нитроаммофос 308
Нитрозоамины 291
Нитрогеназа 291
Нитрофоска 306
Норма удобрений 405
— — оптимальная 405
— — рациональная 405
— — предельная 405
Нормативы баланса питательных веществ в почвах 412...413, 450, 453...455
Нуклеиновые кислоты 223...224
Нуклеопротеиды 223
Нуклеотиды 223

Обесфторенный фосфат 252
Обменное поглощение катионов, основные закономерности 110...113
скорость и энергия поглощения 112
Овощные культуры 527
Октаэдры 105
Определение норм минеральных удобрений 406...417, 505
— — — — расчетными методами

408...414, 505
— — — — методом нормативного баланса питательных веществ 411...414
— — — — комплексным методом 414...417
Органические удобрения 323
Ортодифенолоксидаза 285
Основное удобрение 401...403
Отрицательный заряд почвенных коллоидов
— — — — минеральных 104
— — — — органических 103
Отходы известковых заводов 157...159
Отходы электроламповой промышленности 294

Периодическое внесение фосфорных и калийных удобрений 403
Периоды поступления питательных веществ в растения 386...387
— критический 386
— максимальный 386...387
Песчаные культуры 551, 555, 556
Пироксены 267
Питательные вещества в почвах, содержание 95, 130...135
Питательные смеси 555, 556
— — для рассадных горшочков 500...501
Пластоцианин 286
Поглотительная способность почв 96...97
— — — биологическая 97...98
— — — механическая 98
— — — физическая 99
— — — химическая 100...101
— — — физико-химическая 101...113
Подкормка 404, 405, 475
— некорневая 422...424, 427, 494, 495...496, 502...504
Подсолнечник 525, 526
— жиры 525, 526
— ненасыщенные жирные кислоты 526
Подстилка 329
— соломенная 329
— торфяная 330, 362
Полевой опыт 528, 543...547
Полевые шпаты 267
Полимикроудобрения ПМУ-7 296
Полифенолоксидаза 285
Полифосфат аммония 313
Полифосфаты 311
Послепосевное удобрение 404, 405
Поташ 272
Потенциальная кислотность почвы 121...126
Потери питательных веществ из почвы 188, 191, 215
Почвенный воздух 84
Почвенные культуры 551, 552...555
Почвенные минералы 87
— — вторичные 87
— — первичные 86
— — силикаты 87
Почвенный раствор 85, 100, 121
Почвы СССР 130...135
— содержание подвижного фосфора и обменного калия 130...135
Преципитат 251
Приемы внесения удобрений 398
Признаки азотного голодания растений 183
Принцип единственного различия 529, 538, 546, 548
Припосевное удобрение 403...405
Программа опыта 529...530, 543, 548, 551, 554
Производственный опыт 528
Пропионат 297
Птичий помет 356
Пшеница 512, 516, 518
— содержание белка 512, 515...518
— стандарты 516

Размещение вариантов опыта 536...537
— рендомизированное (случайное) 536...537
— систематическое 536...537
— стандартное 537
Реакция почвы (pH) 121
Рекогносцировочные посевы 532
Ретарданты 7
Ретроградация фосфатов в почве 100...101
Реутилизация 224, 265
Рибонуклеиновая кислота 223
Рядковое удобрение 403...405

Сахар 512...513, 524...525
Сахарная свекла 512, 524...525
— — содержание сахара 512, 524...525
Селитра 195
Сидераты 375...376, 378...379
Сильвин 271
Симпласт 48
Синергизм 282
Система удобрения 385, 386
Сложно-смешанные удобрения 303
Сложные удобрения 303
Слюды 87, 267, 274
Смешанные образцы пахотного горизонта почв 543, 552
Солома на удобрение 355
Солонцы 169
Состав поглощенных катионов почв

117...119
— почвы 84—86
Сосуды для вегетационных опытов 550, 552...553, 557
— полив 552, 554
Сочетание применения органических и минеральных удобрений 325, 326, 397...398
Способы внесения удобрений 399, 493
Способы заделки удобрений 399, 488, 493...494
Сроки внесения удобрений 399, 493
Статистическая обработка результатов полевого опыта 543, 550
Стационарный опыт 528
Степень насыщенности почв основаниями 126...127
Строение кристаллической решетки минералов 104...106
Стимуляторы роста 7
Суберин 48
Сукцинат 297
Сульфат аммония 198...199
Сульфофикация 76
Суперфосфат 248
Суспендированные удобрения 317
Схема вегетационного и полевого опытов 529...530, 538...542, 548
Схема полевого опыта восьмерная 538, 539
— — — пятерная 539
— — — многофакторного или комплексного 541...542
Схемы системы удобрения в севооборотах 453, 457...460, 464, 470...471, 478...479

Твердая фаза почвы 86
Тепличные грунты 498...500
Термодинамический потенциал 268
Тетраэдры 104
Типичность, или репрезентативность, опыта 529...531, 546
Тирозин 524
Тирозиназа 285, 286
Томасшлак 252
Торф 358
— виды 358
— применение в сельском хозяйстве 362
— состав, свойства 358
— типы 358
Торфотуфы 360, 363...364
Торфовивианиты 360, 363...364
Точность результатов опыта 529...530, 533
Тургор 287

Уборка урожая в вегетационном опыте 554, 557
— — в полевом опыте 546...547
Углеводы 512...514, 519
Углекислота 85
Удобрения минеральные 178
— — азотные 178
— — простые или односторонние 178
Уравнительные посевы 532
Учет урожая в полевом опыте 546...547
— — по пробному снопу 547
— — сплошной 546...547

Факториальный опыт 529
Фекалии и фекальные компосты 370
Ферредоксин 289
Фиксация азота воздуха 193...195
Фиксация калия 274, 276
Фитаты 240
Фитин 225
Форма делянки 535...536
Формы удобрений азотных 194
Фосфоаммомагнезия 306
Фосфогипс 173
Фосфонитриламид 310
Фосфоритная мука 253
Фосфориты 245
Фосфорное голодание растений 235, 243
Фосфофруктокиназа 264
Фульвокислоты 91...92

Хемосинтез 76
Химическая мелиорация солонцов 169...177
Хлористый аммоний 199
Хлористый калий 271
Хлоркалий-электролит 272
Хлорофилл — белковый комплекс 286
Хранение бесподстилочного навоза 351
Хранение подстилочного навоза 334

Цианамид кальция — превращение в почве 211...212
— — применение 212
Цинк 294
Цитохромоксидаза 285

Щелочная фосфатаза 296

Электрохимический градиент 52
Эндемическая подагра 292
Этилен 286

Ячмень 521

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Глава I. **История развития агрохимии, химизация земледелия в СССР** 8

История развития агрохимических знаний 8
Удобрения — основной фактор подъема урожаев 15
Экономическая эффективность удобрений и темпы их производства в СССР 19
Химизация земледелия — решающий фактор подъема уровня сельскохозяйственного производства 21
Агрохимическая служба в СССР 24

Глава II. **Питание растений** 29

Химический состав растений 29
Химические элементы, необходимые растениям 33
Растения — концентраторы отдельных химических элементов 34
Соотношение элементов питания в растениях и их вынос с урожаем . . . 34
Поступление элементов питания в растения 36
Формы соединений, в которых растения поглощают элементы питания 38
Корень и его специализация как органа поглощения 42
Теория поглощения элементов питания 45
Влияние условий внешней среды на поступление питательных веществ в растения 58
Физиологическая реакция солей 74
Влияние почвенных микроорганизмов на поглощение элементов минерального питания 76
Отношение растений к условиям питания в разные периоды вегетации, периодичность питания растений 79

Глава III. **Свойства почвы в связи с питанием растений и применением удобрений** 84

Состав почвы 84
Минеральная часть почвы 86
Органическое вещество почвы 89
Содержание питательных веществ и их доступность растениям в разных почвах 95
Поглотительная способность почв 96
Биологическая поглотительная способность 97
Механическая поглотительная способность 98
Физическая поглотительная способность 99
Химическая поглотительная способность 100
Физико-химическая, или обменная, поглотительная способность . . . 101
Состав и строение почвенного поглощающего комплекса 103

Основные закономерности физико-химического, или обменного, поглощения катионов . . . 110
Необменное поглощение почвой катионов . . . 113
Емкость поглощения и состав поглощенных катионов в разных почвах 114
Обменное поглощение анионов . . . 119
Кислотность почвы . . . 120
Актуальная кислотность . . . 121
Обменная кислотность . . . 122
Гидролитическая кислотность . . . 124
Степень насыщенности почвы основаниями . . . 126
Буферная способность почвы . . . 127
Агрохимическая характеристика основных типов почв СССР . . . 130

Глава IV. Методы химической мелиорации почв. Известкование и гипсование . . . 136

Известкование кислых почв . . . 136
Отношение сельскохозяйственных растений к реакции почвы и известкованию . . . 137
Взаимодействие извести с почвой . . . 143
Значение кальция и магния для питания растений . . . 146
Эффективность известкования . . . 149
Известковые удобрения . . . 152
Твердые известковые породы . . . 153
Мягкие известковые породы . . . 155
Известковые отходы промышленности . . . 157
Установление необходимости известкования . . . 160
Нормы известковых удобрений . . . 163
Способы внесения извести . . . 165
Применение известковых удобрений в севообороте . . . 167
Гипсование солонцеватых и солонцовых почв . . . 169
Изменения, вызываемые в почве гипсом . . . 171
Эффективность гипсования . . . 171
Материалы, применяемые для гипсования почв . . . 173
Нормы, сроки и способы внесения гипса . . . 173
Применение гипса в качестве удобрения . . . 175

Глава V. Азотные удобрения . . . 178

Роль азота в питании растений . . . 178
Содержание азота в почвах и динамика его соединений . . . 185
Круговорот азота в земледелии . . . 190
Развитие производства и применение азотных удобрений . . . 193
Нитратные удобрения . . . 195
Аммиачные удобрения . . . 197
Твердые аммиачные удобрения . . . 198
Жидкие аммиачные удобрения . . . 204
Аммиачно-нитратные удобрения . . . 206
Удобрения, содержащие азот в амидной форме . . . 209
Медленнодействующие удобрения . . . 212
Использование азота удобрений растениями и его превращение в почве 213
Эффективность азотных удобрений в разных почвенно-климатических зонах . . . 216
Применение азотных удобрений под отдельные культуры . . . 217

Глава VI. Фосфорные удобрения . . . 223

Роль фосфора в жизни растений . . . 223
Источники фосфора для растений . . . 225
Химическое связывание почвами фосфатов . . . 228

Анионы фосфорной кислоты, обменнопоглощенные почвами 231
Поступление фосфатов в растения и вынос фосфора урожаем 234
Содержание и форма фосфора в почвах 239
Промышленные фосфорные удобрения 245
Сырье для производства фосфорных удобрений 245
Способы получения, состав, свойства и применение фосфорных удобрений 247
Однозамещенные фосфаты 248
Двухзамещенные фосфаты 251
Трехзамещенные фосфаты 253
Использование фосфорных удобрений 256
Припосевное внесение суперфосфата 256
Основное внесение фосфорных удобрений 257
О подкормке суперфосфатом 261

Глава VII. **Калийные удобрения** 262

Роль калия в жизни растений и содержание его в урожае 262
Месторождения калийного сырья. Производство калийных удобрений и их свойства 270
Взаимодействие калийных удобрений с почвой 273
Применение калийных удобрений под сельскохозяйственные культуры 276

Глава VIII. **Микроудобрения** 279

Значение микроэлементов 279

Глава IX. **Комплексные удобрения** 303

Сложные удобрения 305
Удобрения на основе фосфатов аммония 308
Полифосфаты 311
Жидкие и суспендированные удобрения 313
Сложно-смешанные удобрения 318
Смешанные удобрения 319
Сухое тукосмешение 321

Глава X. **Навоз** 323

Подстилочный навоз 427
Бесподстилочный навоз 348
Навозная жижа 354
Использование соломы на удобрение 355
Птичий помет 356
Городской мусор 357

Глава XI. **Торф и торфяные органические удобрения** 358

Торф 358
Состав и свойства различных типов и видов торфа 358
Применение торфа в сельском хозяйстве 362
Использование осушенных торфяников 364
Компосты 366

Глава XII. **Зеленое удобрение** 375

Приемы выращивания сидератов и формы зеленого удобрения 376
Районы применения зеленого удобрения 378
Приемы выращивания и использования отдельных сидератов 379

Условия эффективности зеленого удобрения 383

Глава XIII. **Система применения удобрений** 385

Задачи системы применения удобрений 385
Физиологические основы определения потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях 386
Влияние различных факторов на эффективность органических и минеральных удобрений 394
Совместное внесение органических и минеральных удобрений 397
Приемы, сроки, способы и техника внесения удобрений 398
Определение норм минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры 405
Определение норм минеральных удобрений на основе прямого использования результатов полевых опытов и агрохимических картограмм . . 406
Расчетные методы определения норм минеральных удобрений 408
Удобрение отдельных культур в полевых и кормовых севооборотах . . . 418
Удобрение озимых зерновых культур 418
Удобрение яровых колосовых культур 424
Удобрение зерновых бобовых культур 427
Удобрение кукурузы 430
Удобрение картофеля 432
Удобрение многолетних трав в полевых, прифермских и сенокосно-пастбищных севооборотах 437
Удобрение льна-долгунца 442
Удобрение подсолнечника 445
Удобрение сахарной свеклы 446
Составление системы удобрения в севообороте 449
Система удобрения в специальных севооборотах 461
Система удобрения в рисовых севооборотах 461
Система удобрения в севооборотах с хлопчатником 465
Система удобрения в овощных севооборотах 472
Особенности питания овощных культур 472
Применение органических удобрений 473
Применение минеральных удобрений 474
Совместное применение органических и минеральных удобрений . . . 476
Система применения удобрений в садах 479
Особенности питания плодово-ягодных культур 480
Применение удобрений в плодовых и ягодных питомниках 485
Окультуривание почвы перед закладкой плодового сада и ягодников . 486
Применение удобрений при посадке плодовых деревьев и ягодников . . 488
Удобрение молодого сада 490
Удобрение плодоносящего сада 491
Сроки, способы внесения и заделки удобрений в плодовых садах . . . 493
Удобрение пальметтных садов 495
Удобрение ягодных кустарников 495
Удобрение земляники 496
Удобрение овощных культур в закрытом грунте 497
Состав и свойства тепличных грунтов 498
Питательные смеси для рассадных горшочков 500
Применение удобрений при выращивании рассады овощных культур 501
Применение удобрений при выращивании огурцов, томатов и салата . . 502
Технология механизированных работ при хранении, доставке и внесении минеральных удобрений 507
Экономическая эффективность применения удобрений 509

Глава XIV. **Действие удобрений на состав и качество урожая** 512

Глава XV. **Полевые и вегетационные методы исследования в агрохимии** 528

Полевые опыты в агрохимии 528
Выбор участка для закладки полевого опыта 531
Подготовка участка для закладки опыта 532
Размещение опыта на участке 532
Построение схем опытов с удобрениями 538
Программа исследований в полевом опыте 543
Закладка и проведение полевого опыта с удобрениями 544
Производственный опыт и учет эффективности средств химизации в хозяйственных условиях 548
Вегетационные опыты 550
Лизиметрические исследования 558

Литература 563

Предметный указатель 565

Борис Алексеевич Ягодин,
Петр Михайлович Смирнов,
Александр Васильевич Петербургский,
Хабиб Каримович Асаров,
Борис Павлович Плешков,
Вадим Александрович Демин,
Надежда Владимировна Решетникова

АГРОХИМИЯ

Зав. редакцией *В. С. Грачева*
Художник *В. М. Лукьянов*
Редактор *Ю. Г. Челышкин*
Художественный редактор *Н. Ф. Шлезингер*
Технические редакторы *Е. В. Соломович, Н. В. Суржева*
Корректор *Д. Е. Ткачева*

БУМ.

Полевые
Выбор
Подго
Раз
По
Пр
Зан
Пр
зяи
Ве
Лы

Литера

Предме

ИБ № 2724

Сдано в набор 27.11.81. Подписано к печати 31.03.82. Т-07126. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 36. Усл. кр.-отт. 36. Уч.-изд. л. 42,74. Изд. № 237. Тираж 50 000 экз. Заказ № 3532. Цена 1 р. 80 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, М-54, Валовая, 28