

# **удобрения**

**ИХ СВОЙСТВА  
И СПОСОБЫ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Под редакцией члена-корреспондента ВАСХНИЛ  
Д. А. КОРЕНЬКОВА**



**МОСКВА «КОЛОС» 1982**

ББК 40.40

УЗ1

УДК 631.816

3УД  
У-311



Рецензент В. П. Толстоусов, заместитель председателя объединения «Союзсельхозхимия».

Авторы: Д. А. Кореньков, И. И. Синягин, А. В. Петербургский, Н. С. Авдонин, Ю. М. Капцынелъ, Н. Н. Баранов, Ю. И. Касицкий, О. В. Сдобникова, А. Д. Мочалова, К. П. Магницкий, И. А. Норкина, А. П. Кеворков, Л. Н. Собачкина, А. А. Собачкин, Л. С. Кибарева, Р. И. Синдяшкина, Ю. Г. Карцев, Н. И. Цимбалист, И. А. Шильников, К. П. Пак, И. Г. Цюрупа, И. П. Мамченков, В. А. Васильев, Н. А. Атрашкова, А. И. Хабарова, И. К. Довбан, И. Ф. Сендряков, Д. А. Филимонов, Р. А. Срапеняц.



2371-8-82

Удобрения, их свойства и способы использования/Под  
УЗ1 ред. Д. А. Коренькова. — М.: Колос, 1982. — 415 с.

В книге обобщен большой фактический материал отечественной и зарубежной агрохимической науки и передового опыта по применению удобрений. Освещены все вопросы использования минеральных, органических удобрений, микроудобрений. Все материалы рассмотрены в зональном разрезе с учетом особенностей применения удобрений под важнейшие сельскохозяйственные культуры. Большое внимание уделено вопросам известкования кислых почв и гипсования солонцов.

Рассчитана на агрономов, руководителей хозяйств.

У 3802020000—084  
035(01)—82 59—82.

ББК 40.40

631.8

© Издательство «Колос», 1982



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Решающим фактором в комплексной программе развития сельского хозяйства, намеченной решениями партии и правительства, является интенсификация сельскохозяйственного производства на базе химизации, мелиорации и комплексной механизации производственных процессов.

Наше сельское хозяйство получает все больше и больше минеральных удобрений. В 1965 г. получено 6,3 млн. т питательных веществ, в том числе азота 2,3 млн. т, фосфора 2,1 млн. т, калия 1,9 млн. т. В 1975 г. эти показатели соответственно составили 17,3 млн. т, 7,3 млн. т, 4,8 млн. т, 5,2 млн. т. В 1980 г. поставка минеральных удобрений составила более 18,5 млн. т питательных веществ, или 85,1 млн. т (в условных единицах); в 1981 г. сельское хозяйство получило более 19 млн. т питательных веществ. Решениями XXVI съезда КПСС предусмотрено значительное увеличение поставок удобрений сельскому хозяйству в одиннадцатой пятилетке. В соответствии с «Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» в 1985 г. планируется довести поставку минеральных удобрений в количестве не менее 115 млн. т в условных единицах, или 26,7 млн. т в пересчете на 100%-ное содержание питательных веществ.

Огромное увеличение производства минеральных удобрений происходит одновременно с увеличением выпуска концентрированных форм как простых удобрений, особенно фосфорных (главным образом двойного суперфосфата) и азотных (аммиачной селитры и мочевины), так и высококонцентрированных сложных удобрений. Средняя концентрация удобрений, поставляемых сельскому хозяйству нашей страны, составила: в 1965 г. — 25,1 %, в 1970 г. — 28 %, в 1973 г. — 31,3 %, в 1975 г. — 33,1 %, в 1979 г. — 35,4 %. В перспективе намечено дальнейшее расширение производства и применения высококачественных односторонних и сложных удобрений, а также тукосмесей.

В ближайшие годы концентрацию питательных веществ намечается довести до 44 %, а потребление сложных удобрений — до 35 % и организовать высококачественное тукосмешение на основе высококонцентрированных односторонних и сложных удобрений с выравненным гранулометрическим составом (мочевины, аммофоса, диаммофоса, сложных удобрений, хлористого калия и других туков). Широкое развитие тукосмешения предусматривается для обеспечения комплексного внесения удобрений с учетом данных агрохимического анализа почв обобщенных результатов

полевых опытов и биологических особенностей конкретных сортов сельскохозяйственных культур.

Перспективно создание высококонцентрированных форм азотных удобрений (с содержанием 87,5 % азота), а также удобрений, питательные вещества которых (и в первую очередь азот) не терялись бы из почвы и постепенно усваивались бы растениями. Определенное значение могут иметь ультраконцентрированные удобрения на основе элементарного фосфора и амидов фосфора, а также нитриды фосфора, в которых сумма N и  $P_2O_5$  достигает 120—150 %.

Важно повысить эффективность использования органических удобрений, объем применения которых к 1985 г. намечается довести до 1—1,2 млрд. т.

Ответственность за научно обоснованное и эффективное использование удобрений, средств защиты растений и ростовых веществ постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О создании единой специализированной агрохимической службы в стране» возложена на действующую единую агрохимическую службу. Она призвана следить за соблюдением агротехнических рекомендаций при хранении и внесении удобрений, за более экономичным и рациональным их применением.

Более 3 тыс. агрохимических пунктов и 27 тыс. механизированных отрядов плодородия в 1979 г. внесли в почву 76 млн. т туков, 822 млн. т органических удобрений, провели известкование кислых почв на 6,6 млн. га. В системе единой специализированной агрохимической службы в районах действует 3000, в областях 152 производственных объединений «Сельхозхимии», в каждой союзной республике — производственно-научное объединение. Объем агрохимических работ системы за первый год деятельности оценен в 6,1 млрд. руб.

Агрохимической наукой разработаны рекомендации по высокоэффективному использованию удобрений. Установлены закономерности питания сельскохозяйственных культур, рациональные способы, сроки и дозы применения минеральных удобрений. Уже сейчас внедрение этих разработок позволяет получать более 30 % валовой продукции растениеводства; не менее 50 % прироста урожая обусловлено применением минеральных и органических удобрений (с учетом их последствий). Например, внедрение рациональной системы удобрений на фоне высокой агротехники и использования высокоурожайных сортов сельскохозяйственных культур позволяет в большей части районов страны получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур: зерновых 40—60 ц/га, картофеля 250—400, корнеплодов 600—800, многолетних трав 80—100 ц/га.

В повышении эффективности использования удобрений большое значение имеет известкование кислых почв, которое должно предшествовать применению минеральных удобрений, особенно при больших дозах. В севооборотах целесообразно применение

минеральных удобрений в сочетании с органическими. Это важно не только при малых дозах минеральных удобрений, но и при больших. Правильное соотношение питательных веществ во вносимых удобрениях имеет особо важное значение в повышении их эффективности. Эффективность удобрений повышается на мелиорируемых землях. Очень важно на эродированных почвах сочетать внесение удобрений с приемами противоэрозионной обработки.

Специализация, концентрация и межхозяйственная кооперация вызывают необходимость изменения структуры посевных площадей, пересмотра прежних универсальных севооборотов, максимального насыщения их ведущими культурами. В этих условиях система удобрения должна правильно сочетаться с применением других средств химизации и в первую очередь пестицидов. Применение удобрений должно обеспечивать не только повышение урожайности, но и улучшение качества продукции, повышение плодородия почв, а также способствовать сохранению и улучшению окружающей среды.

В настоящей книге обобщены материалы научно-исследовательских учреждений и передовой опыт по применению удобрений. Большое внимание уделено повышению их эффективности и рациональному использованию.

Отдельные разделы написали: «Предисловие» — член-корреспондент ВАСХНИЛ Д. А. Кореньков; «Основные положения о питании растений» — член-корреспондент ВАСХНИЛ Д. А. Кореньков и кандидат биологических наук Ю. М. Капцынель; «Азотные удобрения» — член-корреспондент ВАСХНИЛ Д. А. Кореньков и доктор сельскохозяйственных наук Д. А. Филимонов; «Технология получения фосфорных удобрений» — кандидат биологических наук Ю. М. Капцынель; «Фосфорные удобрения и плодородие почв» — кандидат сельскохозяйственных наук Ю. И. Касицкий; «Качество продукции и фосфорные удобрения» — доктор сельскохозяйственных наук О. В. Сдобникова; «Калийные удобрения» — доктор сельскохозяйственных наук А. В. Петербургский; «Серные удобрения» — кандидат сельскохозяйственных наук А. Д. Мочалова; «Магниево-кальциевые удобрения» — доктор сельскохозяйственных наук К. П. Магницкий и кандидат сельскохозяйственных наук И. А. Норкина; «Комплексные удобрения» — доктор сельскохозяйственных наук А. В. Петербургский; «Микроудобрения» — кандидаты сельскохозяйственных наук А. П. Кеворков, Л. Н. Собачкина, А. А. Собачкин; «Основные способы внесения удобрений» — академик ВАСХНИЛ И. И. Синягин; «Эффективность локального внесения удобрений в различных почвенно-климатических зонах» — кандидат сельскохозяйственных наук Л. С. Кубарева; «Применение тукосмесей» — кандидат сельскохозяйственных наук Р. И. Синдяшкина; «Эффективность минеральных удобрений в разных зонах» — член-корреспондент ВАСХНИЛ Д. А. Кореньков и кандидат сельскохозяйственных наук

Ю. Г. Карцев; «Длительное применение удобрений и плодородие почв» — академик ВАСХНИЛ Н. С. Авдонин (раздел доработан членом-корреспондентом ВАСХНИЛ Д. А. Кореньковым на основе данных Географической сети опытов с удобрениями ВИУА); «Зависимость эффективности удобрений от севооборота и предшественника», «Площади питания растений», «Полегание растений и эффективность удобрений», «Осушение избыточно увлажненных почв и действие удобрений» — академик ВАСХНИЛ И. И. Синягин; «Обработка почвы и эффективность удобрений», «Орошение и эффективность удобрений» — академик ВАСХНИЛ И. И. Синягин и член-корреспондент ВАСХНИЛ Д. А. Кореньков; «Борьба с сорняками и удобрения» — академик ВАСХНИЛ И. И. Синягин и кандидат сельскохозяйственных наук Н. И. Цимбалист; «Известкование кислых почв» — кандидат сельскохозяйственных наук И. А. Шильников; «Гипсование солонцов» — доктор сельскохозяйственных наук К. П. Пак и кандидат сельскохозяйственных наук И. Г. Цюрупа; «Органические удобрения» — доктор сельскохозяйственных наук И. П. Мамченков и кандидат сельскохозяйственных наук В. А. Васильев; «Зеленое удобрение» — кандидаты сельскохозяйственных наук Н. А. Атрашкова, А. И. Хабарова, И. К. Довбан; «Механизация применения удобрений» — кандидат сельскохозяйственных наук И. Ф. Сендряков; «Экономическая эффективность применения удобрений» — доктор сельскохозяйственных наук Н. Н. Баранов; «Автоматизированные системы для агрохимических исследований и планирования урожайности сельскохозяйственных культур» — кандидат технических наук Р. А. Срапенянец.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ

Для правильного использования средств химизации и в первую очередь удобрений и получения высокого с хорошими качественными показателями урожая сельскохозяйственных культур необходимо принимать во внимание взаимосвязь внутренних и внешних условий питания растений.

**Внутренние условия питания растений.** Стойко передающиеся из поколения в поколение наследственные признаки растений определяют особенности их анатомического и морфологического строения и обуславливают их способ размножения, рост, развитие и требования к элементам питания, воде, теплу, свету и другим факторам внешней среды. Наследственные признаки могут быть изменены под сильным влиянием физических и химических воздействий.

Носителями наследственности в любых живых организмах являются нуклеиновые кислоты. Существуют две относящиеся к макромолекулярным соединениям, функционально различные нуклеиновые кислоты: дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК), которая содержится в хромосомах, хлоропластах и митохондриях, и рибонуклеиновая кислота (РНК), которая обнаружена почти во всех структурных компонентах живой клетки. Полимерные молекулы нуклеиновых кислот состоят из мономеров — нуклеотидов, которые содержат пуриновое (гуанин, аденин) или пиримидиновое (цитозин, 5-метилцитозин, урацил, тимин) основание, пентозу и остаток фосфорной кислоты.

Молекулы РНК значительно меньше, чем молекулы ДНК. К низкомолекулярным РНК относятся хромосомная и транспортная РНК с 76—85 нуклеотидами, рибосомная РНК (около 120 нуклеотидов); к высокомолекулярным — отдельные виды рибосомной РНК ( $2 \cdot 10^3$  и  $4 \cdot 10^3$  нуклеотидов) и информационной (или матричной) РНК (от нескольких до десятков тысяч нуклеотидов).

Огромное количество сочетаний нуклеотидов в ДНК и РНК, отражающее наследственные особенности, и создает то многообразие живых организмов, которое мы наблюдаем в природе. В наследственных особенностях растительных организмов заложена видовая (и сортовая) способность усваивать из внешней среды питательные вещества.

**Внешние условия питания растений.** Вода составляет 50—98 % массы живого растения. На создание 1 кг сухого вещества зерновых культур требуется в среднем 300 т воды. Установлено, что 99,8 % поглощаемой корнями воды испаряется в воздух и

только 0,2 % идет на развитие самого растения. За период вегетации на испарение растение в зависимости от его вида и густоты стояния тратит воды в 300—500 (а иногда и в 1000) раз больше массы получаемого сухого урожая. Вся возделываемая и естественная растительность нашей страны испаряет ежегодно 3500 км<sup>3</sup> воды, что примерно соответствует одной трети годовой суммы осадков в СССР.

Вода поглощается в основном путем осмоса или, иными словами, диффузии через полупроницаемую мембрану, хорошо проницаемую для воды и непроницаемую или плохо проницаемую для растворенных в воде веществ. Пространство, окруженное полупроницаемой мембраной и заполненное каким-либо водным раствором, называется осмотической ячейкой. Растворенные вещества не могут выходить через полупроницаемую мембрану или выходят с большим трудом, но поскольку концентрация воды (число молей на объем) снаружи больше, чем внутри осмотической ячейки, вода устремляется по градиенту ее химического потенциала. Чем выше концентрация растворенных веществ в осмотической ячейке, тем ниже химический потенциал воды в ней, тем больше разность потенциалов и тем сильнее приток воды. В результате осмотического притока воды в вакуоль там возникает гидростатическое давление, называемое тургорным давлением, которое противодействует дальнейшему притоку воды в клетку.

Потеря воды сверх допустимого предела приводит к необратимым изменениям в растении и его гибели. Поскольку в количественном отношении вода является главной составной частью клетки, она служит средой для большинства и субстратом (например, для фотосинтеза) для многих биохимических реакций. При очень низком содержании воды (например, в сухих семенах) обмен веществ почти прекращается.

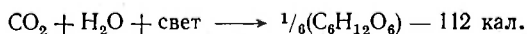
Тепло и свет. Понятие «тепловой режим почвы» включает совокупность поступления и отдачи тепла почвой и его передвижение из всех источников температуры (лучистая энергия — прямая и рассеянная радиация солнца и атмосферная радиация, тепло воздуха, тепло, возникающее от разложения органических остатков, внутреннее тепло земного шара, тепло от радиоактивных процессов, происходящих в почве). В течение вегетационного периода растений на территории европейской части СССР 1 см<sup>2</sup> поверхности почвы получает в среднем за сутки 1 ккал. В этом случае почва аккумулирует только пятую часть падающей на нее солнечной энергии, но и это количество тепла в основном расходуется на испарение воды с поверхности почвы. На процесс фотосинтеза в условиях СССР фактически в среднем используется около 1 % падающего количества тепла. Нормальная жизнедеятельность растений происходит только в определенных для каждого вида температурных пределах. Например, для большей части сельскохозяйственных культур, возделываемых в РСФСР,

оптимальной температурой является 15—30° С. Снижение температуры отрицательно влияет в первую очередь на поглощение корнями азота, затем фосфора и кальция и меньше калия.

Свет солнечных лучей неоднороден, и значение их спектров различно. Зеленые растения в основном поглощают солнечный спектр, представленный лучами с длиной волны от 380 до 760 мкм. В этой области зеленые листья разных растений имеют примерно одинаковые кривые поглощения солнечного спектра с двумя максимумами: 400—480 мкм — сине-фиолетовые и 620—680 мкм — оранжево-красные лучи и двумя минимумами: 520—580 мкм — желто-зеленые и 720—800 мкм — дальние красные и ближние инфракрасные лучи. Инфракрасные лучи имеют в основном тепловое значение. Основные фотохимические процессы в зеленых листьях совершаются при поглощении лучей с длиной волны 400—700 мкм, которое зависит от наличия пигментов в растении. Оранжево-красные лучи поглощаются главным образом хлорофиллом. Ультрафиолетовые лучи с длиной волны менее 300 мкм, которые губительно действуют на живые организмы, почти полностью задерживаются озоном атмосферы. Ультрафиолетовые лучи с длиной волны более 300 мкм, достигающие земной поверхности, составляют всего лишь 3—5 % солнечной радиации и практически полностью поглощаются (на 90—99 %) растениями. В среднем растения поглощают 40—60 % солнечной радиации, которая доходит до поверхности почвы.

Воздушное питание. Под воздушным питанием понимают поступление и ассимиляцию зелеными листьями углекислого газа из атмосферы, а также усвоение некоторого количества солей. При воздушном питании растения в первую очередь обогащаются углеродом, кислородом и водородом. В среднем в растении содержится 45 % углерода, 42 % кислорода и 6,5 % водорода. Эти элементы — основа фотосинтеза, который является единственным природным процессом связывания солнечной энергии, благодаря чему в конечном итоге создаются сложнейшие, обладающие высокой потенциальной энергией органические соединения из неорганических веществ.

Фотосинтез — это процесс взаимодействия углекислого газа и воды при участии хлорофилла, поглощающего энергию световых лучей:



Процесс фотосинтеза состоит из реакций разложения воды под действием света (фотолиз) — световая фаза и восстановления углекислого газа — темновая фаза. Первичный продукт фотосинтеза — фосfogлицериновая кислота, превращающаяся затем в углеводы, аминокислоты и другие соединения. Важным результатом реакции фотосинтеза является фосфорилирование аденозиндифосфорной кислоты (АДФ) до образования богатой энергией аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Эта энергия (макро-

эргическая энергия) может переноситься (а также передаваться обратно для образования новых количеств АТФ) почти без потерь на другие соединения или использоваться при синтезе белков нуклеиновых кислот, углеводов, жиров и других соединений.

При сгорании 1 г продуктов фотосинтеза высвобождается следующее количество тепла: углеводов до 4 ккал, белков 5,7 ккал и жиров 9,5 ккал. Зеленые растения земного шара за год фиксируют около  $17,4 \times 10^{10}$  углерода, что составляет  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$  его запаса (в виде  $\text{CO}_2$ ) в атмосфере и около 0,3—0,4 % в гидро- и тропосферах. В процессе фотосинтеза создается до 90 % сухого вещества растений.

Общая продукция органического вещества, синтезируемая растительностью земного шара, составляет (в пересчете на глюкозу) около  $4,5 \cdot 10^{11}$  т в год. Для питания животных организмов и на топливо расходуется лишь 3,5 % органического углерода, синтезированного наземной флорой.

Ежегодно в процессе фотосинтеза растения выделяют в атмосферу около  $5 \times 10^{11}$  т свободного кислорода. В результате дыхания растений, на которое идет лишь незначительная часть выделенного ими кислорода, возникает энергия, необходимая для протекания самых разнообразных жизненных процессов:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 674$  кал. Следует отметить, что субстратами дыхания могут быть не только углеводы, но и органические кислоты, белки и т. д.

Наличие того или иного количества кислорода и углекислого газа в корнеобитаемой среде оказывает определенное влияние на поглощение питательных веществ. Считается, что для многих растений максимальное поглощение минеральных солей корнями происходит при содержании в среде 2—3 % кислорода. Однако известна широкая амплитуда колебаний газового состава внешней среды, при которой растения развиваются нормально. С другой стороны, работами Н. З. Станкова с сотрудниками показана депрессирующая роль углекислоты на поглощение корнями нитратов, фосфатов и ионов аммония.

**Почвенное корневое питание.** Все питательные элементы в почвенных условиях поступают в растение через корень, разносторонняя роль которого в их жизни с точки зрения физиологии питания выражается в поглощении воды и минеральных элементов из почвы, в частичной или полной переработке поступивших ионов в различные органические соединения и транспортировке их в надземные органы растений, в синтезе физиологически активных веществ (цитокининов, гиббереллинов и других соединений), без которых не происходит нормального роста и развития надземных органов. В обычных условиях питательные элементы поступают в корни в следующих формах: неметаллы N, S, P и В — в виде анионов (нитрат, сульфат, фосфат, борат), N также в форме  $\text{NH}_4^+$  катиона; щелочные и щелочноземельные металлы K,



Ca, Mg — в виде катионов; тяжелые металлы Fe, Mn, Cu, Mo и Zn — в виде катионов (исключение — молибдат  $\text{MoO}_4^{2-}$ ); Cl — в виде хлорид-аниона.

Вносимые удобрения в почве растворяются в почвенном растворе и распадаются (диссоциируют) на ионы. На поверхности корней и корневых волосков скапливаются ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{HCO}_3^-$ , которые появляются при диссоциации угольной кислоты, образовавшейся при растворении выделившегося в процессе дыхания углекислого газа в клеточном соке. Обмен этих ионов на катионы и анионы почвенного раствора обеспечивает насыщение поверхности корней и корневых волосков ионами питательных солей. В почвенном растворе содержится только часть усваиваемых растениями питательных веществ. Основная масса ионов находится в адсорбированном состоянии в почвенном поглощающем комплексе, который постоянно обменно взаимодействует с почвенным раствором. По мере использования питательных веществ растениями содержание ионов в почвенном растворе возмещается путем перехода из твердой фазы почвы. Интенсивность обновления почвенного раствора должна быть достаточно высока: обмен ионами между жидкой и твердой фазами почвы совершается многократно в течение нескольких минут. Однако скорость высвобождения ионов из твердой фазы почвы в жидкую не является лимитирующим фактором в питании растений. Исследования показали, что скорость перехода фосфатных ионов из твердой фазы в почвенный раствор в 250 раз выше, чем скорость поглощения растениями этих ионов из почвенного раствора. Главную роль в интенсивности снабжения корней растений питательными веществами играет концентрация почвенного раствора, который находится в равновесии с твердой фазой почвы.

В то же время концентрация питательного элемента в почвенном растворе зависит от общего содержания и формы его соединений в твердой фазе почвы, взаимодействия с другими элементами, величины pH, биологической активности почвы и многих других факторов. В результате извлечения корнями из почвенного раствора питательных веществ может происходить резкое обеднение тем или иным ионом микроразновесия почвы на границе корни — почва (как это было экспериментально показано для фосфат-ионов (Levis a. Quirk, 1967)). Это обеднение ионами должно компенсироваться возмещением их содержания либо путем диффузии через жидкую фазу, либо передвижением вместе с водой (массовый поток) в связи с обусловленным транспирацией поглощением ее корнями растений. Таким образом, можно назвать три основных механизма поступления питательных веществ на поверхность корня: непосредственное соприкосновение (контакт), массовый поток (перенос с током воды) и диффузия. Для разных ионов роль этих путей неодинакова: для кальция преобладает контакт и массовый поток, для нитратов — массовый поток и диффузия, для калия и фосфора — диффузия.

Присутствие плазмалеммы (своеобразного барьера проницаемости) не приводит к выравниванию концентрации ионов внутри клетки и во внешней среде. Поступление веществ в корень, которое происходит благодаря освобождающейся в процессе обмена веществ энергии (как правило, за счет энергии АТФ), называют активным (метаболическим) транспортом в отличие от пассивного транспорта, не требующего затрат энергии. Диффузия лежит в основе пассивного транспорта веществ. Если в растворе имеется градиент концентрации какого-либо вещества, то возникает диффузия, то есть в единицу времени в сторону градиента концентрации передвигается больше частиц этого вещества, чем в противоположном направлении, благодаря чему градиент сглаживается. Количество вещества, диффундирующего в единицу времени, зависит от величины градиента, от природы диффундирующего вещества (что отражается коэффициентом диффузии данного вещества) и от температуры. Скорость диффузии уменьшается с увеличением ее продолжительности.

Ионы могут поступать в клетки корня с массовым потоком — с током воды, которую поглощают корни растений. Обобщение результатов исследований позволило (Drew a. Nye, 1962) сделать вывод о том, что не более 59—71 % питательных веществ поступает в растения с массовым потоком. Однако для некоторых ионов (например, калия) эти цифры будут значительно меньше. Bowling (1976) обнаружил, что корни подсолнечника за 24 ч поглотили калия в результате массового потока в 15 раз меньше, чем вследствие диффузии. Tanton a. Crowdy (1972) считают, что за это же время только около 5 % всего поступившего калия было поглощено с массовым током.

Механизмы активного поглощения известны только для ионов питательных веществ, так как растение обладает определенной избирательной способностью по отношению к различным ионам. Активное (метаболическое) поглощение — это биологический процесс, представляющий собой транспорт ионов в цитоплазму и далее в вакуоль с гипотетичным участием переносчиков при затратах энергии (в первую очередь благодаря АТФ). Нарушение снабжения клеток энергией (ингибиторы дыхания, отсутствие кислорода) приводит к приостановке активного транспорта. Активный транспорт при помощи переносчиков объясняет избирательность поглощения ионов, а также конкуренцию при поглощении химически близких ионов. Движение его направлено против электрохимического потенциала. С точки зрения термодинамики оно связано с уменьшением свободной энергии процесса.

В связи с тем что ионы — электрически заряженные частицы, их распределение между клеткой корня и внешней средой определяется разностью концентраций и разностью электрического потенциала (около 100 мВ) на пограничной мембране — градиентом электрохимического потенциала, что и является движущей силой потоков между средой и клеткой.

Питательные вещества наиболее энергично поступают в растения в период активного роста. У сельскохозяйственных культур наблюдается неодинаковая потребность в таких элементах, как азот, фосфор и калий. На более ранних фазах развития для создания ассимилирующей поверхности (листья) растения нуждаются в усиленном азотном питании. Для создания репродуктивных органов необходимо усиленное фосфорно-калийное питание на фоне умеренного азотного питания. Из злаков наиболее растянут период поглощения питательных веществ у озимой пшеницы и ржи. Содержание азота и калия в них достигает максимума в конце цветения — начале созревания зерна, а поступление фосфора продолжается вплоть до полной его спелости. Поступление калия прекращается уже в конце колошения озимых, после чего происходит его перераспределение между органами растения. У яровых зерновых интенсивное поглощение питательных веществ непродолжительно, например у овса 40—55 дней, у зернобобовых почти в 2 раза дольше; особенно растянуто поступление фосфора.

Часть элементов питания может поступать в растения и через листья. Но это, как показали многочисленные исследования, не может заменить корневого питания, а служит лишь подкормкой сельскохозяйственных культур. Вместе с тем показана существенная положительная роль позднелетних азотных подкормок пшеницы в повышении содержания белка в зерне.

**Влияние реакции среды на развитие растений.** Кислотность среды (рН) имеет большое физиологическое значение для всех растений, у разных видов которых, впрочем, выявлено большое разнообразие в отношении к ней. Широки исследованиями установлены оптимальные значения рН среды для нормального развития многих сельскохозяйственных растений. Наиболее вероятной причиной влияния различных значений рН на продуктивность растений является действие на характер использования элементов питания.

Известно, что в кислой среде относительно лучше поглощаются анионы, в щелочной — катионы, хотя такая зависимость и не всегда проявляется отчетливо, что связано с многими обстоятельствами (концентрацией, типом почвы, особенностями отдельных элементов питания и т. д.). Кислотность среды влияет также на ряд важнейших физиологических процессов: фотосинтез (Климашевский, 1964), синтез ростовых веществ в корнях (Андреевко и др., 1964), активность ферментативных систем (Диксон, Уэбб, 1961) и ряд других. Несмотря на то что корневые системы растений обладают известной способностью смещать рН в прикорневых микроразонах до оптимального уровня (Сабинин, 1928), в сельскохозяйственной практике эта особенность из-за большой динамичности почвенной среды недостаточна для получения высокой их продуктивности. Регуляция рН достигается известкованием кислых почв, применением соответствующих агротехнических приемов.

**Значение основных элементов питания.** Азота в составе сухого вещества растений обычно бывает 0,5—4 %. Однако азот наиболее важный элемент не только растительных организмов, но и всего органического мира. Он является обязательной составной частью белков, аминокислот, нуклеиновых кислот, хлорофилла, алкалоидов, фосфатидов, глюкозидов, многих витаминов, биологически активных соединений, ферментов. С повышением уровня азотного питания увеличивается масса фракции ядер в клетках и соотношение в них белкового и небелкового азота (Карманенко, 1968), содержание суммарной и информационной РНК в ядрах листьев (Мосолов, Чебан, 1974).

Недостаток азота в питании приводит к ослаблению или прекращению процессов жизнедеятельности всего растительного организма. В среде, которая окружает растение, азот находится в виде свободного газообразного азота атмосферы, который составляет 80 % воздуха (по объему), и в виде различных органических и неорганических соединений, основная часть которых обнаруживается в почве (аммиачный азот  $\text{NH}_4^+$ , нитратный азот  $\text{NO}_3^-$ , органический азот белков и продуктов его расщепления — аминокислот, пептидов, аминов и т. д.).

Растения значительно лучше усваивают неорганические формы азота, чем органические (за исключением мочевины, аспарагина и глутамина — соединений, относительно легко отщепляющих аммонийный азот). Причем аммонийный азот обычно используется быстрее, чем нитратный. Накопление фосфора и калия в ядрах интенсивнее идет при аммиачной форме азотного питания, чем при нитратной (Оболенская, Бузюкина, 1969). Однако на процесс преимущественного поглощения той или иной формы азота существенное влияние оказывают реакция среды, сопутствующие ионы, запас углеводов в семенах, температура, влажность и аэрация почвы и ряд других факторов. Поглощенный неорганический азот в определенной последовательности включается в синтез азоторганических соединений: сначала образуются простые, затем более сложные соединения (конституционные и запасные белки).

Для синтеза аминокислот и далее белков необходима восстановленная форма азота, поэтому нитраты благодаря ферментативному окислению углеводов должны быть восстановлены до аммиака. Аммиачный азот не накапливается в растениях, а принимает участие в образовании аминокислот из кетокислот (реакция аминирования) и аминодикарбоновых кислот — аспарагина и глутамина. Их образование происходит как результат обезвреживания аммиака при избыточном аммиачном питании, а также при его накоплении в процессе деаминирования аминокислот. Иногда обезвреживание аммиака идет путем образования аммонийных солей (например, щавелевокислого аммония) или образования в растительных тканях мочевины. Наряду с синтезом белков в растениях идут и процессы их распада до аммиака.

Таким образом, аммиак является первичным и конечным продуктом синтеза и распада белков. В молодых растениях азот белка обновляется полностью всего за три дня, а в старых листьях обновляется около 12 % белкового азота за 12 дней. Азотный обмен проходит в течение всего роста и развития растений и зависит от их вида и возраста, условий окружающей среды и других факторов.

В связи с тем что только около половины внесенного с удобрениями азота поглощается сельскохозяйственными растениями, рациональное применение азотных удобрений на фоне фосфорно-калийных и высокой агротехники может обеспечить получение высоких и устойчивых урожаев.

Без фосфора невозможна жизнь живых организмов. Подавляющее большинство процессов обмена веществ проходит лишь при его участии. Соединения фосфора в растительном организме разнообразны по химическому строению и физиологическим функциям.

Нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК) участвуют в синтезе белков, росте и размножении, передаче наследственных признаков и состоят из азотистых оснований (пуриновых или пиримидиновых), сахаров (рибозы или дезоксирибозы) и фосфорной кислоты. Эти кислоты состоят из элементарных звеньев — нуклеотидов, примером которых могут быть аденозинмоно-, ди- и трифосфорная кислоты (АМФ, АДФ и АТФ). Превращение и биосинтез углеводов, липидный и белковый обмен, обмен нуклеиновых кислот, процессы фиксации и переноса энергии (при дыхании и фотосинтезе) в растительном организме осуществляются при участии нуклеотидов.

Исследованиями последних лет показана возможность существования транспортных АТФ-аз, ответственных за поглощение (перенос) питательных ионов в клетках корня. Соединения нуклеиновых кислот и белка — нуклеопротеиды находятся в растениях; содержатся они в основном в ядре клетки и в меньших количествах в цитоплазме.

Важной группой органических соединений фосфора являются коферментные системы, играющие существенную роль в процессах дыхания и фотосинтеза, — кодегидраза I и II ди- и трифосфопиридиннуклеотид (соответственно), тиаминпирофосфат, коэнзим А и др. Соединения белковых веществ и фосфорной кислоты — фосфопротеиды также ферментируют течение ряда биохимических реакций в организме.

Фосфолипиды (или фосфатиды) — сложные эфиры глицерина, высокомолекулярных жирных кислот и фосфорной кислоты, в некоторых фосфолипидах связанной с холином, коламином или другими азотсодержащими соединениями. Фосфолипиды образуют белково-липидные молекулы, регулирующие проницаемость клеточных оболочек для различных веществ. Фитин — кальциево-магниева соль инозитфосфорной (фитиновой) кислоты являет-

ся запасным веществом, и фосфор, входящий в его состав, используется при прорастании развивающимся зародышем. Фитин обнаружен в большом количестве в семенах растений, особенно в семенах бобовых и масличных культур (до 2,5 %). Метаболизм углеводов и других веществ невозможен без образования ряда фосфорных эфиров типа гексозофосфатов.

Кроме органических фосфатов, в растениях всегда присутствуют неорганические фосфаты, которые являются, как и фитин, запасным фосфором. Кроме того, они принимают участие в создании буферных свойств цитоплазмы. Количество ортофосфата в хлоропластах 60—70 % общего кислоторастворимого фосфора, в то время как на долю органических фосфатов приходится только 40 %.

Все большее внимание в последние годы привлекает еще одна группа фосфорных соединений — полифосфаты, которые можно рассматривать как макроэргические соединения, подобные АТФ. Связанные с РНК полифосфаты быстро потребляются растениями в период их активного роста на синтез белка и нуклеиновых кислот (Белозерский, 1959; Кулаев, 1976).

Из сказанного видно, что роль как органических, так и неорганических фосфатов в жизни растений огромна, что и объясняет большой интерес к изучению фосфорного обмена.

Хотя физиологическая роль калия в растениях изучена пока недостаточно, однако имеющиеся данные позволяют сделать ряд выводов. Этот элемент питания оказывает большое влияние на углеводный обмен (преобразование и передвижение углеводов). Его наличие начинает положительно сказываться уже при фотосинтезе. Это связано с влиянием калия на активность ферментов амилазы и инвертазы. Он оказывает сильное влияние на протоплазму клетки путем увеличения гидратации ее коллоидов. Наличие этого питательного вещества в растениях положительно влияет на синтез витаминов (тиамина).

Существенное влияние калий оказывает на структуру урожая (натуру зерна, озерненность колоса, кустистость и т. д.), на устойчивость растений к низким температурам, засухоустойчивость и устойчивость к различным заболеваниям, на процесс дыхания, на окислительное фосфорилирование в митохондриях (Выскребенцева, 1963), на этерификацию поглощенного фосфора, что ведет к изменению содержания макроэргических нуклеотидов и тем самым синтеза других фосфорорганических соединений.

Наличие калия тесно связано с активацией ряда ферментов, с белковым и аминокислотным обменом. При недостатке калия аммиачный азот не включается в метаболизм, что снижает синтез аминокислот, причем размеры влияния калия на этот процесс определяются источником азота, особенно оно велико при аммиачном питании.

Разностороннее влияние калия на растения, с одной стороны, и недостаточная изученность роли его в процессах, происходящих

в растительных организмах, с другой, ставят неотложную задачу расширения и углубления исследований. Сера — один из необходимых элементов питания. Важную роль в жизни растительных организмов играют такие серусодержащие соединения, как аминокислоты (цистеин, цистин, метионин), трипептид глутатион, липоевая кислота, кофермент А, витамины (биотин и тиамин) и др. Цистин и цистеин входят в состав белков, некоторых ферментов, гормонов; они обнаружены в митохондриях. Метионин входит в белки, служит основой образования кетокислот и источником метильных групп, необходимых для синтеза многих соединений, а также донатором аминогрупп, переносимых к различным кетокислотам.

Глутатион — необходимый компонент среды для ряда ферментов. Кофермент А участвует во многих реакциях растительного организма (синтез и распад аминокислот, жирных кислот, кетонов, лимонной кислоты, фосфорсодержащих органических соединений и др.). Липоевая кислота участвует в декарбоксилировании  $\alpha$ -кислот. Тиамин входит в состав фермента кокарбоксилазы, а биотин принимает участие в процессах декарбоксилирования и карбоксилирования, а также в реакции дезаминирования некоторых аминокислот и, вероятно, в синтезе таких кислот, как щавелевокислая, аспарагиновая и др.

Важной чертой, характеризующей роль серы в растительном организме, является связь ее с общим обменом веществ и прежде всего углеводов. Этим и определяется ее место в обмене веществ.

Большую роль сера играет в синтезе масел у крестоцветных (горчица, сурепка и др.) и хлорофилла; при ее недостатке тормозится фотосинтез и возникает хлороз листьев, по внешнему виду весьма сходный с проявлением недостатка азота.

Следует иметь в виду, что положительное влияние серы на растения часто остается незамеченным, так как она воздействует главным образом не на величину урожая, а на его качество.

В растительной клетке кальций содержится в протоплазме (в более молодых клетках) и клеточном соке (главным образом в старых клетках). Такое распределение объясняется тем, что по мере старения клеток и снижения их физиологической активности часть кальция переходит в клеточный сок и откладывается в вакуолях в форме нерастворимых в воде солей; он обезвреживает образующиеся в тканях органические кислоты. Кальций — постоянный компонент многих органоидов клетки. Он обнаружен в зоне ядра, в хромосомах, хлоропластах и митохондриях. Хотя это вещество до сих пор и не обнаружено в составе простетической группы ферментов, но доказана его положительная роль в активации некоторых из них (липазы, АТФ-азы, щелочная фосфатаза и др.). По своему влиянию на ферменты кальций иногда является антагонистом магния, ингибируя те из них, которые активизируются магнием, например пируватфосфокиназу, аргининсукцинатсинтетазу.

Находясь в протоплазме, кальций оказывает существенное влияние на гидратацию коллоидов и связанную с ней вязкость протоплазмы. Хотя содержание этого вещества в корнях значительно ниже, чем в надземных органах, недостаток его в питательной среде ослабляет рост корней. Необходимость кальция для роста корней связана с тем, что он входит в состав межклеточного вещества, состоящего из пектата кальция. Недостаточное количество кальция в питательной среде приводит к ослизнению клеточных стенок корней и особенно корневых волосков. Кальций оказывает положительное влияние на поступление некоторых питательных веществ в корни (например, аммиачного азота), снижает отрицательный потенциал клетки, чем способствует лучшему поступлению анионов (например, фосфатного), и является антагонистом ряда одновалентных ионов, в частности водородного. Кроме того, кальций — один из важнейших факторов плодородия почв, что имеет решающее значение для сельскохозяйственной практики.

В растениях магний находится в свободном виде или в форме неорганических солей в клеточном соке, в связанной форме в протоплазме и в молекуле хлорофилла, в котором его содержится около 10 % общего количества этого элемента в зеленых растениях. Уже одно то, что магний содержится в хлорофилле, определяет его активное участие в важнейшем жизненном процессе — фотосинтезе.

Магний принимает участие в активации ряда ферментов, участвующих в превращении фосфорных соединений в процессах дыхания и энергетического обмена, и оказывает существенное влияние на деление клеток, синтез нуклеиновых кислот и нуклеопротеидов. Особенно заметна роль его в углеводном обмене, а также в синтезе белков, жиров и физиологически активных соединений (витамины А и С).

Большая роль принадлежит магнию в окислительно-восстановительных реакциях в растительном организме. При его недостатке усиливаются окислительные процессы. Ряд растений (сахарная свекла, многолетние бобовые травы, люпин и в меньшей степени рожь, просо) обладает высокой чувствительностью к магнию. Распределение этого питательного вещества по органам растений неравномерно: в первую очередь оно накапливается в репродуктивных органах и, в частности, в зародыше зерна. При длительном недостатке в питательной среде магний переходит из листьев в репродуктивные органы, поэтому признаки магниевых голоданий в первую очередь обнаруживают в нижних листьях.

Между содержанием магния, азота, фосфора, калия и кальция в питательном субстрате существует сложное взаимодействие, определяющее в конечном итоге величину и качество урожая. Изучение различных аспектов этого взаимодействия необходимо для выявления специфической роли магния в общем балансе питания сельскохозяйственных растений.



**Микроэлементы.** Многочисленными исследованиями было установлено, что исключение бора из питательной среды очень быстро оказывает отрицательное влияние на ход практически всех процессов в растительных организмах. При недостатке этого элемента происходит отмирание точек роста стебля и корня, что связано с ослаблением передвижения углеводов; снижается содержание нуклеиновых кислот и аденозинтрифосфорной кислоты, что, вероятно, связано с нарушениями сопряженности дыхания и окислительного фосфорилирования; уменьшается степень утилизации растением кальция и пектиновых веществ, а также активность различных ферментов.

В почвах содержится неодинаковое количество бора: в кислых (дерново-подзолистых, красноземных) его значительно меньше, чем в щелочных (сероземы, каштановые); черноземные почвы в этом отношении занимают промежуточное положение. Сельскохозяйственные растения по-разному относятся к недостатку бора. Наиболее требовательны кормовые культуры (свекла, брюква, турнепс), овощные; в несколько меньшей степени лен, клевер, подсолнечник. Менее всего нуждаются во внесении бора злаковые (пшеница, рожь, ячмень, овес).

Недостаток бора способствует возникновению ряда заболеваний сельскохозяйственных растений: бактериоза льна (особенно на сильно известкованных почвах), сердцевинной или сухой гнили свеклы, суховершинности и опробкованию плодов древесных плодовых растений (яблоня, груша).

Недостаток цинка приводит к задержке роста растений: резко нарушается рост междоузлий, что обуславливает образование приземистых форм, листья бледнеют и мельчают. Этот элемент входит в состав ряда ферментов, которые принимают активное участие в окислительно-восстановительных реакциях, происходящих в растительном организме. Недостаток цинка приводит к изменениям в фосфорном обмене (нарушается окислительное фосфорилирование), в углеводном обмене (увеличивается количество редуцирующих сахаров и уменьшается содержание сахарозы и крахмала), в белковом обмене (увеличивается содержание свободных аминокислот, что является результатом либо усиления распада белков, либо уменьшения их синтеза) и в обмене ауксинов (тормозится процесс их образования).

Содержание цинка в щелочных почвах выше, чем в кислых, хотя подвижность его, наоборот, выше в кислых почвах. Особенно часто недостаточность цинка проявляется на щелочных почвах. Относительно большое количество цинка выносят из почвы такие растения, как свекла, подсолнечник, просо и овес.

Недостаток молибдена приводит к нарушениям азотного обмена. Это связано с тем, что он входит в фермент нитратредуктазу, активность которого в значительной степени определяет скорость и полноту восстановления нитратов. Кроме того, молибден усиливает азотфиксацию клубеньковыми бактериями бобо-

вых растений. Недостаток этого элемента в питательной среде приводит к нарушениям фосфорного обмена (возрастает относительное содержание неорганического фосфора и снижается количество органического фосфора) и к снижению содержания свободной аскорбиновой кислоты.

Недостаток молибдена обычно проявляется на кислых, песчаных почвах. На щелочных и известкованных почвах он более подвижен. Наиболее чувствительны к недостатку молибдена клевер, люцерна, а также цветная капуста, шпинат, салат и другие растения семейства крестоцветных. Известкование снижает потребность растений в молибдене.

Марганец принимает участие в ряде окислительно-восстановительных реакций, происходящих в растениях в процессе фотосинтеза, в азотном обмене, синтезе аскорбиновой кислоты, активировании реакций цикла ди- и трикарбоновых кислот и др. При его участии происходит окисление закисных форм железа, что устраняет их токсичность.

Недостаток марганца приводит к заболеваниям ряда сельскохозяйственных растений, например, серой пятнистости овса, пятнистой желтухе сахарной свеклы, белой пятнистости семян гороха и др. Недостаток марганца проявляется на нейтральных и слабощелочных (но не сильнощелочных) почвах. Присутствие больших количеств железа снижает поступление марганца в растения.

Признаки недостаточности марганца в растениях усиливает избыток кальция и недостаток калия в почве. Наибольшее количество марганца выносит сахарная и кормовая свекла (600—700 г/га), много его содержится и в листьях кукурузы. Хорошие результаты при внесении марганца получают на посевах сахарной свеклы, озимой пшеницы, хлопчатнике, люцерне, картофеле, кукурузе, овощных культурах.

Медь входит в состав таких важных ферментов, как полифенолоксидаза, аскорбиноксидаза и др. Она участвует в процессе фотосинтеза, в нуклеиновом обмене, является одним из факторов, необходимых для нормальной ассимиляции азота и синтеза белка в растениях. Недостаток меди сильнее сказывается при обильном азотном питании.

Исследования показали, что при использовании аммиачного азота недостаток меди приводит к торможению синтеза белка; при нитратном азоте участие меди необходимо еще на более ранних стадиях, до образования амидов и аминокислот.

Содержание меди в щелочных, богатых органическим веществом почвах заметно выше, чем в кислых и особенно болотных, торфянистых почвах.

Недостаток меди ведет к заболеванию злаковых, бобовых и крестоцветных (так называемые болезнь обработки, белая чума, болезнь верещатиков). У плодовых и citrusовых культур при недостатке меди появляется суховершинность.

Наиболее благоприятно на внесение меди отзываются озимая и яровая пшеница, овес, просо, конопля, сахарная и кормовая свекла, овощные; меньше реагируют рожь, картофель.

Железо часто не относят к числу микроэлементов в связи с большой потребностью в нем растительных и животных организмов. Однако роль, которую оно выполняет, сходна с функциями истинных микроэлементов. Железо входит в состав важнейших ферментов — цитрохромоксидазы, пероксидазы, каталазы; участвует в построении молекул цитохромов, хлорофилла и т. д. Основным и постоянным признаком недостатка железа является нарушение синтеза хлорофилла, полноты и скорости реакций дыхания и синтеза белка. В результате появляются различные хлорозы.

Недостаток железа обычно проявляется на карбонатных и сильно переизвесткованных почвах. На кислых почвах он может быть результатом высокого содержания тяжелых металлов — марганца, меди и др. Железо доступно при анаэробных условиях в почве. Наиболее чувствительны к недостатку железа плодовые, ягодные растения, citrusовые и виноград. Реже страдают от недостатка железа полевые культуры.

Кобальт является активатором ряда ферментов, витаминов (например,  $B_{12}$ ). Он необходим для нормальной жизнедеятельности клубеньковых бактерий бобовых растений, повышает засухоустойчивость растений и оказывает влияние на ростовые процессы (в связи с его участием, как предполагают, в реакциях, ведущих к синтезу АТФ). Недостаток кобальта не только снижает урожай растений, но и приводит к заболеваниям ряда сельскохозяйственных животных.

## АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

### ПРЕВРАЩЕНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПОЧВЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ РАСТЕНИЯМИ

Азотные удобрения, внесенные в почву, претерпевают определенные химические, физические и биохимические превращения, которые могут приводить к значительным потерям азота из почвы. Потери происходят главным образом в результате вымывания нитритов ( $\text{NO}_2$ ) и нитратов ( $\text{NO}_3$ ), биологической денитрификации их, улетучивания аммиака ( $\text{NH}_3$ ) из-за неправильного внесения безводного и водного аммиака и поверхностного внесения мочевины, химической денитрификации, водной и ветровой эрозии почв и т. п.

Существует несколько путей повышения эффективности использования азотных удобрений. Решающее значение имеет правильное применение азотных удобрений, повышение коэффициента использования питательных ресурсов почвы и вносимых туков.

**Коэффициент использования азота удобрений растениями.** До применения в исследованиях  $^{15}\text{N}$  коэффициент использования растениями азота удобрений определяли разностным методом, то есть учитывали общий вынос азота урожаем в контрольном варианте (РК) и в варианте с азотным удобрением (NPK); разницу в выносе принимали за азот, использованный из удобрения.

В этом случае принималось, что в том и другом вариантах растения используют из почвы одинаковое количество азота. Однако исследования с  $^{15}\text{N}$  показали, что при внесении азотных удобрений растения, как правило, усваивают азота из почвы больше, чем в контрольных вариантах, и что непосредственно из удобрения используется значительно меньше азота, чем считалось раньше. Растения потребляют не только внесенный азот удобрений, но усваивают и минеральные соединения азота ( $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NH}_4^+$ ), содержащиеся или образующиеся в самой почве. Меченый  $^{15}\text{N}$  азот удобрений интенсивнее, чем азот почвы, используется растениями в первые 3—4 недели вегетации; затем усвоение его снижается, а через 40—50 дней (у зерновых к фазе колошения — начало цветения) в основном прекращается. К этому времени в почве меченого азота удобрений в минеральной форме ( $^{15}\text{NO}_3^-$  и  $^{15}\text{NH}_4^+$ ) практически уже не обнаруживается. Усвоение же азота почвы продолжается до конца вегетации, поэтому к уборке урожая доля его в общем выносе несколько повышается, а азота удобрений соответственно снижается.

Исследованиями с  $^{15}\text{N}$  показано, что доля азота почвы и удобрения в общем выносе в разных опытах сильно колеблется. Соотношение между азотом почвы и удобрений, их роль в питании растений зависят от дозы азотного удобрения, типа и свойств

почвы, степени ее окультуренности и предшествующей удобренности, от исходного содержания в ней усвояемого минерального азота ( $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NH}_4^+$ ) и других факторов.

С увеличением дозы удобрения доля азота почвы, его роль в питании растений снижаются. На черноземе доля азота почвы в общем выносе обычно выше, чем на дерново-подзолистых почвах. На почвах с низким исходным содержанием минерального азота доля почвенного азота ниже, а доля азота удобрений на таких бедных почвах выше, чем на почвах с более высоким содержанием усвояемого азота.

С помощью меченных  $^{15}\text{N}$  азотных удобрений установлено, что величина усвоения азота растениями в условиях вегетационных опытов составляет 50—60 % внесенного. В полевых условиях эта величина меньше и в среднем составляет, по данным разных авторов, около 40 %. Для примера приведем данные усвоения азота минеральных удобрений отдельными сельскохозяйственными культурами (табл. 1).

# 1. Усвоение азота минеральных удобрений различными сельскохозяйственными культурами

Культура	Число опытов	Коэффициент использования азота (в % внесенной дозы)	
		средний	колебания
Озимая пшеница	17	31	12—44
Яровая »	10	37	26—44
Ячмень	50	45	24—60
Овес	33	44	13—61
Кукуруза	7	40	35—63
Просо	2	44	41—46
Рис	6	19	16—22
Зернобобовые	9	53	16—61
Лен	2	34	33—36
Картофель	7	40	25—45
Чай	3	32	26—39
Травы	11	43	27—70
Итого	157	43	12—70

Полевыми и вегетационными опытами установлено, что использование азота удобрений определяется также биологическими особенностями растений. В зависимости от биологических особенностей возделываемой культуры внесенный азот либо сразу потребляется растениями (яровые зерновые), либо продолжительное время остается в почве неиспользованным (просо, картофель, кукуруза), в результате чего увеличиваются потери и уменьшается коэффициент использования. Так, в вегетационных и лизиметрических опытах, проведенных на дерново-подзолистых почвах, многолетние травы и ячмень использовали около 70 % внесенного азота, просо и лен — 56—60 %.

## 2. Урожай, содержание азота и использование азота удобрений растениями (данные Э. А. Муравина)

Вариант опыта	Урожай (в г/сосуд)		Содержание азота (в %)		Коэффициент использова- ния азота (в %)
	зерно	солома	в зерне	в соломе	
Пшеница Краснозерная					
Фон	3,6	10,7	1,86	0,40	—
Фон+корневая подкормка $\text{NH}_4\text{NO}_3$ в фазу:					
выхода в трубку	6,4	13,7	2,75	0,60	62,2
цветения	4,2	12,0	3,51	0,65	54,1
молочной спелости зерна	3,9	9,8	3,08	0,65	33,0
Ячмень Московский 121					
Фон	14,3	12,0	1,76	1,15	—
Фон+ $\text{NH}_4\text{NO}_3$ до посева	18,0	18,2	2,27	1,73	60,0
Фон+некорневая подкормка $\text{NH}_4\text{NO}_3$ в фазу молочной спелости	14,4	16,6	2,41	1,78	32,3

Коэффициент использования азота удобрений растениями в значительной степени зависит от сроков и способов внесения удобрения (табл. 2).

В таблице 3 представлены обобщенные данные опытов по изучению влияния опрыскивания аммиачной селитрой, меченной в одном случае  $^{15}\text{NH}_4$ , в другом  $^{15}\text{NO}_3$ , растений в фазу молочной спелости на усвоение азота ячменем. За 3 ч после подкормки в растение поступало 11,6—12,3 % азота. Количество поступившего в растение азота быстро возрастало и уже через 24 ч составляло в надземной части растений 18—18,5 % внесенной дозы азота. Основная масса усвоенного азота (61,1—77,6 %) накапливалась в вегетативных органах растений. Заметных различий по усвоению растениями аммиачного и нитратного азота не наблюдалось.

По данным Е. И. Нестеровой (1973), изучавшей эффективность сульфата аммония на различных по плодородию дерново-подзолистых почвах, под влиянием  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  значительно увеличивался вынос азота разными культурами в зависимости от плодородия почв. Количество азота, поступавшего из удобрений и из почвы, повышалось пропорционально увеличению степени окультуренности почв. Использование азота удобрения в зависимости от вида растений и плодородия почв колебалось в пределах 42,8—66,8 %.

Результаты изотопного анализа свидетельствуют о том, что уровень фосфорного и калийного питания оказывает значительное влияние на использование растениями азота почвы и удобрений. Е. И. Шилова (1969, 1970) в вегетационном опыте на дерново-карбонатной почве и в микрополевом опыте на пойменной почве изучала усвоение азота из  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и влияние калийного удобрения на этот процесс. Большие дозы этого удобрения (1,8 г

3. Использование ячменем меченого аммиачного и нитратного азота аммиачной селитры при некорневой подкормке в фазу молочной спелости зерна и распределение его в растениях (данные Э. А. Муравина)

Показатель	Часы после подкормки									При учете урожая		
	3			12			24			зерно	вегетатив- ные органы	всего
	зерно	вегетатив- ные органы	всего	зерно	вегетатив- ные органы	всего	зерно	вегетатив- ные органы	всего			
Общий азот (в мг/сосуд)	280	297	577	292	297	589	314	270	346	294	640	
Азот подкормки:												
в мг/сосуд	5,5* 4,4**	22,2 21,6	27,7 26,0	11,6 7,7	23,1 25,3	34,7 33,0	15,9 9,1	25,6 31,5	35,2 34,4	36,3 38,2	71,5 72,6	
в % внесенного	2,4* 2,0**	9,9 9,6	12,3 11,6	5,2 3,4	10,3 11,2	15,5 14,6	7,1 4,0	11,4 14,0	15,6 15,3	16,1 17,0	31,7 32,3	
в % поступившего	20,0* 16,9**	80,0 83,1	100 100	33,4 23,3	66,6 76,7	100 100	38,3 22,4	61,7 77,6	49,3 47,6	50,7 52,4	100 100	

\* N-<sup>15</sup>NH<sub>4</sub>  
\*\* N-<sup>15</sup>NO<sub>3</sub>

K<sub>2</sub>O на сосуд, в переводе на 1 га 360 кг) снижали усвоение азота, а также использование растениями азота минеральных удобрений.

П. М. Смирнов и сотрудники (1967) в вегетационном опыте на дерново-подзолистой почве (рН<sub>KCl</sub> 5) изучали поступление азота различных удобрений в растения овса сорта Орел на фоне внесения извести и без известкования.

На известкованных почвах использование азота составляло 53—66,6 %. Под влиянием известкования существенных изменений в использовании азота удобрений не наблюдалось, но увеличивалось потребление азота почвы.

По данным П. М. Смирнова и А. А. Сукова (1968), под влиянием азотных удобрений, а также известкования без внесения азота значительно возрастало количество азота, вынесенного растениями из почвы. В то же время больших различий между действием отдельных форм азотных удобрений не наблюдалось. Количество поступающего в растения азота удобрений изменялось незначительно. Коэффициент использования азота удобрений составлял 54,9—61 %.

Внесенный в почву азот удобрений не только используется растениями, но и под воздействием различных микроорганизмов подвергается превращениям, в результате чего содержание его в минеральной форме быстро уменьшается и значительное количество переходит в различные органические соединения. Кроме того, часть азота удобрений на разных почвах может непременно фиксироваться глинистыми минералами.

**Аммонификация и нитрификация азота в почве.** В вегетационном опыте на дерново-подзолистой почве с внесением разных форм азотных удобрений под овес (Смирнов, 1970) уже через 20 дней после начала опыта в минеральной форме было обнаружено менее половины внесенного азота удобрений. В дальнейшем содержание его продолжало уменьшаться, и через 38 дней в почве были обнаружены следы минерального азота. В условиях полевого опыта изменение содержания азота минеральных удобрений проходило менее активно.

В опыте Д. А. Коренькова и И. А. Лавровой (1973) содержание азота удобрений в минеральной форме изменялось в зависимости от возделываемой культуры (табл. 4).

В парующих почвах разного типа в зависимости от формы удобрений внесенный азот долгое время может находиться в минеральной форме. В модельных опытах, проведенных в Венгрии (Латкович, 1976), при компостировании разных почв с кальциевой селитрой (доза азота 50 мг на 100 г почвы) азот удобрений в течение всего периода инкубации обнаруживался в форме нитратов. Через 21 день опыта на черноземно-бурой лесной почве (рН<sub>N<sub>2</sub>O</sub> 7,9) 97,9 % внесенного азота было обнаружено в минеральной форме; на солончаково-солонцевой почве (рН<sub>N<sub>2</sub>O</sub> 9) через 47 дней компостирования в минеральной форме находилось бо-



#### 4. Содержание в почве азота удобрений в минеральной форме под разными культурами

Удобрение	Дней от начала опыта	Содержание азота (в % внесенного)		
		под ячменем	под просом	под льном
NaNO <sub>3</sub>	22	1,8	44,2	53,9
	58	0,6	0,9	0,5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Уборка урожая	Следы	Следы	Следы
	22	1,2	48,8	39,7
	58	0,5	0,6	0,4
	Уборка урожая	Следы	Следы	Следы

лее 90 % внесенного азота; на глинистой бурой лесной почве (рН<sub>NH2</sub>07) количество азота в форме NO<sub>3</sub> становилось постоянным на второй день опыта и в дальнейшем практически не изменялось.

Внесенная в эти же почвы мочевина (в дозе 49,9 мг N на 100 г почвы) быстро гидролизовалась, в результате чего уже на второй день опыта большая доля азота перешла в аммиачную форму, которая под воздействием нитрифицирующих микроорганизмов перешла в нитраты, вследствие чего содержание их повышалось. Максимальное накопление азота на черноземно-бурой лесной и глинистой бурой почвах было отмечено через 18 дней (на последней процесс нитрификации проходил медленнее, чем на черноземно-бурой).

На солончаково-солонцевой почве при высоком значении рН (9) в результате быстрого гидролиза мочевины образующийся аммиак терялся, вследствие чего нитрифицирующие процессы отсутствовали и нитраты не накапливались.

Скорость нитрификации аммонийного азота зависит не только от типа почвы, но и от степени ее окультуренности. На хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах нитрификация сульфата аммония протекала значительно энергичнее, чем на слабо окультуренных. На хорошо окультуренных почвах без растений на 17—20-й день опыта нитрифицировалось около 40 % азота (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, на слабо окультуренной — только 9—15 %. Через 40—50 дней опытов нитрифицировалось соответственно 54 и 32 % аммонийного азота. Еще более отчетливо эта закономерность выявилась в микрополевых опытах (Нестерова, 1973; табл. 5).

Своеобразное влияние на нитрификацию оказывают высокие дозы азотных удобрений. Так, на слабо окультуренной супесчаной почве (Нестерова, Русинова и Сирота, 1973) при дозе 11 мг азота на 100 г почвы, внесенного в виде (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, через 1,5 месяца в нитраты перешло 5,5 мг аммонийного азота; при удвоении дозы (22 мг азота на 100 г почвы) — 4,5 мг. Таким образом, на почвах со слабой нитрификационной способностью, несмотря на увеличение дозы аммиачного азота вдвое, общее коли-

## 5. Скорость нитрификации сульфата аммония (меченного $^{15}\text{N}$ ) в микрополевых опытах без растений

Почва	Степень окультуренности	pH	Нитрифицировалось (в % количества аммония, внесенного в почву)	
			на 15-й день	на 30-й день
Среднеподзолистая супесчаная	Слабая	6,8	11,5	24,0
Подзолистая супесчаная на флювиогляциальных отложениях	Повышенная	6,8	71,5	92,8
Слабоподзолистая среднесуглинистая	Высокая	5,2	78,9	96,0

чество накопившихся нитратов практически осталось одинаковым.

Существенно тормозят нитрификацию аммонийного азота переувлажнение почвы и повышенная кислотность. Известкование кислых почв заметно ускоряет этот процесс.

Таким образом, на дерново-подзолистых почвах нитрификация аммиачных удобрений протекает достаточно быстро. Интенсивность этого процесса в значительной мере зависит от окультуренности и кислотности почвы, ее биологической активности, а также от влажности, температуры и аэрации.

### ЗАКРЕПЛЕНИЕ АЗОТА УДОБРЕНИЙ В ПОЧВЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО В ОРГАНИЧЕСКОМ ВЕЩЕСТВЕ

Использование меченных  $^{15}\text{N}$  азотных удобрений показало, что в среднем 20—30 % внесенного азота закрепляется в органическом веществе почвы. Эта величина колеблется от 7 до 60 % и зависит от формы внесенного азота, типа почвы, наличия органических остатков, возделываемых растений и т. д. Из аммиачных форм удобрений и мочевины закрепляется азота в 1,5—2 раза больше, чем из нитратных. Различие в закреплении аммиачного и нитратного азота удобрений четко выявляется в опытах с аммиачной селитрой, меченной в аммиачной ( $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) или нитратной ( $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ ) группе. Во всех опытах из аммонийной группы селитры азота закрепляется больше, чем из нитратной. На хорошо окультуренных почвах, а также на почвах, богатых гумусом, при совместном внесении минеральных и органических удобрений закрепление азота возрастает.

Опыты, проведенные на темно-серых почвах разной степени эродированности (Бобрицкая, Москаленко, 1972, 1974), показали, что с повышением эродированности почв размеры закрепления азота сульфата аммония возрастают. На несмытых почвах в органическом веществе почвы было обнаружено 34,1 % внесенного азота, а на сильно смытых — 43 %.

В условиях проведения полевых опытов количество азота, закрепленного в органическом веществе, значительно больше,

чем в вегетационных. Это обусловлено тем, что в полевых условиях в почве больше остается бедных азотом корневых и пожнивных остатков предшествующих культур, разложение которых сопровождается интенсивной иммобилизацией внесенного азота.

В ряде опытов выявлена четкая зависимость количества закрепленного азота от возделываемых растений. Так, в полевых опытах (Смирнов, 1970) закрепление азота в органической форме под зерновыми культурами было больше (34—49 %), чем под картофелем и льном (24—30 %).

С повышением дозы удобрения абсолютное количество иммобилизованного азота возрастает, но относительное количество (в % внесенного) обычно снижается. Размер закрепления в почве азота сильно колеблется. Обусловлено это тем, что иммобилизация азота зависит не только от формы удобрения, но и от свойств почвы, отношения  $C:N$ , микробиологической активности, рН, температуры, аэрации, влажности и других факторов и может колебаться в широких пределах.

Иммобилизация азота выше в почвах с высокой микробиологической активностью, она зависит от величины отношения  $C:N$ . В культурных старопахотных землях с более узким отношением  $C:N$  содержится достаточно усвояемого азота, но недостаток доступного энергетического материала ограничивает развитие микрофлоры; при его добавлении иммобилизация резко усиливается. В слабо окультуренных пахотных, лесных и целинных почвах, которые имеют обычно более широкое отношение  $C:N$ , развитие микроорганизмов лимитируется недостатком усвояемого азота, а нередко и повышенной кислотностью, поэтому иммобилизация азота даже при добавлении органического вещества на этих почвах выражена значительно слабее, чем на более окультуренных. В результате в почвах с высоким содержанием гумуса азота закрепляется всегда значительно больше, чем в малогумусных. В вегетационных опытах П. М. Смирнова (1970) с внесением разных форм удобрений на дерново-подзолистые и черноземные почвы в последних азота закреплялось в 1,5 раза больше.

Существует конкуренция за азот удобрений между растениями и почвенной микрофлорой, причем  $N-NH_4$  быстрее, чем  $N-NO_3$ , используется последней. Биологическое закрепление азота удобрений происходит как в засеянной, так и в парующей почве. В засеянной почве численность микроорганизмов, особенно в ризосфере, резко увеличивается, в то же время вследствие потребления азота удобрениями растениями меньше его остается для почвенной микрофлоры. В парующей почве конкуренция между почвенной микрофлорой и растениями за азот удобрений отсутствует, иммобилизация в первый период происходит менее интенсивно, но, по данным опытов (Лаврова, 1968), суммарное количество закрепленного азота за вегетационный период в пару нередко оказывается больше, чем в почве под растениями.

По нашему мнению, процессы иммобилизации азота удобрений обусловлены поглощением микроорганизмами минеральных форм и трансформацией их в органические вещества микробных клеток и их метаболитов. Наибольшую роль играет гетеротрофная микрофлора, которая наряду с минеральными соединениями для синтеза своей биомассы нуждается и в органическом веществе — источнике энергии и углеродного питания.

Иммобилизацию минерального азота осуществляют все микроорганизмы, способные усваивать аммиачный и нитратный азот. Большая роль в этом принадлежит плесневым грибам, целлюлозоразлагающим бактериям, а также неспороносной микрофлоре, обильно населяющей не только почву вдали от корней, но и ризосферу. Изучение поглощения азота минеральных удобрений микрофлорой почвы (Тарвис, 1973) показало, что иммобилизация азота связана с размножением в почве микроорганизмов. Несомненный интерес представляет разнокачественность микробной биомассы, которая аккумулируется в почвах разной окультуренности. Способность к быстрому размножению, высокое содержание азота в биомассе ризосферных микроорганизмов, их повышенная физиологическая активность обуславливают интенсивную иммобилизацию азота в ризосфере растений.

При использовании разных форм меченых азотных удобрений (Кореньков, Лаврова, 1973, 1974) установлено, что внесенный азот минеральных удобрений уже в первые 2—3 недели обнаруживается в органических соединениях почвы. В это же время отмечается максимум иммобилизации, вслед за которой в отдельных случаях начинается минерализация закрепленного азота и некоторое уменьшение его содержания, после чего количество иммобилизованного в почве азота становится постоянным. Микроорганизмы, используя органические вещества в качестве источника пищи и энергетического материала, разлагают их, причем азотистые соединения (протены, аминокислоты и др.) свежих органических материалов уже на ранних стадиях разложения минерализуются до аммиака. В то же время микроорганизмы используют минеральные соединения азота для синтеза белка своих тел и снова переводят их в органическую форму.

Размер биологического закрепления азота зависит от количества легкодоступных микроорганизмам органических веществ в почве и от их состава, главным образом от содержания в них азота и отношения  $C:N$ .

Количество азота, необходимое для удовлетворения потребности микроорганизмов, разлагающих свежие растительные материалы, составляет 1,7—2% массы последних (Смирнов и Шилова, 1970). При таком содержании азота в свежих органических веществах и отношении  $C:N=20-25$  весь минерализовавшийся азот в процессе их разложения потребляется микроорганизмами.

При разложении органических веществ, бедных азотом, с более широким отношением  $C:N$  (выше 20—25) микроорганизмы

используют не только весь содержащийся в них азот, но и минеральные соединения азота почвы или внесенных удобрений. Поэтому чем больше запахивается в почву бедных азотом, но богатых клетчаткой органических материалов, тем сильнее биологическое закрепление минеральных соединений азота почвы и удобрений.

Биологическое закрепление азота наиболее интенсивно происходит в начальные стадии разложения растительных остатков. Позднее начинают преобладать процессы минерализации и часть ранее иммобилизованного азота освобождается в минеральной форме. По мере разложения органических веществ сужается отношение  $C:N$ , снижается количество легкодоступного энергетического материала и уменьшается численность микроорганизмов. Поэтому биологическое закрепление азота следует рассматривать как временное явление. И только при внесении в почву большого количества легкодоступных органических веществ минеральный азот может быть связан микроорганизмами в течение всей вегетации.

Сравнение скорости процессов иммобилизации и минерализации определяет преобладание одного процесса над другим и дает представление о величине обмена минерального и органического азота в почве.

Результаты исследований показали, что эти процессы зависят от формы азотного удобрения и наличия органического вещества. Максимальная скорость процессов минерализации и иммобилизации отмечена в первые пять дней опыта. В это время иммобилизация превышала минерализацию, что привело, особенно в присутствии соломы, к резкому снижению содержания минерального азота в почве. В дальнейшем скорость процессов падала, процессы минерализации стали преобладать, и в результате в почве постепенно увеличилось содержание минерального азота.

В зависимости от формы азотного удобрения, типа почвы, возделываемых растений и других условий азот может локализоваться на месте внесения или мигрировать по профилю почвы.

В условиях полевых опытов, проведенных на разных почвах Болгарии (Динчев, Баджов, 1976), установлено, что миграция азота зависит не только от формы удобрения, но и от возделываемой культуры. При внесении сульфата аммония под пшеницу основная часть азота удобрения была обнаружена на месте внесения — в слое 0—10 см, в опыте с кукурузой — в слое 0—20 см. Под пшеницей на глубине 20—30 см количество закрепленного азота не превышало 3—5 %, а под кукурузой достигало 10—12 % внесенного количества. Во всех опытах на глубине 30—40 см азот удобрений, внесенный в аммиачной форме, не обнаружен.

Несколько иным оказалось распределение в почве нитратной формы удобрения. Величина закрепления его по сравнению с аммиачной формой была значительно меньше. Основное количество сосредоточено на глубине 0—20 см и несколько меньше — в.

слое 20—30 см. В черноземных почвах миграция нитратного азота достигла 30—40 см, где было найдено 2—3 % внесенной дозы.

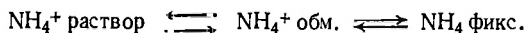
Подобные результаты были получены в лизиметрических опытах по изучению закрепления азота сульфата аммония и навоза (Варюшкина, 1974). В вариантах с навозом в почве было 65,8 % внесенного азота, который аккумулировался преимущественно в пахотном горизонте. Азот сульфата аммония в конце вегетации был найден не только в пахотном горизонте (25,2 % внесенной дозы), но и в подпахотном (14 %).

В других лизиметрических опытах (Бобрицкая и Москаленко, 1974) на разных почвах азот удобрений также аккумулировался в верхних, наиболее биологически активных слоях почвы. Азот сульфата аммония в основном связывался в слое 0—10 см, с глубиной содержание его резко уменьшалось. Азот кальциевой селитры как более подвижный в количестве 2—3 % внесенного был обнаружен на глубине 40—50 см. Результаты этих исследований свидетельствуют о преимущественной миграции нитратного азота и более глубоком закреплении его в профиле почвы.

Закрепление минеральных соединений азота в почве в трудноусвояемой растениями форме может происходить в результате фиксации  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NH}_3$  глинистыми минералами, химического связывания  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NH}_3$  почвенным органическим веществом, биологического закрепления аммиачного и нитратного азота.

**Фиксация аммиачного азота почвой и доступность фиксированного аммония для растений.** Аммоний, а также калий поглощаются почвой не только в обменной, легкоусвояемой растениями форме, частично они могут фиксироваться глинистыми минералами, имеющими трехслойную кристаллическую решетку, такими, как монтмориллонит, вермикулит и гидрослюда. Минералы с двухслойной кристаллической решеткой каолининовой группы не способны фиксировать  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$ . Необменная фиксация катионов  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$  вызывается проникновением их внутрь расширяющейся кристаллической решетки указанных выше глинистых минералов. Предложен ряд гипотез для объяснения механизма фиксации. Согласно одной из них, довольно крупные катионы  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$  (имеющие радиус 1,33 и 1,43 Å), проникая в межпакетное пространство трехслойной кристаллической решетки минералов, когда она находится в растянутом состоянии, размещаются в центре между двумя отрицательно заряженными кремнекислородными ( $\text{SiO}_2^-$ ) тетраэдрическими слоями и, электростатически взаимодействуя с ними, притягивают их к себе и вызывают сокращение решетки. Катионы оказываются внутри замкнутых пространств, образованных атомами кислорода двух кремнекислородных тетраэдрических слоев, то есть они замыкаются между двумя  $\text{SiO}_2^-$ -слоями и в этом положении становятся не способными к обменным реакциям этим слоем. Поэтому они не вызывают сокращения решетки и не фиксируются глинистыми минералами.

Фиксации катионов  $\text{NH}_4^+$  предшествует их обменное поглощение на внешней поверхности кристаллической решетки минералов. Переход обменного  $\text{NH}_4^+$  в фиксированное состояние (и обратно) совершается путем диффузии этих катионов в кристаллической решетке минералов. Существует некоторое динамическое равновесие между  $\text{NH}_4^+$  в растворе, обменно-поглощенным и необменно-фиксированным аммонием:



Фиксация  $\text{NH}_4^+$  зависит прежде всего от механического и минералогического состава почв. Почвы тяжелого механического состава, особенно в илстой фракции которых преобладают минералы монтмориллонитовой группы и гидрослюды, характеризуются большой фиксирующей способностью. Она увеличивается при увлажнении и высушивании почвы. Кислая реакция почвы снижает, а нейтральная и щелочная увеличивают способность к фиксации аммония. Предварительное насыщение почвы  $\text{K}^+$  (внешением калийных удобрений) уменьшает фиксацию  $\text{NH}_4^+$  и наоборот.

Содержание фиксированного аммония в почвах составляет 3,73—10,69 мг азота на 100 г почвы; запасы азота в фиксированной форме в слое 0—20 см составляют в среднем 86—240 кг/га, а в слое 0—100 см — 526—1608 кг/га. Аммонийфиксирующая способность исследованных почв, как правило, не превышает 5,1—12,1 % (Могилевкина, 1965).

Следует отметить, что хотя фиксирующая способность различных почв может колебаться от незначительных размеров до весьма существенных, однако в ряде случаев фиксированный аммоний остается в доступной форме.

В отношении доступности фиксированного аммония растениям и микроорганизмам получены весьма противоречивые данные. В вегетационных опытах кафедры агрохимии Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева (Петербургский и Корчагина, 1973) фиксированный аммоний использовался растениями только на 10—24 % внесенного азота.

В вегетационных опытах (Смирнов и Шилова, 1970) аммоний, фиксированный почвой или вермикулитом (искусственное насыщение  $\text{NH}_4$ ), когда он являлся единственным источником азота для растений, усваивался очень слабо (не более 10 % внесенного), но в присутствии другого, более доступного источника азота использование фиксированного аммония увеличивалось до 40 %. В опыте на сильнофиксирующей дерново-карбонатной почве растения использовали азот из  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  только на 4 % внесенного меньше, чем из  $\text{Ca } (^{15}\text{NO}_3)_2$ . Усвоение азота из селитры закончилось к фазе выхода в трубку, а из сульфата аммония продолжалось почти до уборки, то есть было более растянутым. Последнее обусловлено фиксацией ионов аммония почвой и медленным освобождением его. Содержание в почве фиксированного

аммония в течение вегетации уменьшалось постепенно. В начале опыта содержание фиксированного азота удобрений равнялось 34,6 %, затем растения постепенно использовали его, и в результате в конце опыта осталось 3,2 % внесенного азота. Результаты исследований показали, что растения практически в равной мере использовали обменно-поглощенный и фиксированный аммоний (табл. 6).

**6. Усвоение овсом обменно-поглощенного и фиксированного минералами аммония**

Минерал, место взятия образца	Внесено аммония (в мг/сосуд)		Усвоено аммония	
	обменно-поглощенного	фиксированного	в мг/сосуд	в % внесенного
Вермикулит (Кольский полуостров)	0,8	41,2	19,9	47,5
Нонтронит (Урал)	38,3	3,7	21,7	51,8

Эти же авторы изучали влияние катионов калия на фиксацию азота дерново-подзолистой почвой. Сернокислый калий вносили вместе с сульфатом аммония или заблаговременно. Опыт проводили с парующей почвой и с почвой, занятой растениями. Предварительное внесение калия резко снижало фиксацию азота из удобрения. Применение стабильного изотопа азота  $^{15}\text{N}$  позволило разграничить фиксированный аммоний на природный и из удобрений. Количество природного азота, ранее фиксированного почвой, во время вегетации практически не изменялось.

Изучение действия высоких доз калия на усвоение растениями овса и пшеницы фиксированного аммония на сильно- и слабо-фиксирующей почве показало, что двойная и тройная дозы калия по сравнению с азотом снижали усвоение фиксированного азота растениями у пшеницы на 32 и 47 %, у овса на 17 и 37 % (Шилова, Бронников, 1968). Таким образом, установлено, что присутствие большого количества водорастворимого и обменного калия в почве блокирует освобождение фиксированного аммония из глинистых минералов и резко снижает доступность его растениям и нитрифицирующим бактериям. Однако растения, а также гетеротрофные микроорганизмы, потребляя сравнительно большое количество калия и сильно обедняя им почву, снижают блокирующее его действие на освобождение и усвоение фиксированного аммония.

Несмотря на то что фиксирующая способность разных почв может колебаться от незначительных размеров до весьма существенных величин, в большинстве случаев фиксированный аммоний остается доступным растениям. Отсюда, по мнению многих авторов, фиксация азота, принципиально не изменяя ход обычных для почв химических и биологических превращений, способствует временному сохранению в почве внесенного азота удобрений.



**Химическое связывание  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NH}_3$  органическим веществом.** Аммиачный азот может связываться в необменной форме не только глинистыми минералами, но и органическим веществом почвы. Исследования показали, что гуминовые кислоты и присутствующие в почвенном органическом веществе производные лигнина — полифенолы и продукты их окисления — хиноны и гидрохиноны способны прочно связывать аммиак в форме, устойчивой к кислотному гидролизу и к микробиологическому разложению.

Химическое связывание  $\text{NH}_3$  происходит в результате присоединения его к фенольным гидроксильным группам этих органических веществ с последующим переходом его в химически устойчивую (ароматическую) форму.

Размер химического связывания  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NH}_3$  в сильной степени зависит также от содержания гумуса в почвах. Значительное связывание аммиачного азота может быть в торфяных почвах. В минеральных же почвах с невысоким содержанием гумуса (особенно в кислых дерново-подзолистых) химическое связывание аммиачного азота органическим веществом при внесении обычно принятых доз аммиачных удобрений, по-видимому, невелико и не может оказать существенного влияния на доступность растениям азота этих удобрений и на их эффективность.

**Биологическая иммобилизация аммиачного и нитратного азота.** Основная роль в закреплении как аммиачного, так и нитратного азота в большей части почв принадлежит, несомненно, биологической иммобилизации — превращению его в органическую форму. Биологическое закрепление аммиачного и нитратного азота связано с потреблением его почвенными микроорганизмами и использованием для синтеза белковых веществ их тел, а после отмирания микроорганизмов в процессе разложения и гумификации микробного белка часть связанного в нем азота включается в состав новообразующихся гумусовых веществ.

Размер биологического закрепления азота зависит прежде всего от количества легкодоступных микроорганизмам органических веществ в почве и от их состава, особенно от содержания в них азота и отношения  $\text{C}:\text{N}$ .

Известно, что для удовлетворения потребности микроорганизмов в органических материалах, разлагающихся под их воздействием, содержание азота должно быть не меньше 1,7—2 %, а отношение  $\text{C}:\text{N}=20\text{—}25$ . В этом случае весь минерализовавшийся при разложении вещества азот потребляется микроорганизмами, превращается в микробный белок. Если отношение  $\text{C}:\text{N}$  ниже 20, а содержание азота выше 2 %, то часть его при разложении органического материала освобождается в минеральной форме. И наоборот, при разложении органических веществ, бедных азотом (меньше 1,7—2 %), с более широким отношением  $\text{C}:\text{N}$  (выше 20—25), микроорганизмы используют не только весь содержащийся в них азот, но и минеральные соединения азота из почвы и внесенных удобрений и переводят их в органическую форму.

При внесении соломы, содержащей 0,5—0,7 % азота, микроорганизмами будет использовано из почвы 1—1,3 % минерального азота на единицу массы соломы (то есть 10—13 кг на 1 т соломы). Поэтому чем больше запахивается в почву бедных азотом, но богатых клетчаткой органических материалов (например, соломы), тем сильнее выражено биологическое закрепление минеральных соединений азота почвы и внесенных удобрений и тем резче будет дефицит усвояемого азота для растений.

При отмирании микроорганизмов микробный белок довольно легко и быстро разлагается и часть содержащегося в нем азота снова освобождается в аммиачной форме. Однако при внесении в почву большого количества органических веществ, богатых клетчаткой и бедных азотом, происходит интенсивное размножение микроорганизмов, наряду с отмиранием одних появляются все новые и новые их генерации, и тогда значительное количество азота переходит из поколения в поколение живой микрофлоры и не освобождается в минеральной форме в течение вегетации.

Кроме того, разложение микробного белка сопровождается синтезом гумусовых веществ. Часть поглощенного микроорганизмами азота в процессе разложения и гумификации микробного белка превращается в устойчивые к разложению формы гумусовых веществ, и этот азот на длительный срок закрепляется в труднодоступной для растений форме. В качестве источника С и N и энергетического материала микроорганизмы наряду с растительными остатками способны использовать и гумусовые вещества, хотя они и слабее доступны для микроорганизмов. Поэтому при медленном разложении гумуса биологическое закрепление азота происходит менее интенсивно, чем при разложении свежих растительных остатков.

В культивируемых почвах в качестве энергетического материала микроорганизмы, помимо почвенного гумуса, используют корневые и пожнивные остатки предшествующих культур, а также прижизненно отмирающие корни и корневые выделения растущих растений. Этим объясняется значительное закрепление в органической форме минерального азота почвы и удобрений, особенно в засеянной почве, если в нее и не добавляется специально каких-либо свежих растительных остатков (например, соломы). Имобилизация аммиачного и нитратного азота наблюдается даже и в парующей почве, где энергетическим материалом для микрофлоры может служить в основном лишь почвенный гумус.

Исследования с  $^{15}\text{N}$  показали, что значительное биологическое закрепление азота удобрений наблюдается во всех почвах, но интенсивность его зависит от многих факторов (формы и дозы азотного удобрения, срока его внесения, свойств почвы и вида культуры).

При переменной обработке почвы кислотой и щелочью внесенный азот удобрений обнаружен во всех группах и фракциях органического вещества дерново-подзолистой почвы (табл. 7).

# 7. Закрепление азота удобрений в органическом веществе почвы (в % внесенного азота)

Культура	Удобрение	1972 г.						1973 г.			
		закреплено азота						закреплено азота			
		всего азота	в гуминовых кислотах	в фульвокислотах	в нитролизонном остатке	азот в гуминовых кислотах		всего азота	в гуминовых кислотах	в фульвокислотах	азот в гуминовых кислотах (N <sub>г.к.</sub> )
						в фульвокислотах	в нитролизонном остатке				
Ячмень	NaNC <sub>3</sub>	18,5	3,5	8,3	5,0	0,42	0,42	17,7	3,8	7,8	0,48
Лен	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	26,7	6,1	11,4	6,8	0,53	0,53	27,4	5,8	11,8	0,49
	NaNO <sub>3</sub>	18,9	4,0	8,5	4,5	0,48	0,48	19,1	4,0	7,7	0,51
Многолетние травы	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	30,4	6,6	10,2	5,1	0,65	0,65	28,1	6,2	10,0	0,61
	NaNO <sub>3</sub>	18,3	2,7	6,6	3,2	0,41	0,41	20,9	3,6	7,5	0,48
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	27,1	4,8	11,6	4,4	0,41	0,41	32,6	6,2	10,3	0,57
	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	23,8	4,3	10,5	5,9	0,41	0,41	27,5	6,7	11,2	0,59

# 8. Влияние повторного внесения азотных удобрений на минерализацию ранее закрепленного азота удобрений

Год проведения опыта	Вариант опыта	Гуминовые кислоты			Фульвокислоты			Гумины	
		остаток в почве	минерализовалось	остаток в почве	остаток в почве	минерализовалось	остаток в почве	минерализовалось	
1-й	NaNO <sub>3</sub>	184,4	—	—	381,6	—	204,5	—	—
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	308,8	—	—	466,2	—	100	—	—
		100			100		100		
2-й	NaNO <sub>3</sub>	133,4	51,0	198,4	183,2	198,4	197,8	6,7	6,7
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	256,6	27,9	52,0	48,0	52,0	96,7	3,3	3,3
		84,4	47,2	177,3	288,9	177,3	237,1	20,9	20,9
			15,6	38,1	61,9	38,1	92,0	8,0	8,0

Примечание. В числителе — в мг/лиметр, в знаменателе — в % к закрепленному.

Величина закрепления азота удобрений в почве составила 17,7—32,6 % внесенного количества и оказалась больше в вариантах с сульфатом аммония и мочевиной, чем с натриевой селитрой. Максимальное количество азота закреплялось в фульвокислотах, значительно меньшее в негидролизуемом остатке и примерно столько же в гуминовых кислотах.

Отношение закрепленного азота в гуминовых кислотах к азоту, закрепленному в фульвокислотах, оказалось близким к величине отношения природного азота этих групп, что указывает на идентичный характер распределения по группам органического вещества азота почвы и удобрений.

Примерно половина азота удобрений, закрепившегося в гуминовых кислотах, извлекается при непосредственной обработке 0,1 н. щелочью и находится в свободных соединениях наиболее молодых в генетическом отношении и менее сложных. Несколько меньше азота удобрений находится в гуминовых кислотах, связанных с относительно устойчивыми гидратами полуторных оксидов и глинистыми минералами.

Содержание азота удобрений в свободных фульвокислотах и связанных с подвижными полуторными оксидами невелико и не превышает 26,1 %. Большая доля азота удобрений находится в менее подвижных фракциях фульвокислот, 26,1—43,5 % было обнаружено в трудногидролизуемых соединениях.

Исследования с применением метода меченых атомов позволили получить сведения о качественном составе иммобилизованного азота по сравнению с природным, а также сравнить степень использования закрепленного азота удобрений и почвы. Установлено, что иммобилизованный азот удобрений более подвижен. Из закрепленного азота удобрений растения используют его в 2—3 раза больше, чем из почвы. При повторном внесении минеральных удобрений подвижность ранее иммобилизованного азота увеличивается. Повторное внесение азотных удобрений оказало различное влияние на минерализацию азота, закрепленного в разных группах органического вещества (табл. 8).

Наибольшее количество азота минерализовалось в группе фульвокислот. Большая подвижность азота удобрений, закрепившегося в фульвокислотах, связана с мобильностью самих фульвокислот. Вместе с тем слабая ароматизация фульвокислот и наличие большого количества периферических цепочек, которые содержат различные функциональные группы, обуславливают способность фульвокислот к обменным реакциям.

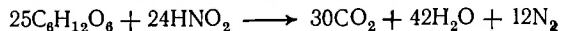
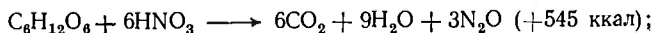
**Потери азота из почвы** могут быть вызваны следующими причинами:

вымыванием нитратов из верхнего корнеобитаемого слоя почвы в нижележащие горизонты и в грунтовые воды;

улетучиванием аммиака при поверхностном внесении (без заделки) аммиачных удобрений и особенно мочевины в богатые известью щелочные почвы. На почвах с кислой и нейтральной реак-

шей потери азота в результате улетучивания  $\text{NH}_3$  при внесении этих удобрений с заделкой в почву не происходят или они незначительны;

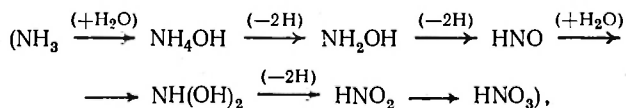
биологической денитрификацией, которая вызывается денитрифицирующими микроорганизмами. Денитрифицирующие микроорганизмы в отсутствие кислорода способны к нитратному дыханию, то есть при окислении органических веществ (до  $\text{CO}_2$ ) они используют в качестве акцептора водорода нитраты, восстанавливая их до закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) и молекулярного азота ( $\text{N}_2$ ):



(+570 ккал на моль глюкозы).

Биологическая денитрификация является многоэтапным процессом, восстановление  $\text{NO}_3^-$  до  $\text{N}_2$  идет с образованием ряда промежуточных продуктов:  $\text{NO}_2\text{NH}_2$ ,  $\text{NH}(\text{OH})$ ,  $\text{NONHOH}$ ,  $(\text{HNO})_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и др. Хотя еще и не удалось обнаружить и идентифицировать все эти продукты, но выделение из почвы некоторых из них в ходе диссимиляторного восстановления нитратов, в частности  $\text{NO}$  и  $\text{N}_2\text{O}$ , не вызывает сомнений.

Газообразные потери азота могут происходить в результате не только биологической денитрификации, но и некоторых химических реакций (хемоденитрификации) с участием нитритов. Образование нитритов как промежуточного продукта возможно в процессе нитрификации при окислении  $\text{NH}_4^+$  до  $\text{NO}_3^-$ :

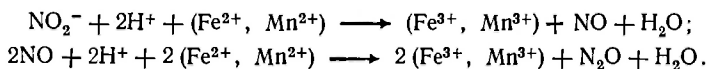


а также в ходе денитрификации при восстановлении  $\text{NO}_3^-$  до  $\text{N}_2$ . Имеются данные, что восстановление денитрифицирующими бактериями  $\text{NO}_3^-$  до  $\text{NO}_2^-$  идет с большей скоростью, чем восстановление  $\text{NO}_2^-$  до  $\text{N}_2$ , поэтому возможно некоторое накопление нитритов в ходе процесса.

Образованию и накоплению нитритов способствует слишком высокая или низкая влажность почвы, недостаточная ее аэрация и повышенная кислотность, а также внесение больших доз аммиачных удобрений вследствие ингибирующего действия аммиака на вторую фазу нитрификации. Образующиеся в почве нитриты при кислой реакции (рН 5,5 и ниже) легко разлагаются с образованием окиси азота, которая в аэробных условиях быстро окисляется до двуокиси;  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  могут улетучиваться из почвы.

Нитриты могут также взаимодействовать с  $\text{NH}_4^+$ , образуя  $\text{NH}_4\text{NO}_2$ , который разлагается до  $\text{N}_2$ :  $\text{NH}_4\text{NO}_2 \longrightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ . Потери азота возможны и в результате реакции  $\text{HNO}_2$  с  $\alpha$ -аминокислотами с выделением  $\text{N}_2$  (реакция Ван-Сляйка):  $\text{RNH}_2 + \text{HNO}_2 \longrightarrow$

—>ROH+N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O. Указанные реакции также протекают в кислой среде, в слабокислых и нейтральных почвах они маловероятны. В то же время исследователи последних лет показали возможность восстановления нитритов до NO, N<sub>2</sub>O и N<sub>2</sub> при реакции их с почвенным органическим веществом, содержащим фенольные и хинонные группы, а также восстановления их до NO и N<sub>2</sub>O при участии ионов некоторых тяжелых металлов:



Таким образом, в результате химических реакций возможно образование NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O и N<sub>2</sub>, а газообразными продуктами биологической денитрификации являются NO, N<sub>2</sub>O и N<sub>2</sub>. Выделение из почвы указанных газообразных продуктов установлено с применением <sup>15</sup>N и методов спектроскопии и газовой хроматографии.

Анализируя имеющиеся в литературе сведения, находим, что потери азота из удобрений в результате денитрификации составляют в среднем 5—30 %, а в ряде случаев и больше. Потери азота значительно увеличиваются в парующей почве и могут достигать 50—70 %. Внесение в почву совместно с минеральными удобрениями навоза, соломы или других органических материалов приводит к значительному сокращению потерь азота удобрений.

Существенное влияние на величину потерь азота оказывает форма азотных удобрений. Большинство исследователей отмечает, что потери из аммиачных удобрений меньше, чем из нитратных, что связано с большим закреплением аммиачных удобрений в почве и большей доступностью нитратных удобрений денитрифицирующим микроорганизмам, в то время как аммиачный азот может включаться в сферу их деятельности только после нитрификации.

#### ФОРМЫ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Химическая промышленность выпускает несколько принципиально разных форм азотных удобрений: аммиачные, аммонийные, нитратные, аммонийно-нитратные, амидные. Наличие разных форм азота в удобрениях определяет их агрохимические свойства и условия эффективного применения.

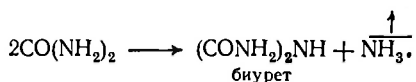
**Аммиачная селитра** (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), содержащая 34—35 % азота, наиболее распространенная форма азотных удобрений. В настоящее время выпускается в гранулированном виде. Размер основной массы гранул 1—3 мм. Упаковывают в бумажные или полиэтиленовые мешки, так как она гигроскопична и слеживается при хранении.

При использовании аммиачной селитры необходимо помнить, что одна половина азота содержится в форме аммония, который

способен поглощаться почвой, другая — в форме нитратов, обладающих большой подвижностью в почвенном растворе. Это позволяет широко дифференцировать способы, дозы и сроки применения аммиачной селитры в зависимости от свойств почвы, климата и биологических особенностей удобряемых культур. Аммиачную селитру можно успешно применять под различные культуры на всех почвах нашей страны.

**Мочевина**  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$  содержит 46 % азота. Это очень распространенное азотное удобрение. Выпускается в гранулированном виде, обладает хорошими физическими свойствами, слабо слеживается при хранении. Поставляется потребителю в полиэтиленовых или бумажных мешках.

В процессе изготовления гранулированной мочевины под влиянием высокой температуры может образоваться некоторое количество биурета:



Государственным стандартом СССР предусмотрено, что содержание биурета в мочеvine не должно превышать 1 %. Такое содержание биурета не оказывает отрицательного действия на сельскохозяйственные культуры при оптимальных дозах мочевины.

Азот в мочеvine находится в органической форме в виде амида карбаминовой кислоты. В почве разложение мочевины до углекислого аммония идет под влиянием уреазы растительных остатков и микрофлоры. Гидролиз происходит также после стерилизации почвы толуолом, следовательно, не зависит от присутствия живой микрофлоры. Видимо, возможен и другой, не ферментатический путь разложения мочевины. Так, в опытах D. Ernst (1967)  $\gamma$ -облучение повреждало почвенную уреазу, но не прекращало полностью переход мочевины в аммиак. Тем не менее скорость гидролиза мочевины зависит от количества и активности уреазы, температуры и свойств почвы. Поэтому полный гидролиз мочевины в почве зависит от многих факторов, продолжаясь от одних суток до трех недель.

Мочевина биологически кислое удобрение. По величине потенциальной кислотности она близка к аммиачной селитре.

Однако в полевых условиях в почве мочевина может иногда длительное время присутствовать в виде амида. При низкой температуре, малом содержании органического вещества в почве скорость ее разложения уменьшается. Поэтому представляет интерес вопрос о том, насколько прочно может удерживаться (закрепляться) мочевина почвой.

Работами японских (Токийский университет, доктор Матцуи) и советских (ВИУА, Д. А. Кореньков) ученых показано, что мочевина довольно прочно удерживается в почве, однако это зави-

сит от концентрации ее в почвенном растворе. При сравнении адсорбции мочевины с адсорбцией  $\text{NH}_4^+$  почвой найдена линейная зависимость адсорбции мочевины от концентрации в исследованном интервале концентраций раствора 0,0025—1,0 М, в то время как для ионов  $\text{NH}_4^+$  уже при концентрации 0,1 М  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  адсорбция достигала фазы насыщения. При низких концентрациях адсорбция мочевины оказалась слабее, чем адсорбция сульфата аммония. Непосредственная адсорбция мочевины почвой может в значительной степени способствовать предотвращению потерь азота через вымывание.

Худшее действие мочевины в сравнении с другими формами азота проявляется обычно на песчаных почвах и с высоким рН, на которых токсическое действие аммония, образующегося при разложении мочевины, наиболее реально. При этом возникает возможность потери аммиака из почвы.

В опытах ВИУА (Д. А. Филимонов и Р. А. Стрельникова) потери аммиака при поверхностном внесении мочевины изучали в зависимости от температуры, влажности, реакции среды и некоторых других факторов. В опытах использовали почву, взятую с пастбища, расположенного в пойме р. Москвы. Почва тяжелосуглинистая, рН солевой вытяжки 6,8, содержание общего азота 0,18 %, гумуса 3,6 %, полная влагоемкость 40 %. Почва обладала высокой активностью уреазы — 1,7 мг аммиачного азота на 1 г сухой почвы. Мочевину вносили из расчета 120 кг азота на 1 га.

Основное количество аммиачного азота при поверхностном внесении мочевины при температуре 28°С выделялось в первые пять суток, на 9—10-е сутки выделение затухало. Наибольшие потери аммиака из мочевины наблюдались при температуре 28°С и влажности 7—10 %. Снижение влажности до 4—5 % резко сокращало потери аммиака. При увеличении влажности почвы потери аммиака также сокращались (при влажности 30 % составляли 1,9 %). При подкислении почвы серной кислотой потери аммиака существенно уменьшались. Так, при рН 6 они составили 11 %, при рН 5—7,6 %. Заделка мочевины даже на 1,5 см резко сокращала потери аммиака; при температуре 6°С они составляли 0,2 %, при температуре 20°С — 3 %, при 28°С — 8,1 %.

Сравнение эффективности мочевины и аммиачной селитры в многочисленных опытах показало, что действие мочевины на урожай картофеля, льна, овса на дерново-подзолистых почвах и сахарной свеклы на серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах близко к действию аммиачной селитры.

Мочевину можно эффективно применять во всех почвенных зонах страны. По действию на урожай азот мочевины равноценен азоту аммиачной селитры, а в условиях орошаемого земледелия, а также при возделывании риса и чая — азоту сульфата аммония. Особо перспективно применение мочевины в районах орошения (хлопчатник) и во влажных субтропиках. Это удобрение эффективно при поверхностном внесении весной под озимые хле-



ба, а также весной в первый укос на сенокосах и пастбищах. Однако на сенокосах и пастбищах эффективность мочевины по сравнению с аммиачной селитрой ниже на 15—20 %.

**Сульфат аммония** — сернокислый аммоний  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  содержит 20,5 % азота. Специально как удобрение в нашей стране не производится, но получается в больших количествах как побочный продукт коксогазового производства и капролактамовой промышленности. Получается при взаимодействии аммиака с серной кислотой. При упаривании раствора сульфат аммония выпадает в виде кристаллов.

Сульфат аммония представляет собой кристаллический продукт белого или серого цвета. В нем могут присутствовать небольшие примеси серной кислоты, что придает удобрению слабокислую реакцию. Технический сульфат аммония, выпускаемый на удобрение, может иметь примеси  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{SiO}_2$ , следы роданистого аммония и некоторое количество органических веществ, смоляных кислот, фенола.

В сухом состоянии сульфат аммония обладает хорошими физическими свойствами и при хранении сохраняет рассыпчатость. В последнее время определенная часть сульфата аммония производится в крупнокристаллическом виде.

Внесенный в почву, сернокислый аммоний быстро растворяется и вступает в обменные реакции с катионами жидкой и твердой фаз почвы. Значительная часть катионов аммония из растворенного сульфата аммония входит в поглощающий комплекс. Находясь в поглощенном состоянии, ионы аммония приобретают меньшую подвижность, поэтому устраняется опасность вымывания азота при внесении в сильно влажную почву. Сульфат аммония наиболее эффективен в условиях орошения или избыточного увлажнения.

Растения из сернокислого аммония быстрее поглощают катион, чем анион, так как потребность их в азоте больше по сравнению с серой. В почве накапливаются кислотные остатки и подкисляют ее. Особо заметным подкисление бывает на дерново-подзолистых почвах при систематическом внесении удобрения.

Эффективность сульфата аммония зависит не только от свойств почвы, но и от особенностей возделываемых растений. Культуры, менее чувствительные к кислой реакции почвы, например овес, озимая рожь, лен, картофель, слабее реагируют на подкисляющее действие сернокислого аммония.

**Хлористый аммоний**  $(\text{NH}_4\text{Cl})$  содержит 24—25 % азота. Представляет собой белый или желтоватый мелкокристаллический порошок. В нем могут присутствовать примеси  $\text{NaHCO}_3$  (до 1 %) и  $\text{NaCl}$  (около 3 %). В 100 см<sup>3</sup> воды при 20° С растворяется 37,4 г удобрения. В продукте содержится 66 % хлора, поэтому при внесении его в почву вносится много хлора, что отрицательно сказывается на урожае и качестве культур, чувствительных к хлору (картофель, гречиха, лен, виноград, табак, цитрусовые, плодово-

ягодные, овощные, эфиромасличные, лекарственные растения и др.). Хлористый аммоний физиологически кислое удобрение. Ввиду указанных отрицательных свойств он не находит широкого применения в сельском хозяйстве.

**Карбонат аммония**  $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$  и **бикарбонат аммония**  $(\text{NH}_4\text{HCO}_3)$ . Карбонат аммония — кристаллический продукт белого цвета. Получают его насыщением аммиачной воды углекислотой с последующей отгонкой карбоната аммония. Очень нестойк, на открытом воздухе разлагается с выделением аммиака и переходит в бикарбонат аммония. Технический продукт содержит 21—24 % азота и представляет смесь карбоната аммония, бикарбоната аммония и карбамата аммония.

Бикарбонат аммония получают на основе адсорбции газообразного аммиака и углекислоты раствором карбоната аммония. Удобрение содержит около 17 % азота и обладает несколько большей устойчивостью по сравнению с карбонатом аммония, но все же при хранении, перевозках и внесении не исключены значительные потери азота.

Агрономическая эффективность двууглекислого аммония при заделке его в почву сразу после внесения приравнивается к эффективности аммиачной селитры. Эффективность этого удобрения резко снижается, если его долго не заделывают в почву. Характеризуется плохой сыпучестью.

**Натриевая селитра**  $(\text{NaNO}_3)$  содержит 16 % азота. Получают ее при производстве азотной кислоты из аммиака путем щелочной адсорбции окислов нитрозных газов. Особенно благоприятно действует на корнеплоды и в частности на сахарную свеклу, которая положительно реагирует на натрий.

**Кальциевую селитру**  $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$ , содержащую 15,5 % азота, вследствие гигроскопичности перевозят и хранят во влагонепроницаемых мешках. Для уменьшения гигроскопичности кристаллическую соль кальциевой селитры смешивают с гигрофобными добавками в количестве 0,5—1 % массы (например, с парафинистым мазутом). Для улучшения физических свойств к концентрированному раствору в процессе производства добавляют 4—7 % нитрата аммония с последующей грануляцией продукта. Такое удобрение менее гигроскопично и хорошо рассеивается. Кальциевая селитра физиологически щелочное удобрение, поэтому ее наиболее целесообразно использовать на кислых дерново-подзолистых почвах, особенно для подкормки озимых культур.

**Известково-аммиачная селитра**  $(\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{CaCO}_3)$  содержит 18—20 % азота. Широко производится в странах Западной Европы. В СССР ее не выпускают, так как она более дорогая и менее транспортабельная, чем аммиачная селитра, хотя и обладает лучшими физическими свойствами по сравнению с последней.

**Цианамид кальция**  $(\text{CaCN}_2)$  содержит 19—20 % азота. Свободный цианамид переходит в дицианамид  $(\text{H}_2\text{CN}_2)_2$  и мочевины  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ , затем в углекислый аммоний.

Пыль цианамиды, попадая в глаза и дыхательные органы, вызывает воспаление слизистой оболочки, разъедает кожу, поэтому при работе с ним необходимо соблюдать соответствующие меры предосторожности. В нашей стране цианамид кальция используют в основном для дефолиации хлопчатника, в качестве удобрения его почти не применяют.

**Жидкий (безводный) аммиак** содержит 82,2 % азота. Ввиду высокой упругости паров жидкий аммиак хранят в специальных толстостенных стальных цистернах, рассчитанных на давление 20 атм и более. Плотность жидкого аммиака изменяется в зависимости от температуры (табл. 9).

9. Физические свойства жидкого аммиака при различной температуре

Температура (в °C)	Упругость паров (в атм)	Удельный вес	Содержание азота (в кг) в 1 м <sup>3</sup> аммиака
—30	1,18	0,67	551
—10	2,87	0,65	534
0	4,24	0,64	526
10	6,08	0,63	517
20	8,46	0,61	501
30	11,51	0,59	484
40	15,34	0,58	477

При хранении аммиака в герметических сосудах под давлением он разделяется на две фазы: жидкую и газообразную. Вследствие большой упругости паров емкости для хранения и транспортировки жидкого аммиака заполняются не полностью, а на 85 % полного внутреннего геометрического объема сосуда. Жидкий аммиак корродирует медь, цинк и их сплавы, но является практически нейтральным по отношению к железу, чугуну, стали.

**Водный аммиак, или аммиачная вода**, — раствор аммиака в воде, содержащий 20—25 % аммиака. Для удобрений применяют водный аммиак двух сортов: с содержанием 25 % аммиака (20,5 % N) и с содержанием 20 % аммиака (16 % N). При температуре 15°С удельный вес водного аммиака первого сорта составляет 0,910, второго сорта — 0,927.

Аммиак имеет незначительное давление (упругость) паров над своим водным раствором. Для 25 %-ного водного аммиака при температуре 40°С давление составляет 0,15 атм. Водный аммиак 25 %-ный замерзает при очень низкой температуре (—56°С), 20 %-ный — при —33°С.

Азот в этих удобрениях (безводный аммиак, водный аммиак) находится в основном в форме свободного аммиака и только незначительная его часть (в водном аммиаке) — в виде катиона  $\text{NH}_4^+$ . Это определяет их отличие от твердых нитратных и ammo-

нийных азотных удобрений не только по физическим, но и по агрохимическим свойствам.

Для решения практических вопросов, связанных с применением жидких азотных удобрений, важно было выяснить действие различной концентрации аммиака в почве на развитие сельскохозяйственных растений. Полное прорастание семян хлопчатника на сероземе, сахарной свеклы на выщелоченном черноземе, кукурузы и льна на дерново-подзолистой суглинистой почве наблюдалось при внесении 100 мг аммиачного азота на 1 кг сухой почвы. Концентрация 200 мг аммиачного азота на 1 кг почвы и более снижала энергию прорастания и общую всхожесть семян. При концентрации 500 мг семена хлопчатника совсем не прорастали, всхожесть семян сахарной свеклы сократилась вдвое, семена кукурузы — на 35 %, льна — на 30 %.

По агрономической эффективности жидкий аммиак не уступает твердым азотным удобрениям, а в некоторых случаях может быть более эффективен, в частности на легких почвах в условиях орошения или в увлажненных районах.

При организации применения жидких азотных удобрений важно, чтобы хозяйства были полностью обеспечены необходимыми современными техническими средствами для их хранения, транспортировки и внесения. Чтобы исключить потери азота при улетучивании аммиака в воздух, жидкие азотные удобрения необходимо заделывать в почву в зависимости от дозы азота и типа почв на глубину: безводный аммиак — 14—18 см, водный аммиак — 10—12 см. В условиях крупнокомковатой почвы глубину заделки требуется увеличить в 1,2—1,5 раза.

Вносить жидкие азотные удобрения (учитывая локальность размещения аммиака) необходимо при расстановке подкормочных сошников под полевые культуры сплошного посева на 25 см, а на лугах и пастбищах на 30—35 см.

Аммиакаты получают путем растворения в водном аммиаке аммиачной селитры, мочевины и других азотсодержащих солей. Они очень разнообразны как по общему содержанию (концентрации) азота, так и по соотношению его различных форм: свободного аммиака, связанного аммиака, амидного азота, нитратного и аммонийного азота. В связи с этим они разнообразны и по физическим свойствам, удельному весу, температуре, кристаллизации и т. д.

Состав и физические свойства некоторых аммиакатов представлены в таблице 10.

Аммиакаты имеют довольно высокую концентрацию по азоту — 35—50 %. С другой стороны, они заметно отличаются температурой начала кристаллизации от 14° до —70°С. Поэтому зимой на период хранения необходимо выпускать аммиакаты с низкой, а летом, наоборот, с более высокой температурой кристаллизации. Все аммиакаты имеют довольно большой удельный вес, что положительно отражается на них перевозке и хранении.

# 10. Физические свойства некоторых аммиаков

Аммиакат	Содержание азота (в %)	Состав (в %)	Упругость, паров (в атм) при температуре (в °C)			Температура кристаллизации (в °C)	Удельный вес при 15 °C	Содержание азота в 1 м³ аммиака (в кг)
			15	32	40			

## Аммиакаты с умеренной упругостью паров

Аммиакат аммиачной селитры	37,0 41,0 44,0	17-67-0 26-56-0 24-70-0	— — —	— 0,54 0,68	0,07 1,11 1,22	9 -32 -3	1,182 1,078 1,147	437 442 506
Аммиакат мочевины	35,0 37,1	20-0-41 20-0-35	— —	0,20 0,68	0,61 1,11	14 1	1,020 1,050	357 390
Аммиакат аммиачной селитры и мочевины	41,0	19-58-11	—	0,27	0,68	-14	1,161	476

## Аммиакаты с повышенной упругостью паров

Аммиакат аммиачной селитры	45,1 47,1 50,8	26-68-0 30-64-0 43-45-0	— 0,34 1,63	0,88 1,49 3,60	1,63 2,04 4,89	-21 -36 -71	1,124 1,095 0,984	507 515 503
Аммиакат мочевины	45,3 45,5 46,0	31-0-43 37-0-32 31-0-44	0,88 1,02 0,88	2,17 2,71 2,45	3,26 3,87 3,46	8 -9 5	0,973 0,990 0,972	441 422 447
Аммиакат аммиачной селитры и мочевины	43,0 45,2 49,5	20-68-6 30-51-6 37-40-11	0,07 0,54 Не изменилась	0,66 1,29 Не изменилась	1,49 1,83 4,08	-10 -22 Не установлена	1,165 1,057 1,039	501 478 514

Примечание. В составе указано содержание: первая цифра — аммиак, вторая — аммиачная селитра, третья — мочевина.

Подобно всем аммонийным солям, особенно содержащим свободный аммиак, аммиакаты вызывают коррозию сплавов с медью, а аммиакаты с аммиачной селитрой вызывают очень сильное окисление и черных металлов. В связи с этим их хранение, перевозка и внесение требуют особых условий, а именно наличия емкостей из алюминия или его сплавов, из нержавеющей стали, из биметалла, или обычных стальных цистерн с защитным антикоррозийным покрытием специальными лаками (эпоксидные смолы), или резервуаров из полимерных материалов. Кроме того, применяются особые вещества — ингибиторы, уменьшающие коррозию.

По действию на урожай сельскохозяйственных культур аммиакаты равноценны твердым азотным удобрениям. В СССР наиболее широкое применение получили углеаммиакаты.

**Растворы аммиачной селитры и мочевины.** Концентрированные растворы не содержат свободного аммиака, и их можно хранить даже в открытых резервуарах, не опасаясь потерь азота. Однако некоторые растворы, особенно содержащие нитратные (окисленные) соли, нельзя хранить в простых стальных цистернах, так как они вызывают сильную коррозию. Необходимо соблюдать те же условия, что и при хранении аммиакатов аммиачной селитры.

Растворы аммиачной селитры и мочевины получают не путем растворения готовых удобрений, а используют неупаренные щелоки, то есть полупродукты этих солей. Выпуск таких растворов освобождает от дорогих операций (выпаривания воды, гранулирования, упаковки). В СССР находит распространение раствор аммиачной селитры и мочевины под названием плав. Это прозрачная или желтоватая жидкость с удельным весом 1,26—1,33. Общее содержание азота 30—32 %. Реакция раствора нейтральная или слабощелочная. В 1 м<sup>3</sup> раствора содержится 424 кг азота.

**Медленно действующие азотные удобрения.** Для равномерного обеспечения сельскохозяйственных культур азотным питанием азотные удобрения часто приходится применять дробно. Разовое внесение полной дозы приводит к неравномерному поступлению азота в растения, нерациональному его использованию и к прямым потерям, связанным с выщелачиванием и биологическими процессами в почве.

Для предотвращения потерь минеральных удобрений в почве вследствие вымывания их осадками и при искусственном орошении, которые достигают иногда половины внесенных удобрений, а также для разового внесения удобрений и непрерывного их действия в течение всего вегетационного периода или даже нескольких вегетационных периодов во многих странах продолжают поиски методов производства и применения медленно и продолжительно действующих минеральных удобрений. В настоящее время существует несколько направлений в получении таких удобрений.

**Мочевино-формальдегидные удобрения (МФУ)** — продукты конденсации мочевины с формальдегидом. Концентрированные азотные удобрения содержат 38—40 % азота, из которых 8—10 % находится в водорастворимой, а остальные 30—32 % — в водонерастворимой, но доступной для растений форме.

Конденсация растворов мочевины с формальдегидом идет в кислой среде. При конденсации образуется смесь, состоящая из остатков молекул мочевины, связанных между собой метиленовыми группами ( $\text{CH}_2$ ) и содержащих некоторое количество метоксильных групп ( $\text{CH}_2\text{OH}$ ).

Готовый продукт представляет собой белый рассыпчатый порошок. Мочевино-формальдегидные удобрения малогигроскопичны и при хранении не слеживаются. Характерной особенностью этих удобрений является различная степень доступности азота для растений.

Одним из главных показателей, характеризующих свойства мочевино-формальдегидных удобрений, является индекс усвояемости, то есть то количество нерастворимого в воде азота, которое растворяется в нем при кипячении в течение 1 ч. Величину индекса усвояемости выражают в процентах водонерастворимого азота. В зависимости от реакции, температуры, молярного отношения мочевины к формальдегиду и продолжительности конденсации индекс усвояемости МФУ может колебаться от 15 до 55. В практике некоторых зарубежных стран величина индекса усвояемости условно соответствует количеству азота, который нитрифицируется в течение шести месяцев пребывания в почве.

Важным показателем эффективности медленно действующих удобрений является степень нитрификации их в почве в зависимости от времени. Зависит она от свойств почвы, но в большей степени от индекса усвояемости. Нитрификация мочевино-формальдегидных продуктов при компостировании их в дерново-подзолистой суглинистой почве при температуре 25—28°С и влажности 50 % от полной влагоемкости показана в таблице 11.

Результаты опыта показывают, что интенсивность аммонификации и нитрификации мочевино-формальдегидных продуктов намного слабее по сравнению с мочевиной. Мочевино-формальдегидные удобрения с высоким индексом усвояемости водорастворимые формы азота в почве накапливали быстрее, чем с низким индексом усвояемости.

Существенное влияние на скорость превращения медленно действующих азотных удобрений оказывает реакция почвы. Известкование увеличивает скорость и степень их нитрификации. С внесением повышенных доз мочевино-формальдегидных удобрений в почву последние, так же как и мочевина, подщелачивают почву, однако по мере минерализации этих продуктов почва постепенно подкисляется.

В обычных условиях мочевино-формальдегидные удобрения проявляют несколько меньшую эффективность по сравнению с

## 11. Превращение МФУ и мочевины в почве

Вариант опыта	Индекс усвоения	Содержание на 100 г почвы (в мг)							
		продолжительность опыта (в днях)							
		10		30		60		100	
		N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>
МФУ № 1	52,1	11,4	1,6	10,2	11,2	9,1	17,4	9,1	27,7
МФУ № 2	31,6	10,0	1,6	9,0	9,2	8,3	14,0	9,1	20,2
МФУ № 3	19,8	9,9	1,3	7,6	7,0	8,4	8,5	8,8	11,4
Мочевина	—	27,4	2,1	12,4	22,1	11,4	29,2	10,6	28,3
Почва без удобрений	—	11,1	1,6	8,1	5,2	8,0	5,7	6,3	7,6

## 12. Эффективность медленно действующих удобрений при ежегодном и запасном их внесении под кукурузу

Вариант опыта	Урожай зеленой массы кукурузы (в ц/га)						Прибавка (в ц/га)	
	среднее за 6 лет							
	1962 г.	1963 г.	1964 г.	1965 г.	1966 г.	1967 г.		
Фон (навоз, известь, РК)	214,2	227,8	248,8	542,9	396,7	307,9	323,1	— 68,8
Фон+МФУ 600* в 1962 г.	292,4	227,4	337,0	670,0	484,6	339,9	391,9	
Фон+МФУ 600* (300 в 1962 г. + 300* в 1965 г.)	291,7	267,0	303,0	739,4	494,6	366,0	410,3	87,2
Фон+МФУ 100* ежегодно	261,1	250,6	306,4	695,1	513,6	371,0	399,6	76,5
Фон+CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> 10* ежегодно	252,9	228,1	335,4	718,6	577,3	400,4	418,5	95,4
Фон+NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 100* ежегодно	283,1	205,3	321,9	720,2	591,7	394,0	419,5	96,4

\* Доза азота (в кг/га).



растворимыми формами. Однако они оказывают высокое последствие, что позволяет вносить их в запас на ряд лет. Данные опытов ЦОС ВИУА показывают высокую эффективность мочевино-формальдегидного удобрения, внесенного в запас на ряд лет. Однако в среднем МФУ несколько уступало по своему действию на урожай зеленой массы кукурузы по сравнению с растворимыми формами (табл. 12).

Преимущество слаборастворимых удобрений перед обычными проявляется в условиях орошения, на почвах с высокой биологической активностью. Так, по сведениям СоюзНИХИ сочетание МФУ с растворимыми формами на сероземных почвах в орошаемых условиях обеспечивает повышение урожая хлопка по сравнению с использованием только растворимых форм (табл. 13).

13. Влияние форм азотных удобрений на урожайность хлопчатника

Формы азотных удобрений, дозы и сроки их внесения			Урожай хлопка (в ц/га)	Прибавка от азотных удобрений (в ц/га)
до посева	в фазу бутонизации	в фазу цветения		
Контроль (без азота)	—	—	20,4	—
N <sub>50</sub> — NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	N <sub>50</sub> — NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	N <sub>50</sub> — NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	30,3	9,9
N <sub>50</sub> — CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	N <sub>50</sub> — CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	N <sub>50</sub> — CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	32,2	11,8
N <sub>100</sub> — МФУ (14)	N <sub>50</sub> — NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	—	28,2	7,8
N <sub>100</sub> — МФУ (22)	То же	—	27,7	7,3
N <sub>100</sub> — МФУ (35)	» »	—	30,0	9,6
N <sub>100</sub> — МФУ (41)	» »	—	32,9	12,5
N <sub>100</sub> — МФУ (48)	» »	—	34,2	13,8
N <sub>100</sub> — МФУ (55)	» »	—	34,5	14,1

В последние годы выявлена высокая эффективность МФУ при внесении под лен, а также под овощные культуры, где применяются высокие дозы азотных удобрений.

**Мочевино-ацетальдегидное удобрение (уреа-Z)** содержит 36—38 % азота. По своим свойствам близко к мочевино-формальдегидному удобрению, но в ряде случаев превосходит его по эффективности. Возможно получение удобрения при конденсации мочевины со смесью формальдегида и ацетальдегида. В этом случае удобрение содержит 37—39 % азота и по эффективности занимает промежуточное место между двумя вышеназванными удобрениями.

Уреа-Z изучали на овсе, свекле, озимой пшенице, озимом рапсе и луговых травах (Scheffer F, Henve, Metzler, 1964). Эти опыты показали, что уреа-Z, применяемый в чистом виде и в сочетании с известково-аммиачной селитрой, был эффективнее растворимых форм в среднем на 3—7 % (табл. 14).

**Кротонилиденмочевину (КДМ)** получают путем конденсации кротонного альдегида с мочевиной. В ней содержится около

#### 14. Действие форм азотных удобрений на урожай овса

Удобрение (N <sub>40</sub> )	Урожай зерна		Урожай соломы	
	в ц/га	в %	в ц/га	в %
Известково-аммиачная селитра	14,4	84	29,2	86
Мочевина	17,2	100	33,9	100
Уреа-Z	18,0	105	35,6	105
$\frac{3}{4}$ уреа-Z + $\frac{1}{4}$ известково-аммиачной селитры	18,4	107	37,4	110

30% азота, слаборастворимого в воде (0,06 г в 100 см<sup>3</sup> при 20°С).

**Изобутилендимочевина (ИБДМ)** содержит 32% азота. Получается в качестве побочного продукта производства 2-этилгексанола. Удобрение слабо растворимо в воде (0,01—0,1 г в 100 см<sup>3</sup>). Выпускается в виде гранул белого цвета размером 1—3 мм.

■ **Оксамид-амид щавелевой кислоты** [(CONH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>], а также другие медленно отдающие азот органические соединения (дицианамид—42% азота, тиомочевина—36,8% азота и мочевина-приолизат—48% азота) также можно отнести к группе медленно действующих удобрений. Оксамид содержит 31,8% азота. Это порошковидный продукт белого цвета, почти нерастворим в воде (0,04—0,10 г в 100 см<sup>3</sup>). В качестве удобрения применяется в гранулированном виде. Получают его путем синтеза из метана и аммиака.

Эффективность медленно действующих азотных удобрений в большей степени зависит от размера частиц. С уменьшением размера частиц повышается скорость превращения азота в доступное для растений состояние (табл. 15).

#### 15. Степень усвоения азота из разных форм азотных удобрений в зависимости от размера гранул

Размеры гранул (в мм)	Оксамид	Уреаформ	Нитрат аммония
0,25—4,17	0,22	0,29	0,92
4,17—2,8	0,38	0,38	—
1,8—1,25	0,65	0,38	—
0,9—0,7	0,89	—	—
0,4—0,25	1,0	0,56	0,97

Примечание. Оксамид с размером частиц 0,25—0,4 мм принят за единицу.

В незасеянной почве превращение азота оксамида до аммиачной и нитратной формы завершается за неделю при размере частиц 0,42 мм, но намного медленнее при размере частиц 0,6—4 мм. По эффективности на урожай культур оксамид не уступает растворимым формам.

**Гранулированные удобрения, покрытые пленками (капсулированные удобрения).** Способ получения таких медленно действующих минеральных удобрений заключается в покрытии гранул водорастворимых удобрений пленками, через которые трудно и медленно проникают водные растворы. Испытывают и полностью водонепроницаемые пленки, только при разрушении которых возможен контакт удобрений с почвой. В качестве покрытий исследуются акриловая смола, винилацетата — полиакриловая кислота, парафин, эмульсия полиэтилена и другие вещества. Можно также получать оболочку путем реакции поверхностного слоя кристаллов или гранул удобрения с соответствующими веществами, например с формальдегидом, образующим мочевино-формальдегидное соединение.

Покрытые пленками гранулированные удобрения, кроме того, улучшают свои физические свойства. Они отличаются меньшей гигроскопичностью, большей механической прочностью, устраняется слеживаемость их при хранении.

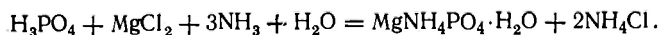
Подбирая состав покрытий и регулируя их толщину, можно получать удобрения с заданными свойствами, то есть с разной интенсивностью отдачи азота. Смешивая фракции этих удобрений, можно подобрать такой состав, который отвечал бы биологическим особенностям сельскохозяйственных культур в отношении потребления азота.

**Труднорастворимые соли фосфорной кислоты.** Многие двухвалентные металлы, такие, как магний, железо, цинк, медь и другие, образуют аммоний-фосфаты. Эти соединения обладают незначительной растворимостью в воде и почвенных растворах. Некоторые физические и химические свойства этих металлоаммоний-фосфатов приведены в таблице 16.

16. Характеристика некоторых металлоаммонийфосфатов

Химическая формула	Цвет	Растворимость в воде при 25 °С (в г/100 мл)	Содержание азота (в %)	Содержание металла (в %)	Содержание (в %) P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
					общей	усвояемой
MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Белый	0,0180	5,7	9,9	28,9	—
MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	»	0,0140	8,3	14,3	44,6	43,1
FeNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	Зеленый	0,0095	7,0	27,8	37,5	37,0
ZnNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	Белый	0,0018	7,5	39,5	39,0	21,0
MnNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	Розовый	0,0038	7,2	27,	36,0	25,0
CuNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	Голубой	0,0009	7,0	30,0	36,0	35,9

В качестве медленно действующего азотного удобрения представляет интерес магнийаммонийфосфат. В лабораторных условиях его получают при насыщении аммиаком раствора фосфорной кислоты и хлористого магния по уравнению:



Это удобрение почти нерастворимо, и питательные вещества освобождаются в основном путем нитрификации. Первоначальное соотношение между питательными элементами остается до тех пор, пока удобрение не используется полностью. Степень освобождения питательных веществ можно регулировать размером гранул удобрения.

Вегетационные опыты ВИУА свидетельствуют о высокой эффективности магнийаммонийфосфата. Прибавки урожая общей массы и зерна овса, гречихи были несколько выше, чем в варианте с аммиачной селитрой и суперфосфатом.

Интенсивные поиски путей получения и способов производства медленно действующих удобрений, очевидно, позволят уже в ближайшие десятилетия иметь их ассортимент в значительных количествах, особенно для районов интенсивного орошения.

Главным недостатком этих удобрений является высокая стоимость единицы азота по сравнению с нашими основными азотными удобрениями. В настоящее время судьба медленно действующих удобрений зависит от того, может ли одноразовое ежегодное внесение или другие факторы, например более высокое содержание азота, повышенная эффективность, компенсировать разницу в стоимости. Следует заметить, что с ростом технического прогресса соотношение в стоимости товаров и различных продуктов претерпевает резкие изменения.

Ассортимент односторонних азотных удобрений, применяемых в сельском хозяйстве в настоящее время, представлен в таблице 17.

#### ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Повышение эффективности азотных удобрений неразрывно связано с общим улучшением культуры земледелия. Опыты показывают, что основным фактором повышения эффективности азотных удобрений является высокий уровень агротехники (отсутствие засоренности, благоприятный водно-воздушный и температурный режимы, своевременный и высококачественный посев семенами сортов, хорошо отзывающихся на удобрения, и т. д.).

Для повышения эффективности азотных удобрений большое значение имеют оптимальные условия в отношении кислотности почвы, наилучшее соотношение питательных веществ в применяемых удобрениях, лучшие формы, правильные сроки и способы внесения удобрений.

Эффективному использованию азотных удобрений в значительной степени способствует известкование кислых почв. Оно должно предшествовать применению удобрений. Увеличение количества применяемых удобрений требует максимального роста темпов известкования кислых почв в дозах не менее чем по одной гидrolитической кислотности.

Специальными опытами ВИУА с применением стабильного изотопа азота ( $^{15}\text{N}$ ) показано, что известкование улучшает ис-

# 17. Ассортимент азотных удобрений

Удобрение	Содержание (в %)			ГОСТ или ТУ
	основное вещество, не менее	азот, не менее	влага, не более	
Аммиак жидкий синтетический	99,6 $\text{NH}_3$	82,0	0,4	ГОСТ 6221—75
Аммиачная вода, марка Б	25,0 $\text{NH}_3$	20,5	—	ГОСТ 9—77
Аммонийные				
Сульфат аммония $\text{NH}_4$ : высший сорт	26,7	21,0	0,2	ГОСТ 9097—74
I сорт (кристаллический)	26,4	20,8	0,3	ГОСТ 9097—74
II сорт (кристаллический или аморфный)	25,4	20,8	0,3	ГОСТ 9097—74
Сульфат аммония, технический: I сорт	—	20,8	0,2	ТУ 6-03-395—75
II »	—	20,8	0,2	ТУ 6-03-395—75
Сульфат аммония гранулированный (коксохим)	25,4	20,8	0,6	ЧМТУ 6-41—69
Сульфат аммонийнатрия	Сульфата натрия не более 20%	17	2	ТУ 6-08-192—75
Нитратные				
Селитра натриевая техническая: I сорт	99,5	16,4	1,0	ГОСТ 828—68
II »	99,0	16,3	1,8	ГОСТ 828—68
Селитра кальциевая техническая	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	17,5	14,0	ТУ 6-03-367—74
Аммонийно-нитратные				
Селитра аммиачная гранулированная:	$\text{NH}_4\text{NO}_3$			
со знаком качества	99	34,65	0,2	ГОСТ 52176—74
марка А	98	34,2	0,3	ГОСТ 2—75
» Б	97,7	34,0	0,3	ГОСТ 2—75
Амидные				
Карбамид (мочевина) со знаком качества	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46,3	0,3	ГОСТ 52206—75
	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46	0,3	ГОСТ 2081—75
Жидкие азотные удобрения (смешанные формы)				
Углеаммиакаты жидкие	N	29	—	ТУ 6-03-374—74
	$\text{CO}_2$	8—11	—	
Удобрение азотное (пл.в)	N	30	—	ТУ 6-03-277—70
Удобрения аммонийные	N	20,5	—	ТУ 6-03-320—72

пользование азота удобрений и повышает мобилизацию азота почвы (табл. 18).

**18. Влияние известкования на урожай ячменя и вынос растениями ячменя азота из удобрений и почвы (Борисова, 1978)**

Вариант опыта	Урожай надземной массы (в ц/га)		Вынос азота растениями (в кг/га)			Коэффициент использования азота удобрений (в %)
	всего	в том числе зерно	всего	из удобрений	из почвы	
Почва неизвесткованная, РК+ +N <sub>120</sub>	43,0	18,1	64,1	21,2	42,9	17,7
Почва известкованная, РК+ +N <sub>120</sub>	64,4	27,4	132,0	53,8	78,2	45,0

Известь положительно действует на мобилизацию не только азота почвы, но и фосфора. В полевом опыте ЦОС ВИУА прибавка урожая ячменя от дозы извести по 1,5 г. к. была выше (7,5 ц/га), чем от 100 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (5,2 ц/га).

В севообороте целесообразно применять минеральные удобрения в сочетании с органическими. Это особенно важно не только когда мало применяется минеральных удобрений, но и когда вносят большие дозы туков, особенно азотных. При внесении повышенных доз минеральных удобрений применение органических удобрений способствует лучшему использованию растениями питательных веществ минеральных удобрений и повышению плодородия почв.

В качестве примера приведем результаты опытов Московского опорного пункта Мироновского института селекции и семеноводства пшеницы, проведенных под руководством академика АН СССР и ВАСХНИЛ В. Н. Ремесло на дерново-подзолистых суглинистых почвах в совхозе «Заря коммунизма» Домодедовского района Московской области. Эти опыты показали, что мироновские сорта озимой пшеницы, обладая большим генетическим потенциалом продуктивности, в центральных районах Нечерноземной зоны при внесении повышенных доз удобрений и соблюдении агротехнических приемов возделывания обеспечивают высокие урожаи зерна — до 70—90 ц/га (табл. 19).

Правильное соотношение питательных веществ во вносимых удобрениях в значительной степени определяет их эффективность и зависит в первую очередь от биологических особенностей сельскохозяйственных культур, а также от обеспеченности почв доступными питательными веществами.

В качестве примера приведем следующие данные. В Смоленском филиале ВИУА на дерново-подзолистой почве, которая содержала 3—4 мг подвижного фосфора на 100 г почвы, в опыте с озимой рожью на контроле (без удобрений) урожай составлял

# 19. Урожай зерна сортов озимой пшеницы при разных дозах удобрений

Сорт	Год	Урожай озимой пшеницы (в ц/га) при внесении 50 т навоза на 1 га в сочетании		
		N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	N <sub>300</sub> P <sub>300</sub> K <sub>300</sub>
Мироновская 808	1972	—	39,1	36,4
	1975	60,6	67,2	68,2
	1974—1977	56,2	62,6	64,1
Мироновская юбилейная	1972	—	36,7	34,9
	1975	69,5	81,4	83,4
	1974—1977	60,7	68,1	68,6
Ильичевка	1972	—	37,8	35,1
	1975	74,4	84,5	87,5
	1974—1977	64,3	70,1	70,9

10,5 ц, в варианте N<sub>120</sub>K<sub>120</sub>—10,5 ц, в варианте N<sub>120</sub>K<sub>120</sub>P<sub>60</sub>—33,2 ц, а в варианте N<sub>120</sub>K<sub>120</sub>P<sub>120</sub>—39,8 ц зерна с 1 га. В этом опыте лимитирующим фактором был фосфор и его внесение в равных дозах с N и K обеспечило увеличение урожая в 4 раза. Об этом свидетельствует и опыт с озимой пшеницей на той же почве. На контроле урожай составил 11,9 ц, по НК—13,1 ц; внесение 30 кг фосфора увеличило урожай на 11,2 ц, 90 кг—на 22,2 ц, 180 кг—на 28,7 ц зерна с 1 га, то есть урожай составил 41,8 ц/га.

В опытах ЦОС ВИАУ на дерново-подзолистой суглинистой почве урожай зерна ячменя при внесении N<sub>90</sub>P<sub>45</sub>K<sub>60</sub> составил 37,9 ц, а N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>60</sub>—41,7 ц/га. При правильном соотношении питательных веществ значительно повысился коэффициент использования азота удобрений; при N<sub>90</sub>P<sub>45</sub>K<sub>60</sub> на ячмене он составил 47 %, на овсе—37 %, на яровой пшенице—38 %; при N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>60</sub>—соответственно 64, 71 и 59 %.

При определении соотношения питательных веществ во внешних удобрениях необходимо учитывать и обеспеченность почв питательными веществами. Насколько это важно, видно из данных опытов Смоленского филиала ВИАУ (табл. 20).

## 20. Урожай и качество зерна озимой пшеницы

Вариант опыта	Содержание подвижного P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (в мг на 100 г почвы)					
	4—5		8—9		12—14	
	урожай зерна (в ц/га)	содержа- ние белка (в %)	урожай зерна (в ц/га)	содержа- ние белка (в %)	урожай зерна (в ц/га)	содержа- ние белка (в %)
Без удобрений	18,1	—	34,9	—	37,8	—
N <sub>60</sub>	28,3	14,5	43,6	14,3	44,6	15,3
N <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	30,7	15,3	46,2	15,1	47,6	14,1
N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>60</sub>	37,5	16,5	47,7	14,3	49,6	13,8

## 21. Влияние калийных удобрений на урожай и вынос азота ячменем из удобрения и почвы (Борисова, 1978)

Вариант опыта	Масса надземной части (в ц/га)		Вынос азота растениями (в кг/га)			Коэффициент использования азота удобрений (в %)	Потери азота удобрений из почвы (в % месячного)
	всего	в том числе зерно	всего	из удобрений	из почвы		
$P_{120}K_{120}$	55,2	24,2	61,9	—	61,9	—	—
$N_{120}P_{120}$	67,5	22,5	127,6	42,2	85,4	35,2	31,3
$N_{120}P_{120}K_{120}$	82,5	27,5	151,8	54,1	97,8	45,1	19,9

На почве, плохо обеспеченной подвижными формами фосфора (4—5 мг  $P_2O_5$  на 100 г почвы), внесение фосфора на фоне азотно-калийных удобрений способствовало значительному повышению урожая и улучшению белковости пшеницы. На почве, хорошо обеспеченной подвижным фосфором (12—14 мг  $P_2O_5$  на 100 г почвы), высокое действие проявили азотные и азотно-калийные удобрения. Действие фосфорных удобрений на урожай зерна было очень слабое, и снижалось содержание белка в зерне.

На Судогодской опытной станции ВИУА на известкованной дерново-подзолистой супесчаной почве с применением азотных удобрений, обогащенных стабильным изотопом азота  $^{15}N$ , при отсутствии калийных удобрений урожай зерна ячменя снижался на 5 ц/га, коэффициент использования азота удобрений — на 10 %, хуже использовался азот почвы и были большие потери азота удобрений (табл. 21).

Внесение удобрений в оптимальные сроки и лучшими способами обеспечивает более продуктивное их использование растениями. Особенно важно правильно внести азотные удобрения. Благодаря применению в исследованиях метода стабильного изотопа азота ( $^{15}N$ ) установлено, что в полевых условиях коэффициент использования азотных удобрений разными культурами в среднем не превышает 40—50 %. Остальное количество азота частично закрепляется в почве в трудногидролизуемых слабодоступных растениям соединениях и безвозвратно теряется в виде различных продуктов, образовавшихся в результате процессов денитрификации, постоянно протекающих в почве. Возможны потери азота и от вымывания. В последнем случае возникает опасность загрязнения грунтовых вод и питьевых источников нитратами.

Размер потерь азота удобрений зависит от сроков и способов их внесения, биологических особенностей сельскохозяйственных культур в отношении интенсивности потребления азота во времени, формы удобрения, почвенно-климатических условий и других факторов. Поэтому прежде всего необходимо уменьшить до минимума потери азота из почвы и изменить факторы окружающей среды и агротехнические условия с тем, чтобы дать возможность растениям проявить свою генетическую возможность формировать



наибольший урожай высокого качества, что уже само по себе обуславливает более полное использование азота удобрений.

Нами было установлено, что внесение азотных удобрений в начале интенсивного потребления азота растениями увеличивает коэффициент использования азота и значительно повышает урожай сельскохозяйственных культур. Так, в опытах на дерново-подзолистой суглинистой почве с применением  $^{15}\text{N}$  коэффициент использования азота сульфата аммония при внесении перед посевом составлял на ячмене 41,3 %, на просе 65,8 %, на тимофеевке 34,1 %. При внесении удобрений в период интенсивного потребления азота растениями (перед началом кущения для ячменя и тимофеевки и через 20 дней после посева проса) коэффициент использования соответственно составил 48,5; 72,8 и 47,3 %, то есть он увеличился на 7—13 %.

Наблюдения за состоянием и развитием перезимовавших растений показывают, что начало отрастания, а следовательно, и период активного потребления азота наступают не сразу после схода снега, а спустя 15—20 дней и более, то есть после прогревания почвы. За это время в условиях Нечерноземной зоны поля освобождаются от избыточной влаги в результате поверхностного и внутрипочвенного стока, а также испарения. До этого азотные удобрения не потребляются растениями в сколько-нибудь значительных количествах и могут быть утеряны безвозвратно в результате вымывания и денитрификации.

По данным опытов ЦОС ВИА, в среднем за три года прибавка урожая зерна озимой пшеницы была ниже в 3 раза при внесении азотных удобрений по неглубокому снегу (5—7 см), чем при их внесении через 10—15 дней после схода снега. Таким образом, для повышения эффективности азотных удобрений в Нечерноземной зоне на озимых хлебах рекомендуется проводить азотную подкормку весной после схода снега и оттока с полей избыточной влаги. Слишком раннее внесение азотных удобрений может приводить к большим потерям азота, недобору урожая зерна и загрязнению окружающей среды нитратами.

Большая часть сенокосов и пастбищ Нечерноземной зоны расположена в пониженных местах и временно переувлажняется в весенний период. Интенсивный рост трав начинается спустя две-три, а иногда четыре недели после схода снега и оттока избыточной влаги. В практике применения азотных удобрений очень часто их вносят с помощью авиации на сенокосы и пастбища в ранние сроки (сразу после схода снега). Это может резко снизить эффективность азотных удобрений.

Опыты, проведенные лабораторией азотных удобрений ВИА на легких почвах Егорьевского района Московской области, показали, что эффективность азотных удобрений на лугах резко возрастает при внесении их в начале активного роста трав. Внесение азотного удобрения сразу после схода снега на суходольном сенокосе временного избыточного увлажнения почти удваива-

ло урожай сена. При внесении таких доз 20—30 дней спустя после схода снега и оттока избыточной влаги прибавки урожая сена увеличивались в 4 раза. Удваивался и сбор протеина с 1 га, в 4 раза возрастал коэффициент использования азота удобрений (табл. 22).

**22. Действие аммиачной селитры на урожай сена (суходольный сенокос временного избыточного увлажнения) в зависимости от сроков внесения (данные Д. А. Филимонова, в среднем за 1972—1974 гг.)**

Вариант опыта	Урожай сена (в ц/га)	Прибавка от азотного удобрения (в ц/га)	Оплата 1 кг азота сеном (в кг)	Сбор протеина (в кг/га)	Коэффициент использования азота (в %)
$P_{60}K_{60}$	13,4	—	—	116,1	—
$N_{90}P_{60}K_{90}$ после схода снега	24,9	11,5	12,7	231,1	18,3
$N_{90}P_{60}K_{90}$ через 20—30 дней после таяния снега	58,9	45,6	50,5	591,5	77,7

Опытами лаборатории азотных удобрений ВИАУ (Д. А. Филимонов и Р. А. Стрельникова) установлено, что снижение эффективности азотных удобрений можно объяснить большими газообразными потерями азота, которые происходят при низких температурах в результате процессов денитрификации (табл. 23).

**23. Влияние температур и влажности на размер газообразных потерь азота**

Влажность почвы (в % НВ)	Потери газообразного азота при температуре			
	5 °C		28 °C	
	$NH_4NO_3$	$(NH_2)_2CO$	$NH_4NO_3$	$(NH_2)_2CO$
60	8,5	27,0	15,8	31,9
90	20,3	37,0	49,7	61,1

Эти данные в определенной степени могут объяснить снижение эффективности азотных удобрений при очень ранней весенней подкормке озимых хлебов и трав. В связи с этим азотные удобрения на лугах рекомендуется вносить спустя 2—3 недели после схода снега и оттока избыточной влаги, что совпадает с периодом начала интенсивного роста трав и позволяет резко повысить эффективность азотных удобрений.

В наших опытах в 1975 г. на ЦОС ВИАУ с яровой пшеницей сорта Московская 35 при оптимальных сроках внесения азотных удобрений урожай увеличился почти на 6 ц/га, а оплата единицы азота прибавкой урожая зерна почти удвоилась (табл. 24).

В опытах за 1971—1975 гг. на ЦОС ВИАУ внесение 45 кг азота перед посевом озимой пшеницы и 45 кг азота в подкормку

24. Влияние срока внесения азотных удобрений на урожай яровой пшеницы сорта Московская 35

Удобрение	Урожай	Прибавка
	в ц/га	
Фон ( $P_{120}K_{180}$ )	30,6	—
Фон + $N_{90}$ под культиватор	40,0	9,4
Фон + $N_{180}$ (90 кг/га под культиватор + 90 кг/га в период кушения)	42,4	11,8
Фон + $N_{180}$ под культиватор	39,0	8,4
Фон + $N_{180}$ (90 кг/га под культиватор + 60 кг/га в период кушения + 30 кг/га в период колошения)	44,8	14,2

весной было значительно эффективнее (прибавка 10,9 ц/га), чем внесение всей дозы (90 кг азота) перед посевом (прибавка 5,4 ц/га).

Опыты показывают, что приближение сроков внесения азотных удобрений к периоду наиболее активного его потребления растениями значительно повышает их эффективность и сокращает потери азота удобрений. Это положение подтверждено и в опытах за последние годы с использованием  $^{15}N$  (табл. 25).

25. Баланс азота сульфата аммония в зависимости от сроков его внесения (данные И. А. Лавровой)

Вариант опыта	Количество азота (в % внесенного)					
	под ячменем			под просом		
	использовано	закреплено	потери	использовано	закреплено	потери
$PK + (^{15}NH_4)_2SO_4$ перед посевом	58,2	22,4	19,4	54,8	28,9	16,3
$PK + (^{15}NH_4)_2SO_4$ дробно	68,2	16,9	14,9	63,2	25,4	10,4

В производственных условиях все в большем количестве применяется высококонцентрированное азотное удобрение — мочевина. Это удобрение имеет свои агрохимические особенности, которые необходимо учитывать, чтобы получить наибольший эффект. Применять ее целесообразнее при основном внесении, что практически предотвращает потери азота. Мочевина высокоэффективна при орошении, ее действие в этих условиях не уступает действию сульфата аммония (табл. 26).

Высокая эффективность мочевины в условиях орошения связана с тем, что она может поглощаться почвой целой молекулой. В ряде случаев ее связи с почвой могут быть сильнее, чем связи катионов аммония. Отсюда и вымывание азота мочевины при орошении не больше, чем сульфата аммония.

## 26. Действие мочевины и сульфата аммония на урожай риса

Место проведения опыта	Почва	Число опытов	Урожай (в ц/га)		
			по РК (фон)	по сульфату аммония	по моче-вине
РСФСР, Краснодарский край	Лугово-черноземная	7	46,3	55,3	55,7
Казахская ССР, Кызыл-Ординская область	Лугово-болотная	2	21,5	45,0	46,2
Азербайджанская ССР, Ленкоранский район	»	4	26,7	38,3	39,9
УССР, Одесская область	Лугово-аллювиальная	2	37,1	50,0	48,6
УССР, Херсонская об-ласть	Темно-каштановая солонцеватая	4	36,6	48,8	50,1
РСФСР, Дагестанская АССР	Лугово-аллювиальная	3	34,3	41,5	44,3
Узбекская ССР, Кара-калпакская АССР	Лугово-такырная	4	29,6	52,7	56,5

При поверхностном внесении в весеннюю подкормку озимых хлебов мочевины необходимо вносить в первые сроки во влажную почву, тогда она легко поглощается и потери азота отсутствуют. Однако при подкормке сенокосов и пастбищ, как показывают данные, эффективность мочевины ниже эффективности аммиачной селитры (табл. 27).

Отдельными исследованиями установлено, что азот лучше и равномернее используется из капсулированной мочевины. На-

## 27. Эффективность мочевины на сенокосах и пастбищах

Место опытов, тип луга, характер использования травостоя, продолжительность опытов	Доза азота (в кг/га)	Урожай сена по фону (в ц/га)	Прибавка (в ц/га)	
			от аммиачной селитры	от моче-вины
Совхоз «Починковский», Московская область, нормальный суходол, сенокос, 3 года	60	14,9	15,8	12,0
Опытное хозяйство «Волна революции», Брянская область, пойма, сенокос, 3 года	60	22,5	15,8	14,8
Совхоз «Заря коммунизма», Московская область, низинный луг, сенокос, 4 года	60	24,0	14,1	12,2
Совхоз «Борьба», Московская область, суходол временно избыточного увлажнения, 8 лет	60	14,9	23,8	18,0
Совхоз «Петровское», Московская область, пойма, культурное пастбище, 3 года	300	67,1	37,0	25,3
Государственная селекционная станция, Коми АССР, естественный сенокос, 1 год	60	27,5	22,3	15,1
Кемеровская селекционная станция, сеяный сенокос, 1 год	60	41,6	10,1	7,3

**28. Действие мочевины и капсулированной мочевины на урожай сена райграса однолетнего и поступление азота**

Вариант опыта	Урожай (в г/сосуд) по укосам				Содержание азота (в мг/сосуд) по укосам			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
РК	2,3	0,7	1,5	0,7	16,7	12,3	17,4	12,5
РК+ мочевины перед посевом	17,3	6,6	3,1	1,0	667,3	140,1	35,1	15,2
РК+ капсулированная мочевина перед посевом	16,5	6,0	8,7	3,5	385,3	126,1	123,3	48,4
РК+ мочевины дробно	12,7	8,1	9,1	8,3	218,8	176,7	143,9	143,3

Примечание. Доза  $P_2O_5$  — 100 мг,  $K_2O$  — 100 мг, N — 200 мг на 1 кг почвы. Дробно вносили по 50 мг азота на 1 кг почвы под каждый укос.

пример, урожай райграса многолетнего и поступление азота по укосам более выравнены, чем при использовании обычной мочевины, где урожай сена третьего и особенно четвертого укосов резко падал и приближался к урожаю по фону РК (табл. 28).

По данным Ю. М. Капцынеля и О. Ф. Казанцевой, капсулированная мочевина, содержащая 38,1 % азота со времени полурасстворения в течение 35 суток, также была значительно эффективнее обычной мочевины (табл. 29).

О высокой эффективности азотных удобрений в условиях орошения свидетельствуют многочисленные данные опытов научных учреждений.

В опытах лаборатории азотных удобрений ВИУА (И. П. Такунов), проведенных на естественном пойменном сенокосе (пойма р. Ипуть Брянской области), при трехукосном использовании в условиях орошения урожай сена под действием возрастающих доз азота (с 90 до 360 кг/га) увеличивался с 92 до 135 ц/га. Прибавка урожая сена от азотных удобрений возрастала с 18,9 до 62,4 ц/га. Под влиянием азотного удобрения увеличивались содержание в сене сырого белка и выход сырого белка с гектара (табл. 30).

В поливном земледелии исключительно велика роль азотных удобрений в повышении урожайности хлопка-сырца и качества волокна. Опытами научно-исследовательских учреждений установлено, что при правильном использовании азотных удобрений 1 ц

**29. Действие мочевины на урожай и качество зерна яровой пшеницы**

Вариант опыта	Урожай зерна (в г/сосуд)	Содержание сырой клейковины (в %)
РК — 150 мг $P_2O_5$ , 70 мг $K_2O$ на 1 кг почвы (фон)	3,6	14
Фон+200 мг мочевины при посеве	9,3	24
Фон+200 мг капсулированной мочевины при посеве	11,6	28

### 30. Влияние азотных удобрений на урожай и качество сена (в среднем за 3 года)

Вариант опыта	Урожай сена (в ц/га)	Содержание сырого белка	
		в %	в ц/га
Контроль (без удобрения)	51,9	14,49	7,14
$P_{120}K_{180}$ (60+60+60)	72,8	16,57	11,92
$PK+N_{90}$ (30+30+30)	91,7	15,12	13,64
$PK+N_{120}$ (40+40+40)	100,1	14,66	14,41
$PK+N_{180}$ (60+60+60)	109,6	15,44	16,85
$PK+N_{240}$ (80+80+80)	122,5	15,58	18,86
$PK+N_{270}$ (90+90+90)	123,3	16,89	20,66
$PK+N_{360}$ (120+120+120)	135,2	19,69	26,24

Примечание. В скобках показаны дозы азота (в кг/га) под каждый укос.

азота может дать дополнительно 12—14 ц высококачественного хлопка-сырца. В опытах М. С. Канаш, проведенных на сероземах Ташкентской области, при внесении азотных удобрений в среднем за 5 лет крепость волокна увеличилась с 4,4 до 4,8 г, а индекс волокна изменился с 8,1 до 8,8 по сравнению с контролем.

Особенно велика роль азотных удобрений в начальный период развития хлопчатника. По данным Всесоюзного научно-исследовательского института хлопководства, недостаток азота в момент прорастания семян и образования первых настоящих листьев задерживает развитие и созревание хлопчатника, что приводит к резкому ухудшению технологического качества волокна. Так, в опытах, проведенных на типичном сероземе Ташкентской области, при внесении 80 кг азота в две подкормки в фазу бутонизации и цветения на фоне  $P_{100}K_{40}$  длина волокна увеличилась на 0,8 мм, крепость — на 0,09 г, разрывная длина — на 0,5 км, индекс волокна — на 0,5. Наилучшие результаты получились при внесении 30—50 % годовой нормы азота до посева или одновременно с посевом хлопчатника и 50—70 % азотных удобрений в фазу бутонизации и цветения (табл. 31).

### 31. Влияние сроков внесения азотных удобрений на выход и качество волокна хлопка-сырца

Длина волокна (в мм)	Крепость волок- на (в г)	Метрический номер	Разрывная длина (в км)	Индекс волокна
<i>Фон — <math>P_{100}K_{40}</math></i>				
30,1	4,36	5770	25,0	7,9
<i>Фон + <math>N_{40}</math> в фазу бутонизации + <math>N_{40}</math> в фазу цветения</i>				
30,9	4,45	5730	25,5	8,4
<i>Фон + <math>N_{40}</math> в фазу 2—4 настоящих листьев + <math>N_{40}</math> в фазу бутонизации и цветения</i>				
32,5	4,56	5700	26,3	8,8
<i>Фон + <math>N_{40}</math> перед посевом + <math>N_{40}</math> в фазу бутонизации и цветения</i>				
32,7	5,06	5760	26,9	8,7

Опытами СоюзНИХИ установлено, что для получения хороших урожаев высококачественного хлопка-сырца необходимо сочетать внесение различных форм азотных удобрений во времени. Целесообразно 30—50 % всей нормы азота вносить в виде аммиачных и амидных форм до посева и 50—70 % азота в виде аммиачной селитры в подкормки в период вегетации хлопчатника. Заслуживает внимания использование для основного внесения мочевино-формальдегидных удобрений в сочетании с двумя подкормками аммиачной селитрой.

Важным условием эффективного использования удобрений является применение их в комплексе с приемами противоэрозионной обработки почв (вспашка поперек склона, комбинированная вспашка, обвалование и бороздование зяби и др.).

Приемы противоэрозионной обработки почв уменьшают сток воды и смыв почвы, что повышает эффективность особенно азотных удобрений. Применение удобрений с гербицидами увеличивает их эффективность.

Специализация, концентрация производства и межхозяйственная кооперация вызывают необходимость изменения структуры посевных площадей, пересмотра прежних универсальных севооборотов, максимального насыщения их ведущими культурами. В этих условиях система химизации должна более направленно отражать не только комплекс мер, связанных с применением минеральных удобрений, органических удобрений и извести, но и применение гербицидов. Так, ВИА разработан прием применения гранулированного бутилового эфира 2,4-Д в смеси с гранулированной аммиачной селитрой при ранневесенней подкормке озимых зерновых культур. Под влиянием этого приема в очень ранние сроки уничтожаются сорняки, что обеспечивает практически полное использование азота подкормки культурными растениями. Высокая эффективность этого приема подтверждена производственными опытами, проведенными в Московской, Смоленской, Калужской, Новгородской и других областях Нечерноземной зоны.

Для уменьшения потерь азота из почвы и повышения эффективности азотных удобрений в последние годы в ряде стран изучается использование ингибиторов нитрификации. В настоящее время в разных странах в качестве ингибиторов нитрификации запатентовано большое число препаратов, преимущественно органических соединений из класса цианидов, нитро- и галоанилидов, хлорпиридинов и пиримидинов и др.

Наиболее изучены три препарата: циангуанидин (дициандиа-мид), американский препарат 2-хлор-6 (трихлорметил) пиридин, который в США производится в промышленных масштабах фирмой «Daw Chemical» и имеет промышленное название N-serve, и японский препарат 2-амино-4-хлор-6-метил пиримидин, имеющий промышленное название АМ. При внесении в смеси с твердыми и жидкими удобрениями или мочевиной в дозах N-serve 0,5—1 %, АМ 1—3 % азота удобрения они эффективно тормозят нитрифи-

кацию аммиачного азота удобрений в течение 1,5—2 месяцев, то есть в течение всего периода интенсивного потребления азота растениями.

N-serve, как показали исследования американских авторов, является ингибитором избирательного действия, в определенной концентрации он угнетает только бактерии первой фазы нитрификации (*Nitrosomonas*) и при данной концентрации не угнетает бактерий второй фазы (*Nitrobacter*), а также другие группы почвенных микроорганизмов. В почве 2-хлор-6 (трихлорметил) пиридин постепенно разлагается до 6-хлорпиколиновой кислоты, которая нетоксична для живых организмов и растений, причем скорость разложения ингибитора, а значит, и продолжительность ингибирующего действия зависят от механического состава почвы, ее влажности, реакции, температуры, содержания гумуса и т. д. Ингибиторы, подавляя нитрификацию азота удобрений, снижают его потери в газообразной форме и в результате вымывания нитратов, а также миграцию нитратов по профилю почвы и значительно повышают эффективность азотных удобрений.

Результаты полевых опытов с различными культурами, проведенных в США, Англии и Индии, по обобщению П. М. Смирнова, показали, что под влиянием ингибиторов значительно повышается урожай различных сельскохозяйственных культур и эффективность азотных удобрений. В США в настоящее время уже на площади 5 млн. га аммиачные формы удобрений применяются с ингибиторами нитрификации. Наиболее эффективно применение азотных удобрений с ингибиторами нитрификации под рис; средняя прибавка урожая от ингибитора 6—7 ц/га (с колебаниями в разных опытах от 2 до 19 ц/га).

От применения ингибиторов с азотными удобрениями (сульфатом аммония и безводным аммиаком) получены значительные прибавки урожая озимой пшеницы, хлопчатника (при орошении), кукурузы на зерно и силос и других культур.

В трехлетнем опыте с озимой пшеницей (при орошении), проведенном в США, прибавка урожая зерна от ингибитора за 3 года составила 5,8 ц/га. При внесении одного сульфата аммония в дозе 67—84 кг N на 1 га урожай увеличился с 30,6 до 37,1 ц/га, то есть на 6,5 ц/га, а при внесении удобрения с ингибитором — до 42,9 ц/га, то есть на 12,3 ц/га. Следовательно, применение ингибитора почти удвоило эффективность азотного удобрения. В опытах с хлопчатником прибавка урожая колебалась от 2,5 до 4 ц/га, с кукурузой на зерно — от 6 до 12,5 ц/га, на силос — от 56 до 75 ц/га.

Действие ингибиторов нитрификации не ограничивается только повышением урожайности и эффективности азотных удобрений. Иногда они непосредственно не увеличивают урожай, но предотвращают накопление токсических количеств нитратов в сельскохозяйственной продукции, снижают заболевание растений некоторыми болезнями, предупреждают появление нитратов в грунтовых



водах и сточных водах. При внесении ингибиторов отпадает необходимость дробного внесения азотных удобрений, которое можно заменить одноразовым, экономически более выгодным. Становится возможным осеннее внесение азотных удобрений вместо весеннего без опасности вымывания азота.

Опытами в нашей стране показано, что наиболее эффективно применение азотных удобрений с ингибиторами под хлопчатник и рис. Положительное действие ингибиторов проявляется также при выращивании пропашных, овощных, кормовых и зерновых культур в условиях орошения или в районах повышенного увлажнения. Показательны в этом отношении наши опыты с ингибитором N-serve, положительное влияние которого проявлялось в течение нескольких лет. С увеличением дозы азота положительное влияние N-serve возрастало. При дозе азота 135 кг/га прибавка урожая от ингибитора составила 52—54 ц/га. При внесении повышенной дозы азота количество нитратного азота в зеленой массе возросло до 0,226—0,243 %, то есть было выше допустимой нормы. Ингибитор нитрификации сдерживал накопление нитратного азота в корне уже при дозе азота 90 кг/га (табл. 32).

32. Влияние ингибитора нитрификации N-serve на эффективность азотных удобрений и накопление нитратов в зеленой массе озимого рапса (данные В. П. Савенкова)

Вариант опыта	Мочевина				Сульфат аммония			
	урожай (в ц/га)	прибавка урожая (в ц/га)		содержа- ние N—NO <sub>3</sub> в рапсе (в %)	урожай (в ц/га)	прибавка урожая (в ц/га)		содержа- ние N—NO <sub>3</sub> в рапсе (в %)
		от азота	от инги- битора			от азота	от инги- битора	
Без азота	262	—	—	0,017	262	—	—	0,017
N <sub>45</sub>	370	108	—	0,026	384	122	—	0,026
N <sub>45</sub> + ингибитор	384	122	14	0,027	400	138	16	0,028
N <sub>90</sub>	459	197	—	0,103	473	211	—	0,105
N <sub>90</sub> + ингибитор	480	218	21	0,073	500	238	27	0,082
N <sub>135</sub>	530	268	—	0,226	538	276	—	0,243
N <sub>135</sub> + ингибитор	582	320	52	0,156	592	330	54	0,165

Исследования показали, что применение ингибитора позволяет почти в 2 раза снижать дозу азота (табл. 33).

В деле рационального применения азотных удобрений в первую очередь стоит задача дальнейшего изучения превращения разных форм азотных удобрений в почве с целью не только выявления условий непроизводительных газообразных потерь азота удобрений — одной из возможных причин снижения продуктивного использования азотных удобрений, но и резкого их снижения. Достаточно сказать, что уменьшение этих потерь даже на 4—5 % дает возможность при планируемом применении азотных удобре-

### 33. Влияние ингибиторов нитрификации на эффективность сульфата аммония в опыте с ячменем

Вариант опыта	Доза ингибитора от дозы азота (в %)	Доза азота удобрения (в мг/100 г почвы)					
		50			100		
		урожай зерна (в г/сосуд)	прибавка урожая (в ц/га)		урожай (в ц/га)	прибавка урожая (в ц/га)	
			от азота	от ингибитора		от азота	от ингибитора
РК		2,5	—	—	2,5	—	—
РК+N		6,5	4,0	—	8,6	6,1	—
РК+N+ингибитор З	1	6,2	3,7	-0,3	9,2	6,7	0,6
РК+N+ингибитор АМ	1	6,5	4,0	0	8,9	6,4	0,3
РК+N+ингибитор N-serve	1	7,5	5,0	1,0	7,6	5,1	1,0
РК+N+ингибитор З	2	7,1	4,6	0,6	7,6	5,1	1,0
РК+N+ингибитор АМ	2	7,9	5,4	1,4	7,1	4,5	1,5
РК+N+ингибитор N-serve	2	7,3	4,8	0,8	8,6	6,1	0

ний в 1985 г. в нашей стране сохранить 0,5 млн. т азота. Такого количества удобрений достаточно для получения не менее 5 млн. т зерна.

При учете указанных факторов эффективности азотных удобрений, по нашим расчетам, прогноз баланса азота в земледелии СССР на 1985 г. может выглядеть следующим образом (табл. 34).

34. Примерный баланс азота в земледелии СССР на 1985 г.

Расходные и приходные статьи баланса	N (в млн. т)	Расходные и приходные статьи баланса	N (в млн. т)
Расход		Поступление	
Вывоз урожая	12,8	С минеральными удобрениями	8,2
Вывывание из почвы	0,5	С органическими удобрениями	4,3
Потери за счет эрозийных процессов	1,0	Фиксация бобовыми культурами	0,8
Потери:		Фиксация азота несимбиотическая	1,3
из минеральных удобрений	1,4	Поступление с атмосферными осадками	1,0
из органических удобрений	0,5	Поступление с семенами	0,7
Итого	16,2	Итого	16,3

Расчет баланса сделан для пашни, сенокосов, пастбищ, плодово-виноградных насаждений и ягодников.

При расчете баланса учитывались следующие приходные статьи:

поступление азота с минеральными удобрениями;

поступление азота с органическими удобрениями (в 1985 г. ожидается внесение 4,3 млн. т азота);

фиксация азота бобовыми культурами составит 0,8 млн. т, из этого количества поступит с пожнивными остатками в почву 1,8 тыс. т азота;

фиксация азота свободноживущими микроорганизмами. Нечембиотическая азотфиксация для сельскохозяйственных угодий площадью 256,8 млн. га из расчета 5 кг азота на 1 га составит 2,1 млн. т;

поступление с атмосферными осадками. Принято, что с атмосферными осадками выпадает около 5 кг азота на 1 га, что составит на всю площадь около 1 млн. т;

поступление с семенами и посадочным материалом составит 0,7 млн. т азота.

В расходных статьях баланса учитывались:

вынос азота урожаем;

газообразные потери из минеральных и органических удобрений. Размер потерь можно принять в среднем около 15%, что составит соответственно 1,4 млн. т и 0,5 млн. т азота;

вымывание из почвы. Эта статья потерь азота учитывалась только для Нечерноземной зоны страны с промывным водным режимом;

потери в результате эрозийных процессов. По расчетам ВИАУ, общие потери азота с почвой и вносимыми удобрениями составят (ориентировочно) около 1,0 млн. т. Для Нечерноземной зоны РСФСР, Белорусской ССР и Прибалтийских республик средние потери азота приняты равными 5,5 кг/га (учитывалось, что в этой зоне 3/4 почв суглинистых и 1/4 песчаных и супесчаных). Величина этих потерь составит около 0,2 млн. т. Таким образом, рациональное применение минеральных и органических удобрений создаст положительный баланс азота в земледелии СССР, что является важным условием устойчивого земледелия в стране.

## ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Фосфор относительно распространенный в природе элемент. Содержание его (по массе) в земной коре составляет 0,08—0,125 %. В настоящее время обнаружено около 120 минералов, содержащих фосфор. Для промышленного производства фосфорных удобрений применяют минералы апатитовой руды, входящие в состав фосфорных руд. Фосфорные руды являются составной частью более общего понятия — агрономические руды, которые определяют как полезные ископаемые, используемые для производства минеральных удобрений.

Ученные мировые запасы фосфорных руд составляют около 50 млрд. т, которые по странам распределяются приблизительно следующим образом: Марокко — 43 %, США — 30, СССР — 16, Тунис и Алжир — 6, прочие страны — 5 %. Мировая добыча фосфатов в настоящее время уже превысила 100 млн. т (Маркова, 1972).

### СЫРЬЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

По содержанию  $P_2O_5$  фосфорные руды делятся на очень богатые (35 %  $P_2O_5$ ), богатые (28—35 %  $P_2O_5$ ), среднего качества (18—28 %  $P_2O_5$ ), бедные (10—18 %  $P_2O_5$ ), очень бедные (5—10 %  $P_2O_5$ ), фосфатсодержащие (0,5—5 %  $P_2O_5$ ) породы. В связи с тем что в фосфорных рудах содержится значительное количество примесей, практически все они подлежат обогащению.

По своему генезису фосфорные руды подразделяются на две основные группы: апатиты — породы эндогенного происхождения и фосфориты — породы экзогенного происхождения, связанные с геологическими процессами, протекающими в поверхностных частях земной коры. В мировых ресурсах фосфатного сырья примерно 95 % составляют месторождения фосфоритов. В СССР приблизительно одна треть общих разведанных запасов фосфатных руд приходится на апатиты и две трети — на фосфориты (Гиммельфарб, 1964).

Апатиты. Теоретические основы, определяющие условия образования и размещения апатитовых месторождений, исследованы в настоящее время значительно меньше, чем это сделано для месторождений фосфоритов.

В чистом минерале апатита содержание  $P_2O_5$  доходит до 42 %, однако в промышленных рудах эта величина значительно меньше в связи с примесью других минералов; обычно она колеблется от 15 до 20 %. Поэтому все апатитсодержащие руды подлежат обогащению.

Апатит — бесцветный, чаще зеленоватый или желто-зеленый минерал с кристаллами в виде шестигранной призмы. Можно выделить два основных типа промышленных месторождений апатит-содержащих руд: магматические, связанные с нефелиновыми сиенитами [формула нефелина  $(\text{Na}, \text{K})\text{AlSiO}_4 \cdot n\text{SiO}_2$ ], и карбонатитовые, связанные с формацией ультраосновных — щелочных пород (Соколов, 1971).

Наиболее широко известным месторождением апатитов магматического происхождения является Хибинское, где к настоящему времени разведаны месторождения Кукисвумчорское, Юкспорское, Расвумчорское, Ено-Ковдорское, Кузьпоровское и Саамское.

Рудное тело представляет собой большую пластообразную линзу апатито-нефелиновых пород. Мощность их доходит до 180—200 м. Ранее, в начальный период эксплуатации этих рудников, добывалась руда, содержащая 32—34 % фосфора. В настоящее время эксплуатируемая руда содержит в среднем 18 % фосфора. После обогащения (флотации) получается концентрат с содержанием 39,4 % фосфора.

Ультраосновные — щелочные массивы и карбонатиты с апатит-содержащими породами размещаются, так же как и магматические, чаще всего вдоль тектонически активизированных краевых зон платформы, приурочиваясь к глубинным разломам. Содержание апатитов в них невысокое (от 3—4 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  до 10—15 %, чаще 6—8%); в приповерхностных зонах концентрация апатита возрастает.

Фосфориты — это осадочная порода, состоящая из кристаллических и аморфных кальциевых фосфатов с примесью кварца, глинистых частиц и других минералов. По минералогическому составу фосфатное вещество фосфоритов состоит из кальцийфторапатита (основная масса фосфоритов), карбоната апатита (сравнительно редко), гидроксилапатита (в небольшом количестве). Кроме того, в фосфоритах содержится франколит и курскит. В связи с высокой дисперсностью фосфатных минералов свойства и молекулярное строение франколита и курскита определить не удалось. В отличие от апатитов фосфориты характеризуются большой пористостью частиц, обладают мелкокристаллической структурой (Вольфович, 1958).

Фосфоритные месторождения по геотектоническому положению разделяют на несколько типов (Гиммельфарб, Унанянц, 1957). Месторождения платформенного типа залегают на больших участках земной коры; характеризуются горизонтальным залеганием, малой мощностью фосфоритных слоев. Таковы наши Вятско-Камское, Егорьевское, Полпинское, Шигровское месторождения и др.

Геосинклинальные фосфоритные месторождения находятся в складчатых горных районах (Каратау). Формирование этих месторождений связано с подвижными участками земной коры (гео-

синклиналями), на месте которых и возникли в дальнейшем горные образования. Характерными чертами этих месторождений являются наличие мощных фосфатсодержащих слоев, имеющих сложное залегание, крутое падение, наличие больших тектонических изменений. Фосфоритные слои часто чередуются с фосфатно-кремнистыми и фосфатно-карбонатными породами.

Платформенные и геосинклинальные являются основными типами фосфоритных месторождений. Однако имеются и другие типы фосфоритных месторождений, которые образовались под действием различных геологических процессов. К ним следует отнести метаморфизированные месторождения, которые образовались под действием высокой температуры и давления.

Месторождения континентального происхождения образуются в результате вторичных процессов, протекающих в континентальных условиях. Эти месторождения могут появиться в результате действия на бедные фосфоритные породы текучих вод и ветра. В первую очередь вымывается карбонат и порода обогащается фосфоритом, а затем вымывается фосфорит и оседает в определенных местах (чаще всего это явление наблюдается в карстовых областях — Урал, в некоторых районах Западной Сибири — например, Белкинское месторождение).

Обычно выделяют несколько разновидностей фосфоритов: желваковые (конкреционные), пластовые (массивные), зернистые и ракушечниковые.

Фосфориты накапливаются в определенных районах шельфа, которые размещаются на разделе между берегом суши и прибрежной мелководной зоной океана, с одной стороны, и более глубоководной зоной, состоящей чаще всего из карбонатных осадков, с другой стороны.

Для поисков фосфоритов в настоящее время используют и такие показатели, как определение размеров рассеянной фосфатности в почвенном покрове и коренных породах, связь фосфоритов с марганцевыми рудами, с магнетитом, глауконитом, повышенная концентрация ванадия, титана и других редких металлов.

Фосфорные удобрения производят двумя способами: обработкой сырья с получением готовых удобрений и обработкой сырья с получением промежуточных продуктов — фосфорной кислоты или элементарного фосфора, которые, в свою очередь, применяют для получения удобрений. Практически все методы получения фосфорных удобрений сводятся к тому, чтобы тем или иным воздействием разрушить кристаллическую решетку фосфатного вещества агроруды и удалить либо весь фтор, либо возможно большее его количество.

Фосфорные удобрения делятся на водорастворимые и водонерастворимые. Последние, в свою очередь, разделяют на растворимые в лимоннокислом аммонии и лимонной кислоте и растворимые в сильных кислотах. Это деление в известной степени мо-

жет определять желательную очередность использования этих удобрений в сельском хозяйстве, однако основным критерием в этом вопросе должны явиться почвенно-климатические условия, характер различных возделываемых культур и ряд экономических аспектов.

Наиболее широкое применение во всем мире получил суперфосфат, с которого мы и начнем описание состава, свойств и способов получения разных форм фосфорных удобрений.

Суперфосфат получают непосредственно разложением фосфатсодержащих руд серной кислотой. Технология получения суперфосфата состоит из трех стадий: разложения серной кислотой фосфатной руды (несколько минут), созревания суперфосфата в камерах (несколько часов), дозревания суперфосфата на складе (2—3 недели).

В настоящее время применяют непрерывный способ получения суперфосфата, при котором подача руды и кислоты, а также выгрузка созревшего суперфосфата происходят непрерывно.

В результате действия серной кислоты труднорастворимые фосфорные соединения кальция, которые содержатся в рудах, переводятся в легкорастворимые в воде. В основном это монофосфаты и частично дифосфаты кальция, а также свободная ортофосфорная кислота.

Чтобы получить 1 т усвояемой  $P_2O_5$  в суперфосфате, в производстве обычно применяют 2,7 т апатитового концентрата (39,4 % фосфора) и 1,885 т серной кислоты (в пересчете на 100 %  $H_2SO_4$ ). Применяя фосфориты, расход сырья увеличивают (фосфатной руды из-за меньшего содержания фосфора, а серной кислоты в связи с необходимостью разложения карбонатов, присутствующих в фосфоритах): 3,41 т фосфорита (25,16 % фосфора) и 2,5 т серной кислоты (в пересчете на 100 %  $H_2SO_4$ ).

Готовый суперфосфат содержит некоторое количество свободной фосфорной кислоты (до 5,5 %), что значительно ухудшает его качество. Для устранения этого недостатка применяют нейтрализацию твердыми добавками (известь, мел, известняк, доломит, костяную муку, фосфоритную муку, обесфторенный фосфат и т. п.), аммиаком (газообразным и жидким) или аммиаками.

Грануляцию суперфосфата проводят для улучшения его физических свойств и для уменьшения ретроградации в кислых почвах. Нейтрализованный суперфосфат подается в барабанный гранулятор, в который через форсунки вбрызгивается вода. При вращении барабана суперфосфат окатывается в гранулы, после чего переводится в сушильный барабан. Далее проводят сушку гранул, дробление и рассев. Фракции диаметром меньше 1 мм возвращаются обратно в гранулятор (ретур), фракции 1—4 мм — готовый продукт, фракции более 4 мм переводятся на дробление с последующим рассевом.

Грануляция уменьшает переход внесенного в почву фосфора суперфосфата в труднорастворимые соединения, то есть снижает

поверхностный контакт частиц суперфосфата с почвенными частицами. Особенно это важно при внесении суперфосфата в кислую почву (дерново-подзолистая, красноземы). Там происходит образование трудноусвояемых растениями соединений железа и алюминия. В карбонатных почвах (сероземы, каштановые почвы) происходит образование ди- и трикальциевого фосфата, фосфор которых (особенно дикальциевого фосфата) доступен растениям. В нейтральных почвах (черноземы) образуются дикальциевые фосфаты, вполне удовлетворительные источники фосфора для растений.

Хотя и в карбонатных, и в нейтральных почвах фосфор суперфосфата переходит в конце концов в практически недоступное растениям соединение — гидроксиллапатит, который является одной из составных частей фосфатных руд, часть его остается в форме монофосфата кальция — основного источника фосфорного питания для растений.

Суперфосфат можно применять на всех типах почв. Однако низкая концентрация питательных веществ в нем (19,5 % фосфора в суперфосфате из апатитового концентрата и 14 % фосфора из фосфоритов) заставляет переходить на применение более концентрированных форм.

Двойной суперфосфат — фосфорное удобрение, которое в отличие от простого суперфосфата получают действием фосфорной (а не серной) кислоты на фосфорсодержащую руду. Производят его в виде гранул светло-серого цвета с содержанием усвояемой  $P_2O_5$  не ниже 45% и свободной кислотностью не выше 2,5 %.

Основой двойного суперфосфата является фосфорная кислота. Методы получения фосфорной кислоты заключаются: в обработке фосфатного сырья серной кислотой (мокрый — экстракционный способ); в гидратации предварительно окисленного элементарного фосфора, полученного путем возгонки его в электрических печах из фосфатных руд (термический способ). В зависимости от метода получения промышленная фосфорная кислота называется либо экстракционной, либо термической.

Подавляющее количество экстракционной фосфорной кислоты идет на производство удобрений. Термическая фосфорная кислота в связи с высокой стоимостью ее производства в настоящее время в основном используется для получения технических солей.

На качество экстракционной фосфорной кислоты в значительной степени влияет состав фосфатного сырья. Наличие в фосфоритах большего, чем в апатитах, количества нерастворимых примесей и в связи с этим необходимость применения больших количеств воды для отмывания полученного осадка обуславливают несколько пониженную концентрацию получающейся кислоты. Кроме того, содержание в фосфатном сырье полоторных окислов также ухудшает качество экстракционной фосфорной кислоты. Наибольшее значение в этом процессе играют окислы железа.



В связи с тем что при действии серной кислоты на фосфатное сырье образуются находящиеся одновременно в реакционной массе фосфорная кислота и обладающие весьма малой растворимостью в этой кислоте и потому выпадающие в осадок фосфаты железа, часть фосфорной кислоты теряется. Происходит частичная нейтрализация первого водородного иона экстрагированной фосфорной кислоты, что приводит к снижению ее активности. Фосфаты алюминия в значительно меньшей степени ухудшают качество фосфорной кислоты, так как, во-первых, растворимость их значительно выше, чем фосфатов железа, и, во-вторых, окислов алюминия в сырье содержится обычно меньше, чем окислов железа. В сернокислотном производстве экстракционной фосфорной кислоты, как правило, не применяют сырье с соотношением  $R_2O_3 : P_2O_5 > 0,08-0,10$ .

В промышленном производстве фосфорной кислоты экстракционным способом фосфатное сырье предварительно обычно обрабатывают фосфорной кислотой, которая была получена отмыванием сульфата кальция, а затем добавляют серную кислоту. Фосфатное сырье частично разлагается с образованием монокальцийфосфата, а затем после введения серной кислоты происходит дальнейшее разложение сырья и кальций осаждается в виде сульфата.

При производстве экстракционной фосфорной кислоты сернокислотным разложением получается промышленный отход — фосfogипс (осадок сульфата кальция, содержащий небольшое количество фосфорной кислоты — до 0,5 %). На 1 т исходного фосфатного сырья получается 1,3—1,6 т фосfogипса. Использовать его в качестве удобрительного материала из-за низкой концентрации фосфора нецелесообразно. Он может быть использован для гипсования солонцов и в строительном деле.

Термическую фосфорную кислоту готовят путем гидратации фосфорного ангидрида, образовавшегося при сжигании элементарного фосфора, полученного при электровозгонке природных фосфатов. Возгонку фосфора проводят в электропечах с графитовыми или угольными электродами, помещенными в шихту, состоящую из фосфоритной руды и углеродсодержащих добавок (кокс, антрацит и т. п.).

Двойной суперфосфат в нашей стране получают двумя способами: камерным и поточным.

Камерный способ практически не отличается по аппаратуре от способа производства простого суперфосфата. Недостатком его является необходимость применения концентрированной фосфорной кислоты (55 %  $H_3PO_4$ ), сравнительно долгое дозревание готового продукта на складе и выделение в атмосферу в процессе дозревания фтористых газов.

При поточном способе используют неупаренную экстракционную фосфорную кислоту (из апатитового концентрата), которая разлагает фосфатное сырье (фосфориты). Часть полученной пуль-

пы поступает в распылительную сушилку, затем смешивается с остальной частью пульпы в специальном смесителе. Полученные гранулы сушат в сушильных барабанах до содержания влаги 2—3% и нейтрализуют. Преимуществами этого способа являются отсутствие длительной фазы складского дозревания продукта, возможность применения неупаренной фосфорной кислоты и исключение выделения в атмосферу фтористых соединений.

Стоимость 1 т  $P_2O_5$  в двойном суперфосфате на 6—13% выше, чем в простом. Однако повышенная концентрация обуславливает экономию при транспортировке, хранении и применении этого удобрения. Поэтому стоимость применения 1 т  $P_2O_5$  в двойном суперфосфате оказывается ниже на 8—13%, чем в простом суперфосфате. Удобрительная ценность единицы  $P_2O_5$  двойного суперфосфата такая же, как и в простом.

Однако из-за отсутствия гипса в составе двойного суперфосфата при длительном применении его под культуры, положительно отзывающиеся на серу (из семейства бобовых и крестоцветных), особенно в районах, отдаленных от промышленных центров, предпочтение может быть отдано простому суперфосфату.

Преципитат (дикальцийфосфат) получают осаждением фосфора фосфорной кислоты известковым молоком или мелом. По внешнему виду преципитат белый или светло-серый порошок, фосфор в нем содержится в форме дикальцийфосфата  $CaHPO_4 \cdot \times 2H_2O$ . Содержание усвояемой  $P_2O_5$  в преципитате, полученном на основе сернокислотной экстракции природных фосфатов, должно быть не ниже 31% (I сорт) и 27% (II сорт).

Производство преципитата состоит из двух фаз: получения фосфорнокислых растворов и осаждения фосфора в виде дикальцийфосфата известьесодержащими растворами.

Агрономическая эффективность преципитата не ниже суперфосфата, однако высокая стоимость значительно ограничивает его применение. В СССР в настоящее время преципитат как удобрение практически не применяется.

К термическим фосфатам относятся удобрения, которые получают спеканием или сплавлением природных фосфатов с различными добавками: содой, смесью сульфатов с углем, кварцем, известняком, силикатом магния и другими соединениями. Все эти удобрения получают одним способом—термической высокотемпературной обработкой, в результате которой происходит разрушение кристаллической решетки фосфата, выделяется фтор; фосфор природных фосфатов переходит в усвояемую растениями форму.

Процесс разрушения кристаллической решетки фосфатов при действии высокой температуры полнее идет в присутствии различных добавок. В результате этих воздействий образуется трикальцийфосфат ( $3CaO \cdot P_2O_5$ ) и ряд других соединений. Трикальцийфосфат известен в двух формах: аморфная  $\alpha$  и кристаллическая  $\beta$ , температура взаимоперехода их равна 1180°С. Выше этой

температуры стабильна  $\alpha$ -модификация, ниже —  $\beta$ -форма, фосфор которой плохо усваивается растениями. Чтобы уменьшить переход аморфной  $\alpha$ -формы в кристаллическую  $\beta$ -форму, реакционную массу быстро охлаждают.

Томасшлак получают размолотом побочного продукта (шлака) переработки на сталь и железо богатых фосфором чугунов по щелочному методу. Фосфор в томасшлаке представлен в виде ряда соединений: тетракальцийфосфата ( $4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$  или  $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9$ ), силикокарнатита ( $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9 \cdot \text{CaSiO}_3$ ). Кроме того, в томасшлак входит ряд силикофосфатов кальция и железа: томасит  $6\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ , стедит  $3(3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5) \cdot 2\text{CaO} \cdot (2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$ . Томасшлак по стандарту должен содержать не менее 14 % лимоннорастворимой  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Это щелочное удобрение.

Мартеновский шлак также побочный продукт переработки чугуна, но получаемый в отличие от томасшлака по мартеновскому методу. Мартеновский шлак содержит фосфор в основном в виде силикокарнатита ( $4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{CaSiO}_3$ ). В связи с тем что по мартеновскому способу при плавке чугуна добавляют (часто в больших количествах) плавиковый шпат ( $\text{CaF}_2$ ), полученный шлак содержит фосфора обычно меньше, чем томасшлак. По техническим условиям в нем должно содержаться не менее 12 % лимоннорастворимой  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Мартеновский шлак по агрохимической эффективности сходен с томасшлаком.

Обесфторенный фосфат получают путем гидротермической обработки смеси фосфатного сырья с небольшим количеством кремнезема.

Процесс обесфторивания идет при высокой температуре ( $1450\text{—}1550^\circ\text{C}$ ). Происходит образование трикальцийфосфата в  $\alpha$ -форме, которая при быстром охлаждении водой (закалке) сохраняется и при обычных температурах. Однако прибавка кремнезема позволяет избежать проведения заковки реакционной смеси в связи с тем, что температура перехода  $\alpha$ -трикальцийфосфата в  $\beta$ -модификацию в присутствии кремнезема снижается и продукт может быть постепенно охлажден на воздухе.

Обесфторенный фосфат из апатитового концентрата содержит 34—36 % лимоннорастворимой  $\text{P}_2\text{O}_5$ , из фосфоритов Каратау — 22 %. Получение обесфторенных фосфатов несколько дороже, чем простого суперфосфата, но дешевле двойного.

По удобрительным качествам при основном внесении обесфторенные фосфаты, как показали обобщения результатов полевых опытов, проведенные В. Ф. Калгановым (1964) и С. И. Вольфовичем (1969), И. Г. Кондратьевым с сотрудниками (1970) и Г. В. Подколзиной (1975), не уступают суперфосфату на основных почвенных разностях нашей страны.

#### ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

Фосфорные удобрения в прямом действии обычно используются на 10—15 %. Низкий коэффициент использования связан не

с переходом внесенных фосфатов в неусвояемые растениями формы, а с ограниченной позиционной доступностью для корневых систем продуктов реакций удобрения и почвы, обладающих слабой способностью к передвижению в почвенном растворе. Закрепление фосфатов почвами предотвращает их вымывание; эта расходная статья фосфорного баланса может иметь некоторое значение только на песчаных, торфяных и сильно засоленных почвах.

Взаимодействие фосфорных удобрений с почвой идет по пути образования устойчивых минеральных соединений, состав которых определяется генетическими особенностями почвы, реакцией почвенной среды. В кислых почвах образуются в основном фосфаты полуторных окислов, в нейтральных и карбонатных почвах — фосфаты кальция. Образование самых стабильных форм почвенных фосфатов очень медленный процесс, сопровождающийся накоплением промежуточных метастабильных продуктов реакций, сохраняющих относительно большую растворимость в почвенном растворе и значительно лучшую доступность для растений в сравнении с природными почвенными фосфатами.

Характер превращения вносимого в почву удобрения определяется и его химическим составом. Этим объясняется различная эффективность форм фосфорных удобрений в первые годы после их внесения. При более длительном взаимодействии туков с почвой все легкорастворимые фосфорные удобрения оказывают примерно одинаковое влияние на почвенное плодородие. Превращение труднорастворимых фосфатов, таких как фосфоритная мука или фосфатшлаки, имеет более выраженную специфику во времени и зависит от скорости их растворения в почве. Фосфор, освобождающийся по мере растворения этих удобрений, частично используется растениями, а остаточные фосфаты подвергаются тем же процессам превращения, что и фосфор суперфосфата.

Часть фосфора удобрений может связываться биологически, закрепляясь в виде органофосфатов в составе органического вещества корней и почвенных организмов, которые становятся доступными растениям по мере своей минерализации.

Фракционирование почвенных фосфатов с применением метода Чанга — Джексона и различных его модификаций позволило выявить особенности фосфатного фонда и поведение остаточных фосфатов удобрений в зависимости от генетических особенностей почв. Эти исследования также показали, что судьба остаточных фосфатов и питание растений в основном связаны с так называемыми активными минеральными фосфатами.

Наименьшие запасы доступного растениям фосфора содержат красноземы. Их активные минеральные фосфаты на 75—80 % представлены железофосфатами. Применение высоких доз фосфора перестраивает фосфатный фонд этой почвы. В сорокалетних опытах на красноземе в Анасеули (Грузинская ССР) весь остаточный фосфор накапливался во фракциях активных минераль-

ных фосфатов в соединениях, доступных для питания чайного куста. При внесении суперфосфата повышалось содержание обеих фракций полуторных окислов, но в значительно большей степени благодаря наиболее доступной фракции  $Al-P$ . Если в исходной почве отношение  $Al-P$  к  $Fe-P$  составляло 1:9, то с увеличением степени удобренности оно сужалось и при наивысшей дозе составило 1:1,2 (Кубарева, Кулешова, 1979).

Неудобренные и слабо удобренные дерново-подзолистые почвы характеризуются низким содержанием рыхлосвязанных фосфатов. В суглинистых почвах содержание  $Fe-P$  значительно преобладает над содержанием  $Al-P$ , на почвах более легкого механического состава количество алюмофосфатов возрастает, приближаясь к количеству железозосфатов, а в ряде случаев превосходит его.

Высокоосновные фосфаты кальция занимают значительное место в фонде активных минеральных фосфатов, но доступность их крайне ограничена, так как они представлены в основном первичными минералами типа апатита. Интенсивное применение фосфорных удобрений увеличивает содержание фосфатов полуторных окислов, но в значительно большей степени за счет  $Al-P$ . В результате на суглинистых почвах отношение  $Al-P$  к  $Fe-P$  постепенно сужается, а на легких почвах может наблюдаться значительное преобладание алюмофосфатов. Абсолютное содержание фракции  $Ca-P$  обычно изменяется в наименьшей степени.

Общие закономерности в накоплении остаточного фосфора удобрений в дерново-подзолистых почвах различного механического состава и потреблении растениями отдельных фракций активных минеральных фосфатов хорошо иллюстрируют данные модельного опыта с зерновыми культурами на ЦОС ВИАУ (табл. 35).

Из данных таблицы видно, что примерно 70 % внесенных в опыте фосфатов через 4 года обнаруживалось в виде его активных минеральных форм, причем в наибольшей степени во фракции  $Al-P$ . В суглинистых почвах соотношение  $Fe-P:Al-P$  сужалось с 2:1 до 1:1, а в супесчаной почве расширялось с 1:2—3 до 1:4. При сопоставлении содержания активных минеральных фосфатов под растениями и в парующих сосудах отчетливо видно, что именно фракция  $Al-P$  и является наиболее доступной растениям.

В черноземных и каштановых почвах активные минеральные фосфаты на 60—80 % представлены высокоосновными фосфатами кальция. Внесение фосфорных удобрений повышает содержание рыхлосвязанного фосфора; наиболее доступные фосфаты накапливаются также во фракции  $Al-P$ ; следует учитывать условность ее названия, так как она включает и новообразованные низкоосновные фосфаты кальция и магния. При этом заметно увеличивается содержание высокоосновных фосфатов кальция, особенно при длительном пребывании остатков удобрения в кар-

35. Накопление и потребление минеральных форм фосфатов (в мг  $P_2O_5$  на 100 г почвы) в почве (по данным Касицкого и Любомудровой, 1980)

Внесено в 1973 г.	Вынесено расте- ниями в сумме за 1973—1976 гг.	Содержание активных минеральных фосфатов к концу опыта (по методу Чанга — Джексона)				
		рыхлосвя- занных	Al—P	Fe—P	Ca—P	сумма
Дерново-подзолистая среднесуглинистая почва (Кировская область)						
0	7,3	0,24	6,75	13,05	8,55	28,59
0*	0	0,31	8,85	16,75	7,47	33,38
12	12,9	0,49	7,97	14,35	8,55	31,36
12*	0	0,55	12,45	18,95	9,67	41,62
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва (Смоленская область)						
0	5,3	0,25	3,45	7,57	5,05	16,32
0*	0	0,34	5,67	10,65	6,25	22,91
12	12,7	0,34	5,67	10,20	6,17	22,38
12*	0	0,45	10,92	12,85	7,00	31,32
Дерново-подзолистая супесчаная почва (Брянская область)						
0	9,8	0,48	9,37	4,25	16,25	30,35
0*	0	0,67	13,87	4,62	16,00	35,16
12	12,5	0,88	12,50	5,57	18,37	37,32
12*	0	0,99	20,40	5,85	17,70	44,94

\* Паровые сосуды.

богатых почвах. Накопление остаточного фосфора происходит и в виде органофосфатов, которые на черноземных и каштановых почвах могут служить хорошим источником для питания растений.

Активные минеральные фосфаты сероземных почв более чем на 90 % состоят из высокоосновных фосфатов кальция. В условиях модельного вегетационного опыта с хлопчатником на темном сероземе и сероземно-луговой почве соответственно 75—81 % и 95—96 % от внесенного количества фосфорных удобрений через три года были учтены в I (рыхлосвязанные фосфаты), II (Al—P) и IV (высокоосновные фосфаты Ca) фракциях активных минеральных фосфатов (Касицкий, Закиров, 1979). Основная масса остаточного фосфора накапливалась в виде высокоосновных фосфатов кальция. Балансовые расчеты показали, что основными источниками снабжения растений фосфором в течение трех лет были I, II и особенно IV фракции активных минеральных фосфатов. Кроме того, фосфор удобрений закреплялся в виде органофосфатов, которые затем играли заметную роль в питании хлопчатника.

Таким образом, фосфаты удобрений быстро переходят в соединения, характерные для данного типа почвы. Однако в основном они накапливаются во фракциях, наиболее доступных растениям, что вызывает благоприятную перестройку фосфатного фонда почвы. Поэтому при систематическом внесении фосфорных удобрений все агрохимические методы четко фиксируют улучшение фосфатного режима почв: увеличение запаса подвижных фосфатов, повышение их степени подвижности, увеличение активности фосфатионов в почвенном растворе и снижение фосфатного потенциала, снижение потенциальной буферной способности почв к фосфатам, образование более растворимых фосфорных соединений, определяющих концентрацию почвенного раствора.

Накопление подвижных или доступных фосфатов постепенно приводит к так называемому зафосфачиванию почв, когда фосфорное питание растений полностью обеспечивается последствием ранее внесенных фосфорных удобрений. Высокое и длительное их последствие установлено в настоящее время на всех типах почв.

Исследования по превращению и эффективности остаточных фосфатов выявили следующие закономерности последствия: последствие увеличивается с повышением доз фосфорных удобрений;

для создания равного последствия в определенном интервале времени на почве с большей фиксирующей способностью требуется более высокая доза фосфора, чем для почвы, слабо фиксирующей фосфаты;

интенсивность последствия падает с увеличением времени взаимодействия остаточного фосфора с почвой, повышается с улучшением сопутствующего уровня азотно-калийного питания и при известковании кислых почв;

на величину последствия большое влияние оказывает форма удобрения. Так, фосфоритная мука в силу специфичности превращений в почве, уступая водорастворимым формам в прямом действии, отличается обычно высоким длительным последствием;

отмечается тесная взаимосвязь эффективности остаточного фосфора с биологическими особенностями культуры. Так, в Ротамстедских опытах последствие фосфора на картофеле было эквивалентно действию 12 кг  $P_2O_5$  на 1 га, на сахарной свекле — 34, брюкве — 45, ячмене — 90, пшенице — 37 кг; то есть наиболее отзывчивым на последствие оказался ячмень, наименее — картофель (Cooke, 1967).

Эффективность фосфорных удобрений связана обратной зависимостью с содержанием подвижных фосфатов в почве. При достижении их оптимального содержания, способного обеспечить максимальный урожай возделываемых культур, прибавка от вновь вносимых фосфатов резко снижается и приближается к нулю. В этих условиях регулирование продуктивности культур осуществляется с помощью других элементов питания, а также рядом

агротехнических мероприятий. Фосфорные удобрения вносят для поддержания созданного уровня обеспеченности фосфатами в дозах, компенсирующих или несколько превышающих отчуждение фосфора из почвы (Гро, 1966; Гърбучем и др., 1968; Соколов, 1976; Гашон, 1976).

Излишнее обогащение почв фосфатами приводит к непроизводительным его затратам, а недостаточная обеспеченность — к непроизводительным затратам азота и калия. Поэтому определение оптимального уровня фосфатной обеспеченности почв — важная задача агрохимической науки.

Основными критериями при оценке оптимальности фосфатного состояния почв являются содержание подвижного фосфора, при котором достигнут наибольший урожай возделываемой культуры, и отсутствие эффективности дополнительно вносимых фосфорных удобрений (необходимо ориентироваться на наиболее требовательные к фосфатному питанию культуры в конкретных почвенно-климатических условиях).

Обобщение данных многочисленных краткосрочных полевых опытов и опытов на искусственно созданных фосфорных фонах, а также длительных опытов с возрастающими дозами фосфора позволило определить индексы оптимального содержания подвижных фосфатов в основных типах почв страны и установить ориентировочные затраты фосфорных удобрений для его достижения (табл. 36).

36. Оптимальная обеспеченность основных почв СССР подвижным фосфором

Почвы	Метод определения подвижного фосфора	Оптимальное содержание $P_2O_5$ (в мг/100 г)	Затраты $P_2O_5$ для повышения содержания фосфора на 1 мг/100 г (в кг/га)
Дерново-подзолистые	Кирсанова		
Песчаные и супесчаные	»	10—15	40—60
Легко- и среднесуглинистые	»	10—15	60—90
Тяжелосуглинистые	»	10—15	90—120
Черноземы некарбонатные	Чирикова	10—15	50—70
Карбонатные черноземы и каштановые почвы	Мачигина	3—3,5	90—120
Сероземы	»	3—4	100—130 и более

Оптимальным содержанием подвижных фосфатов в почве (по Кирсанову), обеспечивающим при прочих благоприятных условиях получение с 1 га севооборотной площади 45—50 ц зерновых единиц основной продукции в год, для почв Нечерноземной зоны является 10—15 мг  $P_2O_5$  на 100 г почвы, что по принятой для метода Кирсанова шкале соответствует группе повышенной обеспеченности фосфором. Затраты фосфатов для его достижения могут



существенно различаться и на известкованных почвах зависят прежде всего от их механического состава. Исходя из данных полевых опытов, а также из результатов лабораторных исследований, для повышения содержания подвижного фосфора на 1 мг/100 г почвы на известкованных дерново-подзолистых почвах, а также на песчаных и супесчаных почвах сверх выноса урожаем  $P_2O_5$  требуется внести 40—60 кг/га, на легко- и среднесуглинистых — 60—90 кг/га, на тяжелосуглинистых — 90—120 кг/га. На основании этих нормативов легко рассчитать при конкретном исходном содержании фосфора в почве общие затраты фосфатов, необходимые для достижения заданной или оптимальной обеспеченности почв фосфором. В некоторых случаях высокое содержание кислоторастворимого фосфора обусловлено не окультуренностью почвы, а ее природными особенностями. Тогда фосфорные удобрения могут быть эффективны и при очень высоком содержании подвижного фосфора. История каждого участка позволяет по общей сумме внесенных в предшествующие годы фосфатов прогнозировать обеспеченность почв фосфором. Так, наличие на 1 га 600—800 кг остаточных фосфатов практически на всех почвах гарантирует их оптимальное фосфатное состояние.

Имеющиеся опыты показывают, что оптимальным уровнем содержания подвижного фосфора в черноземных почвах является 10—15 мг/100 г (по Чирикову), в карбонатных черноземах и каштановых почвах — 3—3,5 мг/100 г (по Мачигину). В первом случае для увеличения содержания фосфора на 1 мг/100 г почвы сверх выноса требуется внести 50—70 кг  $P_2O_5$  на 1 га, во втором — 90—120 кг/га.

Оптимальным уровнем содержания подвижного фосфора на сероземных почвах является 3—4 мг/100 г почвы (по Мачигину). Для увеличения содержания подвижного фосфора на 1 мг/100 г почвы требуется внести  $P_2O_5$  сверх выноса 100—130 кг/га, но на сероземах нового орошения эти затраты могут значительно возрасти.

При достижении оптимального уровня обеспеченности различных почв фосфатами его поддержание осуществляется дозами, компенсирующими или несколько (на 10—15 %) превышающими отчуждение фосфора из почвы. Опыты показывают, что среднегодовая норма фосфорных удобрений 60 кг  $P_2O_5$  на 1 га, компенсирующая вынос фосфора высокими урожаями сельскохозяйственных культур, вполне достаточна для поддержания созданного уровня.

В настоящее время большая часть пахотных почв страны еще далека от оптимальной обеспеченности подвижным фосфором, а около 50 % площади пашни имеет низкое содержание фосфора. Поэтому для повышения плодородия почв необходимо в целом по стране длительное время иметь значительное превышение поступления фосфора в земледелие над его расходом. Это положение учитывалось ВИУА и НИУИФ при разработке потребности сель-

**37. Примерный баланс фосфора  
в земледелии СССР на 1990 г.**

Показатель	$P_2O_5$ (в млн. т)
<b>Расход:</b>	
вынос урожаем	6,4
потери от эрозионных процессов	0,3
всего	6,7
<b>Поступление:</b>	
с минеральными удоб- рениями	12,3
с органическими удоб- рениями	2,5
с семенами	0,2
всего	15,0
<b>Компенсации расхода (в %)</b>	224

ского хозяйства СССР в минеральных удобрениях на 1990 г. Для получения намеченных на перспективу урожаев сельскохозяйственных культур необходимо вносить 12,3 млн. т  $P_2O_5$  при общем выносе 6,4 млн. т  $P_2O_5$ . С учетом потерь фосфора и его поступления с органическими удобрениями и семенами компенсация расходов  $P_2O_5$  составит в 1990 г. 224% (табл. 37). Ожидается, что к этому времени будут преобладать почвы со средним и повышенным содержанием  $P_2O_5$ , а почвы с низким содержанием подвижного фосфора составят около 25%.

В условиях дефицита фосфорных удобрений и неполного удовлетворения потребности в них сельскохозяйственного производства достижение оптимальной обеспеченности почв фосфором должно сопровождаться наиболее эффективным использованием вносимых фосфатов в единицу времени. Одним из крупных резервов повышения эффективности фосфорных удобрений является их рациональное размещение в севообороте с концентрированием доз под наиболее отзывчивые культуры. Этот резерв может быть реализован в полной мере только на основе знания закономерностей действия и последствий фосфатов под каждую культуру севооборота.

При периодическом внесении как в двух-, так и в трехлетнем цикле суммарная обеспеченность подвижным фосфором культур севооборота значительно выше, чем при ежегодном внесении благодаря резкому (в 2—3 раза) превосходству однократных доз в год их применения. Только в заключительный год трехлетнего цикла ежегодное внесение обеспечивает более высокое содержание фосфатов, но преимущество это значительно слабее. Следовательно, циклооткрывающая культура при периодическом внесении лучше обеспечивается фосфором, чем циклозакрывающая при ежегодном. Поэтому периодическое внесение позволяет достигать оптимального содержания подвижного фосфора в почве форсированными темпами, что следует приурочивать к наиболее отзывчивым культурам.

При достижении оптимального содержания подвижного фосфора в почве периодическое внесение уже не имеет преимуществ перед ежегодным в агрономическом отношении, так как фосфорные удобрения не оказывают непосредственного влияния на урожай. По своей сущности периодическое внесение становится так

называемым запасным, широко используемым в ГДР, ФРГ и других странах Западной Европы при высокой обеспеченности почв питательными элементами. Запасное внесение фосфора в сочетании с калием имеет большие организационно-хозяйственные преимущества перед ежегодным: снижаются затраты на хранение минеральных удобрений, так как требуется меньшая емкость складов; резко (в 2—2,5 раза) повышается производительность труда на внесении фосфорно-калийных туков, что позволяет или более рационально использовать технику, или резко сократить время на внесение удобрений и оптимизировать сроки и технологию проведения других сельскохозяйственных работ. В условиях интенсивной химизации при достаточном наличии фосфорных туков и периодическое, и запасное внесение их и фосфорно-калийных удобрений должно быть неизменным элементом рациональной системы удобрения.

Дифференцирование применения удобрений в соответствии с данными картограмм по содержанию подвижного фосфора предполагает снижение его доз по мере повышения содержания в почве. Однако на практике в зонах интенсивного применения удобрений и в передовых хозяйствах быстро достигается оптимальное содержание подвижного фосфора в почве, урожаи сельскохозяйственных культур стабилизируются на высоком уровне, близком к потенциалу возделываемых сортов, но дозы фосфорных удобрений продолжают с каждым годом увеличиваться.

Необходимо учитывать, что обогащение почв от повышенного содержания подвижного фосфора до высокого и очень высокого ведет к непропорциональным затратам фосфатов, так как не способствует росту урожая, а в некоторых случаях приводит к их снижению. Наличие в стране больших площадей почв, в которых увеличение содержания подвижных фосфатов от низкого и среднего к повышенному окупается значительным ростом продуктивности сельскохозяйственных культур, требует более обоснованного распределения фосфорных удобрений как между республиками, краями и областями, так и внутри них — между районами и хозяйствами. Правильное распределение фосфорных удобрений с учетом обеспеченности почв подвижными фосфатами на всех административно-хозяйственных уровнях — важный фактор повышения их эффективности в целом по стране. С увеличением производства фосфорных удобрений значение этого фактора еще более возрастает.

Для всех экономических районов и республик страны на каждую последующую пятилетку устанавливаются соотношения затрат питательных веществ удобрений (NPK) на получение прибавки урожая и удобрений в килограммах на тонну прибавки. Наличие таких нормативов позволяет обосновывать дифференцированную потребность в удобрениях. Однако соотношения питательных веществ по нормативам существенно расходятся с фактически поставляемыми сельскому хозяйству минеральными удобрениями.

ми: отмечается недостаток фосфора. Поэтому особое значение имеют правильная оценка доли участия фосфора в формировании прибавок урожая и его окупаемость для конкретной культуры в зависимости от почвенно-климатических условий. Даже в смежных областях существуют значительные различия в эффективности фосфорных удобрений, которые наиболее заметно проявляются на слабо обеспеченных подвижным фосфором почвах. Учет этих различий при распределении фосфорных удобрений еще один значительный резерв повышения эффективности фосфора в целом по стране.

Повышению эффективности применения фосфорных удобрений и их коэффициента использования способствует также оптимальное пространственное распределение фосфорных удобрений в почве для снижения их фиксации и повышения концентрации фосфора в прикорневых зонах. Важны сбалансированный уровень азотно-калийного питания и микроэлементов, использование легкорастворимых фосфорных удобрений на известкованных почвах, фосфоритование кислых почв, а также применение новых, более эффективных форм фосфорных удобрений.

#### ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ

Зерновые культуры. Вопросам повышения качества зерна, влиянию на него условий выращивания, в том числе минеральных удобрений, посвящены многочисленные исследования. Влияние удобрений на качество зерна злаков довольно хорошо изучено. Большинство исследователей отмечает положительное действие азотных удобрений на качество зерна; что касается фосфорных и калийных удобрений, то они, как правило, не оказывают заметного влияния на качество зерна или несколько его ухудшают.

В большинстве случаев внесение фосфорных удобрений без увеличения дозы азота вызывало снижение белковости зерна (Мосолов, Воллейдт, 1962; Мосолов, 1965; Лайков, 1936, и др.). На черноземах Центрально-Черноземной зоны фосфорно-калийные удобрения снижали качество зерна озимой пшеницы, увеличение доз фосфора резко уменьшало содержание белка и клейковины (Пресняков, 1969).

Применение фосфорно-калийных удобрений без азотных существенно не влияло на содержание белка и клейковины в зерне на суглинистых почвах Предуралья (Пискунов, 1968). В опытах И. М. Коданева (1970) на Горьковской областной опытной станции фосфорные удобрения не оказывали положительного влияния на качество белка в зерне ячменя. В среднем за три года содержание белка составляло при внесении фосфорных удобрений 11,2% против 11,3% без удобрений. Внесение азотных удобрений повышало содержание белка до 12,7%, тот же эффект получался и при дополнительном внесении фосфора.

При одностороннем длительном применении фосфатов наблюдается уменьшением белковости, которое иногда сопровождается снижением всех технологических показателей. Такое явление отмечалось в стационарных опытах Казахского института земледелия (Шлавицкая, 1962).

В опытах быв. Мироновской опытной станции (Созинов, 1964, 1970) при  $P_{60}$  по сравнению с  $N_{120}P_{60}K_{120}$  снижались: стекловидность с 99 до 53%, содержание протеина с 17,16 до 10,26%, сырой клейковины с 41,7 до 21,6%, сила муки с 339 до 257 е. а.

На дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве ЦОС ВИУА даже при повышенных дозах фосфора не изменялось содержание белка и сырой клейковины (Михалев, Воллейдт, 1969). Не оказывали существенного влияния фосфорные удобрения на качество зерна озимой пшеницы и в условиях орошения на темно-каштановых почвах Крыма (Тулин, Андрищенко, 1972), а также на качество зерна яровой пшеницы на темно-каштановых почвах Уральской области (Дворянинова, 1972). Фосфорные удобрения не оказывали положительного влияния на количество белка и клейковины в зерне озимой пшеницы на деградированных черноземах Черкасской области (Рыбак и др., 1971), а также на обыкновенном малогумусном черноземе степи УССР (Жемела, Дуда, 1971) и на мощном малогумусном черноземе (Соломахин, 1972). Внесение фосфорных удобрений благоприятно сказывалось на стекловидности зерна озимой пшеницы и содержании в нем сырой клейковины при возделывании на каштановых почвах при орошении. В то же время увеличение доз фосфорных удобрений (80, 120, 160 кг/га) не привело к увеличению содержания в зерне белковых веществ (Ронсам и др., 1972).

На обыкновенных черноземах Воронежской области основную роль в улучшении технологических качеств зерна яровой пшеницы играли азотные удобрения (Пшеничный, Захаров, 1972).

В последнее время большое внимание уделяется оптимальному соотношению азота, фосфора и калия в удобрениях. Одностороннее внесение фосфора приводит к нарушению очень важного для растений пшеницы соотношения между азотом и фосфором и ухудшению качества зерна (Созинов, Козлов, 1970). Считается, что зерно с хорошим качеством формируется в том случае, когда уровень азотного питания преобладает над фосфорным (Мосолов, 1968; Воллейдт, 1965).

В то же время при резком преобладании азота ( $N_{120}P_{60}K_{60}$ ) качество зерна озимой пшеницы несколько снижается. Фосфорно-калийные удобрения не способствовали улучшению качества зерна, а при внесении их совместно с азотом качество зерна было самым высоким (Глуховский, Белоус, Кононов, 1968).

Оптимальным соотношением NPK для яровой пшеницы, по данным И. В. Мосолова и Л. П. Воллейдт (1962), является 1,25 : 1,0 : 0,5. Соотношение N и P в удобрении должно изменяться в зависимости от возделываемой культуры. Так, для раннеспелых

сортов лучшие результаты получаются, если в общей сумме азотных и фосфорных удобрений преобладает азот, а для позднеспелых — фосфор (Мосолов, 1965). При возделывании кормового и пищевого ячменя рекомендуется вносить в почву повышенное количество азотно-фосфорных удобрений на относительно пониженном фоне калия, что способствует увеличению содержания спирторастворимой и щелочерастворимой фракций белка, повышению количества свободных аминокислот и особенно незаменимых. Для получения высококачественного пивоваренного зерна ячменя необходимо, чтобы калий преобладал над азотом и фосфором. При таких условиях формируется зерно с высоким содержанием экстракта, крахмала и солерастворимых фракций белка (Мосолов, 1968).

Положительное действие фосфорных удобрений на содержание белка в зерне наблюдалось в степных районах недостаточного увлажнения на обыкновенных и карбонатных черноземах, а также на почвах, склонных к засолению. При недостатке влаги азотные удобрения не действовали, а внесение суперфосфата и фосфорно-азотных удобрений улучшало соотношение питательных элементов в почве, способствовало лучшему усвоению их растениями, экономному расходованию влаги, благодаря чему повышался урожай и улучшалось качество пшеницы (Минеев, 1973).

Положительное действие суперфосфата на белковость зерна наблюдалось в степных областях (в Херсонской и др.), а в засушливые годы — в Харьковской (суперфосфат с калийной солью повышали белковость Мироновской 264 с 13,2 до 14,3%, Харьковской 4 с 12,6 до 14%). Не отмечалось отрицательного действия на объемный выход хлеба и силу муки (Вертий, Мельников, 1965). На обыкновенном черноземе Запорожской областной опытной станции при предшественнике кукуруза на силос без удобрения зерно озимой пшеницы содержало 12,68%, а при внесении  $P_{60}$  — 13,40% белка; при предшественнике горох — соответственно 14,73 и 15,5% (Бучек, Подопрigора, 1967).

На карбонатном черноземе и дерново-глеевой почве Северной Осетии при внесении  $P_{60}$  в зерно озимой пшеницы содержание белка повышалось на 0,7% (Джанаев и др., 1972).

На каштановых карбонатных почвах Дагестана отмечено увеличение белковости зерна озимой пшеницы (наряду с увеличением урожая) при рядковом припосевном внесении гранулированного суперфосфата (Кельбиев, 1966). Повышение содержания белка в зерне при рядковом внесении суперфосфата отмечалось и другими исследователями (Демидюк, Стецко, 1966; Суднов, 1965).

Фосфорные удобрения оказывали высокое действие на белковость зерна озимой пшеницы на слабокультуренной дерново-подзолистой почве Ивановской области.

Положительное действие фосфорных удобрений объясняется в первую очередь влиянием фосфора на азотный обмен и синтез белка в растениях. Резкий недостаток фосфора отрицательно ска-

зывается на синтезе нуклеиновых кислот и через них на синтезе белка. Благоприятное действие суперфосфата на белковость зерна часто наблюдается на черноземах с крайне низким содержанием доступного фосфора, особенно в сухие годы, когда почвенные фосфаты становятся трудноусвояемыми. В этих условиях в фосфоре остро нуждаются и почвенные микроорганизмы (азотфиксирующие и нитрифицирующие), влияющие на азотный режим почвы.

Сахарная свекла относится к числу растений, сильно реагирующих на изменения условий фосфорного питания. Установлено, что фосфорные удобрения повышают урожай и сахаристость этой культуры. Фосфор оказывает положительное влияние на синтез белков, что приводит к снижению содержания вредного азота и улучшению технологических качеств корней. Фосфорное голодание обычно сочетается с пониженной сахаристостью свеклы (Тонкаль, 1970). Недостаток фосфора тормозит накопление органических веществ и синтез сахаров в корне и к концу вегетации приводит к снижению урожая и сахаристости корня при некотором накоплении сахаров в листьях (Любарская, Архипова, 1950). Применение фосфорных удобрений обуславливало уменьшение накопления хлорофилла в начальный период роста и значительное снижение количества его к концу вегетации. Это свидетельствует о том, что усиление питания сахарной свеклы фосфором способствует старению ее и ускоряет наступление технической спелости.

Фосфор активизирует процессы образования фосфорных эфиров, а также способствует синтезу веществ, содержащих макроэргические связи, что в конечном итоге определяет продуктивность сахарной свеклы (Бузанов, 1972).

На черноземных почвах внесение фосфора повышало урожай свеклы на 30—40 ц/га, сахаристость на 0,2—0,3%. С увеличением доз фосфора с 60 до 120 кг повышались урожайность корней (прибавка с 70 до 90 ц/га) и сахаристость (на 0,2—0,7%) по сравнению с контролем. Лучший вариант  $N_{60}P_{90}K_{60}$ , то есть соотношение 1:1,5:1. В этом варианте получен наибольший выход сахара — 47,71 ц/га по сравнению с 27,99 ц/га на контроле (Бисовецкий, Зинченко, 1967; Тонкаль, 1970; Тригуб, 1968).

При рядковом внесении наибольшие прибавки получены от внесения в рядки фосфорного ( $P_{20}$ ) и азотно-фосфорно-калийного ( $P_{20}N_{10}K_{10}$ ) удобрения — 47—61 ц/га при сахаристости на 0,5—0,6% выше, чем на контроле (Спиридонова, 1968).

Внесение суперфосфата в дозе 125 кг/га на темно-каштановых почвах увеличивало абсолютный выход сахара на 21,5 ц/га, или на 26%, в сравнении с контролем благодаря увеличению урожая корней и заметному повышению сахаристости (Имангазиев, Басибек, 1968).

В орошаемых условиях Чуйской долины Киргизской ССР (Печенов, 1964) при годовой дозе минеральных удобрений  $N_{60}P_{60}K_{60}$  содержание сахара составляло 16,3—16,7%. Внесение высоких

доз удобрений ( $N_{150}P_{210}K_{150}$  и  $N_{120}P_{180}K_{120}$ ) вело к снижению сахаристости односемянной свеклы (15,1—15,3%), но выход сахара благодаря более высокому урожаю корней увеличился.

На выщелоченных тяжелосуглинистых черноземах Челябинской области с высоким содержанием  $N$ ,  $K_2O$  и низким содержанием  $P_2O_5$  оптимальной оказалась доза  $N_{70}P_{90}K_{60}$ , повысившая урожай корней на 143 ц/га, ботвы на 95 ц/га, сбор сахара на 25,6 ц/га. Увеличение дозы фосфора до 120 т/га не обеспечило дальнейшего повышения урожая. Одностороннее азотное удобрение вызвало усиление развития ботвы и привело к снижению сахаристости. Отрицательное действие азота снизилось под влиянием фосфорных и фосфорно-калийных удобрений (Теребкова, 1971).

По данным Л. С. Любарской (1966), обобщившей результаты западноевропейских длительных опытов с удобрениями, сахарная свекла в опыте в Лаухштедте (ГДР) в период с 1922 по 1951 г. отличалась высоким содержанием сахара при внесении удобрений. Причем в вариантах с внесением фосфора и азота сахаристость сахарной свеклы была выше, чем при внесении одного азота, особенно на безнавозном фоне.

На каштановых почвах орошаемой зоны юга Украины фосфорные и калийные удобрения оказывали меньшее влияние на величину урожая корнеплодов сахарной свеклы, но увеличивали содержание в них сахаров. Добавление 120 кг действующего вещества фосфорных удобрений к  $N_{120}K_{60}$  позволило увеличить сбор сахара с гектара с 74,9 до 97 ц. Сахаристость повышалась с 13,2% на фоне НК до 16,4% в варианте РК и 16% на фоне NPK (Ярмизин, Ронсаль, 1972).

Наблюдаются случаи отрицательного действия избыточно высоких доз фосфора как на урожай, так и на сахаристость сахарной свеклы. По данным В. П. Бельского и Ф. С. Соболева (1940), 150 кг фосфора на фоне возрастающих доз навоза снижали сахаристость на 0,3—0,4%. Аналогичные данные приведены А. В. Соколовым (1939).

Избыток фосфора может снизить сахаристость, особенно на фоне повышенного содержания фосфора в почве, но меньше, чем азот. Д. М. Аникст и Ю. Л. Синицын (1972) обобщили результаты 23 опытов 19 опытных учреждений Географической сети опытов по действию различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожай сахарной свеклы и его качество. Отмечены случаи положительного действия фосфора на сахаристость (Сумская и Балашовская опытные станции) и отрицательного (Черниговская и Кировоградская опытные станции, Самаркандский сельскохозяйственный институт). В большинстве случаев содержание сахара от внесения разных доз фосфорных удобрений существенно не менялось. Авторы считают, что без азотного фона действие фосфора на сахаристость сахарной свеклы было бы более определенным.



Действие фосфорных удобрений на урожай и сахаристость сахарной свеклы находится в связи с количеством осадков в течение вегетации и особенно с их распределением по периодам (Рождественский, 1968). В годы с количеством осадков значительно меньше нормы фосфорные удобрения действовали слабо или совсем не действовали. При малой норме осадков, но при более равномерном их распределении в период вегетации создаются условия для более положительного действия удобрений на сахаристость.

Не всегда подтверждается общепринятое представление о том, что в годы с пониженным количеством осадков в сентябре удобрения лучше действуют на сахаристость сахарной свеклы. Отмечено повышение сахаристости от фосфорных удобрений при выпадении осадков выше нормы в августе или в августе и сентябре. Влияние фосфора на сахаристость зависит не только от количества осадков в августе и сентябре, но и от их распределения в предыдущие месяцы.

**Подсолнечник.** Большинство исследователей (Отрыганьев, 1928; Якушкин, 1929; Серeda, 1932; Демиденко, Голле, Баринoв, 1940, Горьяинов, 1940; Вайнберг, 1969; Касастан, 1965, и др.) отмечает, что усиленное фосфорное питание увеличивает содержание жира в семенах подсолнечника. Азотные удобрения усиливают синтез белков, в результате чего содержание жира снижается. Вероятность превращения углеводов в жиры при прямом участии фосфорной кислоты через фосфорнокислые эфиры объясняет положительное влияние фосфорных удобрений на накопление масла в семенах подсолнечника и других культур (Демиденко, 1940). При недостатке фосфора ослабляются процессы аккумуляирования и трансформирования энергии дыхания, что приводит к образованию повышенного содержания небелковых форм азота и свободных аминокислот, в результате затормаживается синтез белков и нуклеиновых кислот (Шахов, Шищенко, 1964).

## КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

В жизни растений калий имеет важное значение, хотя и не входит в состав определенных органических соединений. Он необходим при синтезе аминокислот и белков, положительно влияет на образование и передвижение углеводов, способствует оводнению биокolloидов. Калий важен еще и для механизма открывания и закрывания замыкающих клеток устьиц.

Установлено, что дефицит калия в питании растений влечет за собой нарушение процессов биосинтеза белков. Вместо них, как и при фосфорном голодании, накапливаются амиды и аминокислоты. Известно, что калий удерживается в клетках при освещении листьев и выделяется через корни наружу в темноте. Однако природа этих связей, возникающих на свету, остается невыясненной.

Исследования Глуховского и Шокова (1979) показали, что зимостойкость озимой пшеницы на карбонатном черноземе Северного Кавказа была тем выше, чем больше приходилось калия на единицу азота в период наступления зимнего покоя.

Горбачева и Труфанова (1978) отмечают, что длительный сезон мерзлоты и низких температур в Красноярском крае обуславливает слабую подвижность и доступность растениям почвенного калия. Вследствие этих причин необходимы более высокие индексы при обосновании целесообразности применения калийных удобрений и их доз.

В почве содержание калия гораздо больше, чем азота, и во много раз больше, чем фосфора. Однако он представлен крайне малорастворимыми алюмосиликатами. В обменно-поглощенном состоянии, доступном растениям, во всех почвах калия очень мало, а водорастворимых его солей и вовсе ничтожное количество. Этим и обуславливается необходимость внесения калийных минеральных туков. Слабее всего сельскохозяйственные культуры обеспечены калием на торфянистых и дерново-подзолистых почвах, особенно супесчаных. Валовое содержание  $K_2O$  (в % к массе сухой почвы) на разных почвах составляет: торфянистых — 0,03—0,1; супесчаных — 0,7—1,5; суглинистых — около 2; тяжелосуглинистых — до 2,5.

Подобно фосфору, калий хорошо удерживается почвой из удобрений, обменно поглощаясь ее отрицательно заряженными коллоидами и оставаясь, таким образом, в доступном растениям состоянии. Будучи легко растворимыми в воде солями, промышленные калийные удобрения быстро вступают во взаимодействие с почвой и довольно полно адсорбируются ее коллоидной частью. Этим предотвращается заметное передвижение в почве, а тем бо-

лее вымывание из нее калия, внесенного с удобрениями. Например, длительное применение калийных удобрений на суглинистом черноземе Мироновской опытной станции (Киевская область) заметно повысило содержание калия в пахотном слое, не отразившись вовсе на подпахотном.

Все калийные удобрения (хлориды, сульфаты и карбонаты калия) хорошо растворимы в воде. В почвах катион калия поглощается обменно, оставаясь, таким образом, в доступном растениям состоянии. Потери калия возможны лишь из почв легкого механического состава в хорошо увлажненных районах. Но во влажных субтропиках, где господствует промывной режим, значительные потери калия (около  $\frac{1}{3}$  внесенного) отмечаются и на связных почвах. На остальной территории страны более существенным фактором снижения доступности сельскохозяйственным культурам внесенного с удобрениями калия надо считать его необменное поглощение почвой. Это явление называют фиксацией калия. Оно связано с вхождением ионов калия в межпакетное пространство кристаллов вместе с раствором в связи с набуханием минералов. При высыхании их часть катионов калия «зажимается» в кристаллах. На лёссовых почвах ФРГ обменного калия обнаружено в 9 раз меньше, чем фиксированного. На маршевых (наносных) почвах Голландии из добавленного с удобрениями калия фиксировалось 21—59%. В Канаде вследствие фиксации калия коэффициент его использования сельскохозяйственными культурами составляет 25%—48% внесенной дозы.

Многочратно устанавливали, что фиксация почвой калия резко усиливается при ее высушивании. Так, Schröder (1955) нашел, что влажные почвы фиксировали около 1 мг·экв. К на 100 г, а при высушивании — до 2 мг·экв.

В длительном эксперименте на легкосуглинистой оподзоленной почве Тимирязевской сельскохозяйственной академии после 43 лет монокультуры озимой ржи и картофеля на фоне НРК в пахотном слое несколько увеличивалось содержание обменного калия, но заметно уменьшалось количество его, переходящее в 10%-ную солянокислую вытяжку. Это свидетельствует о частичном переходе калия из необменной формы в обменную наряду с усвоением его из вносимых удобрений (Петербургский, Янишевский, 1959).

На супесчаной почве Соликамской опытной станции на протяжении 20 лет в опыте бессменно выращивали картофель. За этот срок убыль в почве калия достигла обменного 150—170, необменного 400—600 кг/га (Важенин, Карасева, 1950). Вместе с тем и наши упомянутые выше анализы, и данные за 25 лет опытов Долгопрудной агрохимической станции свидетельствуют о миграции калия в нижние горизонты почвы (Танин, 1965). На Ротамстедской агрономической станции калий в минеральном удобрении и навозе вносили свыше 100 лет. Почва сильно обогатилась им на глубину до 53 см. Но найденное его количество составляет лишь

$\frac{1}{7}$  примененного; остальное было усвоено растениями или проникало еще глубже (Кук, 1970).

В зависимости от ряда свойств почв может преобладать фиксация или высвобождение ими калия при высыхании. На фиксацию калия почвами сильное влияние оказывает реакция среды (рН): подкисление ее ослабляет фиксацию и повышает подвижность калия и доступность его растениям. Обратное действие оказывает подщелачивание реакции. Вследствие этого наибольшее количество фиксированного калия находят в щелочных солонцеватых почвах, меньшее — в нейтральных черноземах, наименьшее количество — в кислых дерново-подзолистых.

Каков же механизм усвоения необменного калия корнями? На наш взгляд, в самих минералах имеется подвижное равновесие между обменным и необменным калием или по терминологии К. К. Гедройца (1916) между интенсивно и экстенсивно обменивающимися катионами калия. И по мере удаления интенсивно обменивающегося калия (находящегося во внешней части диффузного слоя ионов в мицеллах) их место хотя бы в небольшой степени занимают катионы калия, передвигающиеся из внутренних пакетов кристаллической решетки минерала (или из более близких к потенциалопределяющему слою мицеллы частей диффузного слоя) на его наружную поверхность.

Касаясь вопроса доступности растениям калия из глинистых минералов, имеющих в почвах, сошлемся на итоги опытов (Петербургский, Кузнецов, 1972), предпринятых в этом направлении (табл. 38).

**38. Масса растений и усвоение ими калия из минералов (фракция 1—5 мкм) в песчаной культуре на нормальной питательной смеси и смеси без калия**

Вариант опыта	Масса воздушно-сухого вещества (в г/сосуд)		Содержание $K_2O$ (в %)	
	костра	люцерны	в костре	в люцерне
Питательная смесь без К	2,2	1,2	0,54	0,58
Нормальная питательная смесь	40,3	1,3	3,02	1,90
Смесь без К+микроклин	17,4	4,0	0,53	0,45
То же+ортоклаз	19,5	1,4	0,49	1,04
» » +мусковит	30,0	2,2	1,29	1,51
» » +флогопит	31,9	1,3	2,81	2,60
» » +гидромусковит	30,5	1,1	0,87	1,56
» » +гидрофлогопит	29,6	1,3	1,75	2,23
» » +нефелин	24,8	2,7	1,49	1,47

Примечание. Люцерна была второй культурой, росла в теплице, развивалась слабо.

Опыты показали, что этот источник калия имеет важное значение в калийном питании костра безостого. Что касается свойств глинистых минералов, при близкой степени их дисперсности калий из минералов слоистой структуры (например, мусковита)

усваивался растениями полнее, чем из каркасных (например, ортоклаза).

В последствии на люцерне эффект минералов как источника калия значительно ослабевал. Это означает, что необходимо обнажение новых поверхностей кристаллов. В почве это достигается постепенным процессом дробления их в результате обработок и химического выветривания, вследствие корневых выделений, которые вытесняют калий из решетки, отдавая взамен ионы водорода. Аналогичную роль могут играть и многие микробиологические процессы, связанные с выделением минеральных и органических кислот (нитрификация, окисление серы, высвобождение фосфорной кислоты и пр.).

### СЫРЬЕ И ОСНОВНЫЕ КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Удобрения, содержащие калий, получают из природных солей. Залежи их имеются в ряде стран (Канада, ФРГ, ГДР, Франция, США, Испания и др.). Громадные месторождения этих солей имеются в нашей стране.

Соликамско-Березниковское месторождение расположено на левом берегу р. Камы, по западному склону северной части Уральского хребта, вблизи гг. Соликамск и Березники. Открыто оно геологической партией под руководством профессора П. И. Преображенского в 1925 г.

Калийные соли залегают там под толщью наносных пород. Верхняя часть пласта представлена минералом карналлитом ( $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) с примесью хлористого натрия, гипса, глины и др. (содержит до 17%  $\text{K}_2\text{O}$ ). Сверху пласт карналлита более богат хлористым калием вследствие частичного выщелачивания хлористого магния. Карналлит имеет пеструю окраску, с красными, бесцветными, желтыми, синими и оранжевыми кристаллами. В воде растворим почти полностью (кроме примесей). Используется для получения металлического магния. На удобрение применяют отход, так называемый электролит.

Ниже карналлита залегает мощный пласт сильвинита ( $\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$ ), отношение между обеими солями непостоянное. Это тоже пестро окрашенный минерал, содержащий 10—25%  $\text{K}_2\text{O}$ . Сильвинит добывают обычно на большой глубине (200 м и более). После извлечения на поверхность он служит основным сырьем для получения хлористого калия на калийных предприятиях Соликамска и Березников.

Прикарпатские месторождения калийных солей находятся в Ивано-Франковской и Львовской областях, в районе гг. Стебник и Калуш. В этих месторождениях находят следующие калийные минералы: лангбейнит ( $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$ ), каинит ( $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), полигалит ( $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), шенит ( $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), сильвинит, калушит ( $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), канамаг ( $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot \text{KCl} \cdot \text{NaCl}$ ) и др. В отличие от

Соликамского месторождения к солям примешано до 30% ила. Это сырье перерабатывают на Калушском и Стебниковском калийных комбинатах.

Белорусское месторождение представлено сильвинитом, карналлитом и галитом. На базе белорусских залежей калийных солей близ г. Солигорска действуют шахты и калийные комбинаты.

В Заволжском месторождении (Южное Приуралье, Прикаспийская низменность, Среднее Поволжье) сосредоточены огромные запасы калийно-магниевых и других солей, а также фосфоритов и природного газа, на базе которых можно организовать производство комплексных минеральных удобрений и концентрированных калийных туков.

Соли Жиланского месторождения Актюбинской области Казахской ССР представлены в основном минералом полигалитом, но в этом месторождении имеются и другие соли: карналлит, сильвинит, глазерит и др. Природная полигалитовая соль является хорошим сырьем для производства сульфата калия, сернокислых калийно-магниевых солей (типа шенита) и комплексных минеральных удобрений.

Агрохимические испытания показали, что даже природная полигалитовая соль (после ее размола и механического обогащения породы) может быть использована как сульфатная форма калийно-магниевого удобрения (13—15%  $K_2O$ , 6—7%  $MgO$ ), содержащего и микроэлементы (бор и др.). Калийные залежи открыты и в Туркмении.

По данным VI Международного конгресса по химическим удобрениям (1968 г.), разведанные запасы калийного сырья в месторождениях калийных солей в разных странах характеризуются следующими цифрами (в млрд. т): в СССР 24, Канаде 17,5, ФРГ 10, ГДР 9,5, Иордании 2, США 0,4, Франции 0,35, Испании 0,3. Таким образом, нашей стране принадлежит 37,44% всех запасов калия, и по этому показателю она занимает первое место в мире.

**Хлористый калий ( $KCl$ )** — основное калийное удобрение во всем мире и в СССР. Содержание  $K_2O$  составляет: в химически чистой соли 63,2%, в технической соли, в том числе идущей на удобрение, 52,4—61,9%. Получают его из сильвинита. Существуют три метода для технологического осуществления этого процесса. Наиболее старый из них основан на различном изменении растворимости хлористых калия и натрия при повышении температуры. В то время как растворимость хлористого калия при повышении температуры с 20 до 100 °C возрастает более чем вдвое, растворимость хлористого натрия при тех же условиях не только не увеличивается, но даже несколько падает. Поэтому если мелко раздробленный сильвинит опустить в насыщенный и подогретый до 110 °C раствор хлористого натрия, то растворяться будет только хлористый калий сильвинита, а весь его хлористый натрий выпадает в осадок.

Раствор  $KCl$  легко отделить фильтрованием, а подвергая охлаждению отфильтрованный раствор, вызвать его кристаллизацию. Кристаллы хлористого калия подвергают центрифугированию для обезвоживания и высушивают. Сливают маточный раствор, насыщенный хлористым натрием (его используют после подогревания для обработки новой порции сильвинита).

Способ этот простой, но дорогой, ибо он связан с большой затратой тепла. До недавнего времени он был единственным. В последние годы получают применение новые методы разделения хлористого калия и хлористого натрия в сильвините. Они не требуют подогревания и уже благодаря этому более экономичны. Первый из них основан на избирательном поглощении кристаллами хлористого калия добавляемого к нему поверхностно-активного вещества (одного из аминов). Кристаллы хлористого натрия к такому поглощению не способны. Взвесь раздробленного сильвинита продувают воздухом. Пузырьки воздуха плотно прилипают к пленке из аминов на поверхности кристаллов хлористого калия, увлекая их вверх. Кристаллы же хлористого натрия опускаются вниз. На 1 т сильвинита требуется 50—100 г реагента, который к тому же уменьшает гигроскопичность получаемого удобрения. Кристаллизации не требуется, нужно только подсушить готовые кристаллы хлористого калия.

Второй метод основан на различии удельных весов хлористого калия и хлористого натрия (1,987 и 2,17 г/см<sup>3</sup> соответственно). Если раздробленный сильвинит опустить в суспензию вещества с промежуточным удельным весом, то кристаллы хлористого калия будут всплывать, а кристаллы хлористого натрия — опускаться. Применяют суспензию магнетита, измельченного до размера частиц 74 мкм;  $KCl$  выносятся через верх аппарата, а хлористый натрий выводится через нижнюю его часть. Суспензию используют повторно, так как ее легко отделить от  $KCl$  и  $NaCl$ . Хлористый калий высушивают. Хлористый натрий является отходом производства и после дополнительной очистки применяется для получения поваренной пищевой соли.

Хлористый калий — самое концентрированное калийное удобрение. В нем минимальное содержание хлора на единицу калия (в сравнении со смешанной калийной солью и исходным сильвинитом). Вследствие этого хлористый калий при отсутствии сульфатов применяют и под чувствительные к хлоридам культуры, но вносят его заблаговременно, чтобы по возможности хлор-ион удалился за пределы пахотного слоя почвы. Выщелачивание хлора обычно происходит в соединении с кальцием, но потери почвами кальция возмещаются попутно, при использовании суперфосфата и других удобрений, богатых этим катионом, а также при известковании.

Хлористый калий отличается повышенной гигроскопичностью, особенно если кристаллы его мелкие. Поэтому современная технология его производства (флотация) дает продукт крупнокри-

сталлический в результате обработки аминами. Тем не менее при транспорте и хранении надо избегать его отсыревания. По внешнему виду флотационный KCl — кристаллы розовой и оранжевой окраски. В удобрении первого сорта содержится 60%  $K_2O$ , второго — 58%  $K_2O$ ; влажность обоих сортов не более 1%.

**Смешанные калийные соли.** Это условное название ранее широко распространенного калийного удобрения, являющегося продуктом смешивания тонко размолотых сильвинита или каинита с хлористым калием и содержащего 30—40%  $K_2O$ . Цель приготовления смешанных калийных солей состоит в том, чтобы получить форму калийного удобрения, наиболее подходящую для свеклы, а также для овощных культур из семейства крестоцветных (брюквы, капусты, редиса, турнепса), моркови и других растений, нуждающихся в натрии и хлоре. По внешнему виду калийные соли — мелкие пестроокрашенные кристаллы. Хранить их надо в сухом складе. По техническим условиям смешанная калийная соль должна содержать не менее 40%  $K_2O$  и не более 2% влаги. При просеве через грохот с отверстиями 5 мм остаток не должен превышать 8% (то есть соль должна состоять из частиц на 92% меньше 5 мм в диаметре). Выпускают и 30%-ную калийную соль — смесь хлористого калия и каинита.

**Калий-электролит** — отход производства металлического магния из карналлита. Содержит до 32%  $K_2O$ , по 6% окисей магния и натрия и до 50% хлора. Ценное калийное удобрение.

**Поташ ( $K_2CO_3$ )** — углекислый калий. По ГОСТ 10670—73 в кальцинированном поташе должно содержаться 63—66,7%  $K_2O$ . Кальцинирование осуществляют для уменьшения гигроскопичности. Поташ и бикарбонат калия ( $KHCO_3$ ) содержатся также в печной золе (при сжигании дров или соломы), в цементной пыли, отходах алюминиевого производства. Их тоже следует использовать на удобрение. Теоретическое содержание  $K_2O$  в  $KHCO_3$  — 47%, но в отходах оно гораздо ниже из-за примесей. Поташ является хорошим источником калия для культур, чувствительных к хлоридам, а также на кислых почвах, ибо он частично нейтрализует их.

Многие ценные сельскохозяйственные культуры (особенно виноград, гречиха, картофель, люпин и табак) отрицательно относятся к хлору. Поэтому хлористые соли под эти растения применяют только под зяблевую вспашку, что способствует выщелачиванию ионов хлора (с кальцием и другими катионами почвы). Катион калия хорошо адсорбируется органическими и минеральными коллоидами почвы и из нее не выщелачивается.

Только свекла, а также некоторые овощные культуры положительно реагируют на хлористый натрий, присутствующий в калийных солях. Однако на кислых дерново-подзолистых почвах хлористый калий активизирует подвижность алюминия и марганца, что депрессирует рост свеклы, клевера и других культур. Такие почвы необходимо периодически известковать.



**Сульфат калия** (сернокислый калий —  $K_2SO_4$ ) — ценнейшее удобрение, особенно для культур, страдающих от хлоридов. Сульфат калия встречается в природных залежах в виде двойных солей с сульфатами кальция (например, калушит), магния (лангбейнит и др.), кальция и магния (полигалит и пр.), натрия (глазерит). Существует несколько методов получения чистого сульфата калия. Все они довольно дорогие, вследствие чего эта соль занимает весьма скромное место среди калийных удобрений как в СССР, так и во всем мире.

Один из способов производства сульфата калия сводится к обменному разложению хлорида калия и сульфата магния:  $(2KCl + 2MgSO_4 = K_2SO_4 + MgSO_4 + MgCl_2; K_2SO_4 + MgSO_4 + 2KCl = 2K_2SO_4 + MgCl_2)$ . Химически чистый сульфат калия содержит 54,1%  $K_2O$ , а технический, используемый на удобрение, — 46—48%. В СССР весь выпускаемый сульфат калия применяют под табак. Удобрение это негигроскопичное. Хорошо рассенвается. По техническим условиям (СТУ 7849—62) сульфат калия должен содержать менее 45%  $K_2O$ , не более 1%  $MgO$  и не выше 10% влаги.

Производство калийных удобрений в СССР с 4,087 млн. т  $K_2O$  в 1974 г. увеличилось до 8,193 млн. т в 1978 г. Наша страна в 4 раза превосходит США по этому показателю.

Поставка калийных удобрений сельскому хозяйству составляла (в кг  $K_2O$  па 1 га): в 1940 г. — 1,1; в 1978 г. — 24,2. Мировой выпуск калийных удобрений в 1977 г. достиг 25,3 млн. т  $K_2O$ , а применение на 1 га пашни — 15,5 кг (в 1976 г.).

#### ПРИМЕНЕНИЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

Больше всего калия потребляют корне- и клубнеплоды, подсолнечник, бобовые культуры, гречиха. Лен и конопля потребляют не очень много калия, но их корневая система характеризуется относительно слабым развитием и невысокой усвояющей способностью по отношению к калийным источникам почвы. Поэтому калий применяют и под эти культуры.

Зерновые хлеба отличаются средней потребностью в калии и нуждаются во внесении калийных удобрений не на всех типах почв, а чаще всего на нечерноземных и северных черноземах (если под эти растения не применяется навоз). При орошении нужда в калии возрастает на всех типах почв. Значительная роль принадлежит калию на большей части луговых угодий и речных поймах Нечерноземной зоны.

Менее всего растения обеспечены калием на торфянистых (табл. 39), супесчаных и пойменных почвах. Нередко даже внесение одного только калия значительно повышает урожай. На других типах почв калий обычно применяют в сочетании с азотными и фосфорными или с фосфорными минеральными удобрениями (под бобовые растения). Сероземы при орошении отзываются на калий под люцерну и хлопчатник. Почвы сухих степей без по-

**39. Эффективность калийных удобрений на торфяной почве (в среднем за 33 года, данные Сарненской опытной станции Львовской области)**

Вариант опыта	Урожай (в ц/га)						
	сахарной свеклы	картофеля	озимой ржи	ячменя	овса	кукурузы	луговых трав (сено)
Без калийного удобрения С внесением калийного удобрения	61	81	6,5	5,8	8	290	14,5
	254	134	15,9	13	11,3	460	69

лива не удобряют калием, ибо при этих условиях он неэффективен.

Больше всего калия (вместе с другими минеральными удобрениями) применяют на подзолистых почвах и в зоне выщелоченных черноземов, в районах возделывания зерновых хлебов, кукурузы, картофеля, сахарной свеклы, льна-долгунца, конопли, гречихи, многолетних бобовых трав и овощных растений.

Дозы  $K_2O$  в зависимости от особенностей возделываемых культур, уровня урожайности, предшественника, сопутствующих удобрений и почвенных условий составляют от 30—60 до 90—120 кг/га (табл. 40).

Калий не только повышает урожай, но и обычно улучшает качество товарной продукции, если форма и дозы калийных удобрений выбраны правильно. В урожае возрастает содержание углеводов и белковых веществ, прочнее становится волокно и т. д. Но крахмалистость картофеля от хлористых солей может понижаться.

Вносят калий обычно как основное удобрение под вспашку, реже (на легких почвах) под культивацию. При внесении в почву калийных удобрений необходимо иметь в виду слабое передвижение калия в ней вследствие хорошего и быстрого поглощения этого катиона почвенными коллоидами, имеющими отрицательный заряд. Например, длительное применение калийных удобрений на суглинистом черноземе Мироновской станции (Киевская область) заметно повысило содержание калия в пахотном слое, не отразившись на подпахотном. Следовательно, для того чтобы сделать калий более доступным корневой системе, его надо помещать в более глубокий, менее пересыхающий слой почвы. Это подтверждено и полевыми опытами в зоне свеклосеяния около 40 лет назад. Так, по данным 10 экспериментов, поставленных в колхозах, заделка калийных удобрений под культиватор весной понижает урожай сахарной свеклы на 25 ц/га в сравнении с осенней запашкой той же дозы плугом.

Полевыми и лизиметрическими наблюдениями также установлено, что на тяжелых почвах калий не обнаружен в дренажных водах даже после внесения такой большой дозы, как 2,5 т хлористого калия на 1 га. В почвах с кислой реакцией калий адсорбируется слабее и даже может выщелачиваться.

# 40. Способы и нормы внесения калийных удобрений под важнейшие культуры

Культура	Почва	Удобрение (в кг K <sub>2</sub> O на 1 га)		
		основное	припосевное	подкормка
Сахарная свекла по унавоженной озиме	Чернозем	45—60	8—10 в рядки (на фоне NP)	20—30*
по неунавоженному предшественникам	Сароземы (орошаемые)	90—120 90—120	То же » »	20—30* 20—30*
Картофель (по навозу)	Суглинистые и суглинисто-дерново-подзолистые	Около 45 (лучше в виде калимагнезии или K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	—	—
Лен (по клеверному пласту)	Суглинистые, дерново-подзолистые	45—60	—	—
Конопля (по клеверному пласту)	Серые лесные Выщелоченные черноземы	90 60—90	— —	— —
Зернобобовые (на фоне P)	Подзолистые Северные черноземы	45—60 30—45	— —	— —
Овощные и корнеплоды (по навозу)	Дерново-подзолистые Выщелоченные черноземы Черноземы и каштановые при орошении	45—60 30—45 60	До 12 (в смеси с перегноем в лунки, вместе с NP)	20—30* 20—30* —
Озимые зерновые по неунавоженному предшественникам и яровые с подсевом трав (на фоне NP или P)	Дерново-подзолистые Выщелоченные черноземы	45—60 30—45	— —	— —

Культура	Почва	Удобрение (в кг K <sub>2</sub> O на 1 га)		
		основное	припосевное	подкормка
Многолетние бобовые травы (и люцерна на сероземах на фоне P)	Дерново-подзолистые и выщелоченные черные земли	—	—	30—45 (после уборки покровной культуры с фосфорным удобрением)
Лука	—	—	—	30—45 (с фосфорным удобрением)
Плодо-ягодные (на фоне N <sub>2</sub> )	Дерново-подзолистые и северные черноземы	60—80	—	—
	Мощные и обыкновенные черноземы, каштановые и сероземы при орошении	60—120	—	—
Хлопчатник (при урожае сырья выше 25 ц/га) на фоне NP	Сероземы несолонцеватые	30—60	—	—

\* Подкормка калийными удобрениями желательна лишь на тех участках, где было недостаточно внесено калия под вспашку почвы. Целесообразнее всю норму калия вносить сразу при вспашке.

Распространенное среди специалистов мнение, будто применение калийных удобрений приводит к резкому ухудшению структуры почв, не подтверждается экспериментальными данными. Например, на Долгопрудной агрохимической опытной станции в течение 17 лет вносили по 60—180 кг/га и не обнаружили отрицательного влияния ни на микро-, ни на макроструктуру тяжелого оподзоленного суглинки. Содержание в почве обменного калия за это время возросло лишь на 0,15 мг. экв. на 100 г (при емкости обмена 10—12 мг. экв.). Естественно, что при таких изменениях в поглощающем комплексе и нельзя было ожидать существенного обеднения почвы кальцием (Кораблева, 1953). Кроме того, калийные удобрения вносят в сочетании с фосфорными и азотными, а фосфаты обычно богаты кальцием, что в значительной мере парализует неблагоприятное действие калия (и натрия, являющегося его спутником в большинстве минеральных калийных удобрений).

### ПОДВИЖНОСТЬ КАЛИЯ В ПОЧВЕ

В последние годы появились новые методы изучения подвижности, а значит, и доступности растениям калия в почве: калийный потенциал и потенциальная буферная способность. Калийный потенциал — изменение свободной энергии в реакциях обмена между катионами калия, кальция и магния в системе твердая фаза почвы — почвенный раствор при постоянных значениях температуры (25 °C) и давления (1 атм). Выражают его формулой:  $pK - 0,5pCa$ , где  $p$  — отрицательный логарифм активностей ионов  $K^+$  и суммы двухвалентных ионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ .

Калийный потенциал почвы выражает возможность перехода поглощенного почвой катиона калия в раствор с учетом конкуренции сопровождающих его двухвалентных катионов. Поскольку получаемая величина является отрицательным логарифмом, так же как и в случае  $pH$  почвы, то чем выше числовое значение калийного потенциала, тем ниже его способность к переходу в раствор, а следовательно, и доступность растениям. Значение калийного потенциала в разных почвах колеблется в широких пределах.

Потенциальная буферная способность почвы в отношении калия (ПБС<sup>к</sup>) является отношением между двумя величинами: фактором емкости ( $Q$ ), под которым понимают количество непосредственно доступного растениям калия (извлекаемого из почвы 0,002 М раствором  $CaCl_2$ ), и фактором интенсивности ( $I_0$ ) — равновесной активности  $K^+$  в почвенном растворе. Отношение  $Q/I_0$  в различных почвах варьирует.

Экспериментально показано (Петербургский, Репина, 1977), что, например, в условиях серой лесной почвы Калужской области значения калийного потенциала 1,80—2,35 соответствовали хорошему питанию растений этим катионом; при значениях потенциала 2,50—2,84 обеспеченность их калием была недостаточной.

А если калийный потенциал достигал 3,27—3,54, то культуры испытывали сильный недостаток калия.

Потенциальная буферная способность в наших опытах находилась в связи с глубиной. В слое 0—20 см ПБС<sup>к</sup> достигала 45, а на глубине 80—100 см — 200. В первом случае было мало подвижного калия, а во втором — достаточно для питания растений, если бы они могли распространить свою корневую систему в этом слое.

Башкин и Репина (1979) доказали, что длительное выращивание многоукосного райграса в микрополевом опыте на серой лесной почве приводило к значительному снижению активности калия в почвенном растворе. Отмечалась коррелятивная связь между изменением активности калия и потреблением этого катиона растением. Гринченко и Воловненко (1979) также констатировали, что снижение активности калия (возрастание показателя калийного потенциала) при известковании может быть устранено лишь увеличением доз  $K_2O$  в удобрениях.

Давно уже отмечалось агрохимиками, что последствие фосфорных и калийных удобрений нередко сдерживается недостатком в почве усвояемых соединений азота. Поэтому внесение последнего в таких случаях крайне важно. Недавно это было вновь продемонстрировано в Узбекистане (Рушик, 1978).

Можно допустить, что восполнение запасов обменной формы калия в почве происходит медленно за счет первоначально связанного из удобрений необменного. Более точные результаты возможно получить, применяя изотопный метод. Но вследствие очень короткого периода полураспада  $^{40}K$  это затруднено. Использование же для указанной цели радиоактивного рубидия встречает возражения, поскольку последний не является необходимым для растений элементом и поведение его не будет идентичным калию, хотя и есть работы, авторы которых настаивают на такой идентичности. Перспективно применение  $^{40}K$  также радиоактивного, но с большим периодом полураспада.

До сих пор принято считать, что усвоение растениями калия из удобрений в год их внесения в почву составляет независимо от растения 50—60%. Новейшие опыты с использованием радиоактивного изотопа  $^{40}K$ , проведенные вегетационным методом с ячменем (Борисова и др., 1978), показали гораздо меньшую усвояемость растением калия, чем это принималось до сих пор на основании расчетного способа. Эти эксперименты показали, что на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве усвоение калия из  $KCl$  в первый год составляло 25—30%, на супесчаной — 34—37%; на второй год (последствие) растения усваивали лишь 5 и 2% из оставшегося в почве в год внесения. Остальное количество его было связано почвами более прочно. Вопрос нуждается в более детальном исследовании. Но ясно, что как и в случае азотных и фосфорных туков, калийное удобрение усиливает усвоение растениями калия почвы. Разностный же метод относит это на счет

удобрений. Конечно, подобная мобилизация почвенного калия корнями будет тем выше, чем больше в почве подвижных форм его и в первую очередь обменного. С другой стороны, авторы цитируемого исследования указывают, что мобилизация калия почвы может вызываться еще и обменом  $^{40}\text{K}$  на  $^{39}\text{K}$ . Оставшийся в почве  $^{40}\text{K}$  распределялся в ней после созревания ячменя следующим образом (в % внесенной дозы  $\text{K}_2\text{O}$ ):

почва	подвижный	необменный	фиксированный
тяжелосуглинистая . . . . .	12	14	44
супесчаная . . . . .	8	3	52

Фиксированный калий — разность между внесенной дозой и суммой усвоенного растением и извлеченным из почвы 0,2 н.  $\text{HCl}$ .

**Подвижность в почве калия, внесенного с удобрениями.** Еще К. К. Гедройц (1935) рассчитал последствия того, что при внесении в почву соли калия этот катион, как и другие, взаимодействует с поглощающим комплексом. В результате этого процесса в десятки и даже сотни раз его оказывается больше в поглощенном состоянии, чем в водорастворимом. Тем не менее калий не переходит в недоступную растениям форму. Вторичные процессы взаимодействия почвенного раствора с поглощающим комплексом постепенно вытесняют из него катионы в эквивалентном отношении. Активное участие в явлениях такого обмена принимает и корневая система растений благодаря корневым выделениям, в том числе углекислоты, органических кислот и других электролитов. Содержание калия в почвенном растворе сильно варьирует (от 6 до 20 мг/л, редко больше). Но 1 л почвенного раствора при влагоемкости почвы 50% отвечает 2 кг ее, и, значит, в переводе на весовые единицы 6—20 мг калия на 1 л соответствует 0,3—1 мг/100 г, что крайне мало и не может обеспечить питание даже не очень требовательных к калию культур.

Кроме того, из почвенного раствора калий поглощают не только растения, но и многочисленное микронаселение почвы и отрицательно заряженные коллоиды. Таким образом, без систематического перевода калия из твердой фазы почвы в растворимое состояние невозможно было бы питание растений. Правда, в 1939 г. Г. Иенни с сотрудниками выдвинули гипотезу контактного обмена катионами между отрицательно заряженными поверхностями почвенных коллоидных частиц и корневых волосков при достаточно тесном их сближении. Подобный обмен по представлению этих авторов совершается, как бы минуя жидкую фазу «перескоком». Невозможно, однако, существование без пленки жидкости ни корневого жизнедеятельного волоска, ни коллоида почвы в активном состоянии. Поэтому речь может идти не о «перескоке» катионов, а скорее о «переплывании» их через пленку раствора между поверхностью усваивающей корневой системы и почвенным поглощающим комплексом.

Внесение любых удобрений (органических, минеральных, известковых и пр.) обогащает в конечном счете почвенный раствор электролитами и тем усиливает явления обмена катионами и анионами между твердой и жидкой фазами почвы. В свою очередь, это улучшает питание культур не только из внесенных веществ, но и из почвы. Это особенно заметно в отношении азота (показано изотопным методом), но присуще фосфат-ионам и калию.

По учению К. К. Гедройца почвенный поглощающий комплекс не только самая ценная часть почвы, характеризующая ее генезис и плодородие, но и самая динамичная часть из всей почвенной массы. Калий и другие ионы и накапливаются в поглощающем комплексе почвы, и расходуются им, причем главная статья расхода — участие в питании как высших растений, так и микрофлоры.

На суглинистых почвах передвижение калия за пределы пахотного слоя (из вносимых удобрений) обычно незначительное. Об этом, как уже отмечалось выше, свидетельствуют, например, длительные опыты на черноземе Мироновской станции (Киевская область), которая отметила повышение содержания калия под влиянием удобрения в пахотном слое почвы и неизменность его содержания в подпахотном. А. Якоб (1955), ссылаясь на лизиметрические исследования Герлаха, отмечал, что применение калийных удобрений в ФРГ не сказалось на количестве калия, находящегося в лизиметрических водах. Опытная станция в Виндзоре (США) показала то же самое:

внесено К (фунтов на акр) . . . . .	0	667
найден К в дренажных водах (фунтов на акр) . . . . .	54,5	54,3

Якоб на опытной станции Берлин — Лихтерфельде вносил на определенную площадь почвы (поверхностно) 48 мг·экв. К и показал, что с водой калий передвигался следующим образом:

глубина (в см) . . . . .	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5
поглощено калия (в (в мг·экв) . . . . .	22,7	16,0	8,1	1,1	0,1

Однако в условиях длительного бессменного парования дерново-подзолистой почвы и при бессменном возделывании культур (несмотря на внесение калийных удобрений) нашими наблюдениями (Петербургский, Попова, 1955) отмечено, что калий перемещается в довольно значительном количестве как из пахотного, так и из подпахотного слоя. На вопрос о причинах этого явления можно ответить пока только предположительно. По-видимому, бессменное парование и монокультура озимой ржи и картофеля приводят к далеко идущей пептизации почвенных коллоидов и удалению их за пределы не только пахотного, но и подпахотного слоя, а вместе с ними и адсорбированного калия.



Широко распространенное представление о слабом выщелачивании из почв калия не всегда подтверждается экспериментальными данными. По материалам лизиметрических исследований, проводимых в нашей стране и за рубежом, выявлены следующие потери калия из почвы за 1 год:

1 — на оподзоленных почвах Московской области вовсе не отмечалось выщелачивания этого катиона из средних и тяжелых разностей, а из легких оно достигало 12 кг/га (Бобрицкая, 1970);

2 — из дерново-глеевой почвы (Киндерлис, 1970) в Литовской ССР с дренажными водами на протяжении 1961—1964 гг. калия тоже практически не вымывалось (среднегодовые потери составляли 0,1—0,2 кг/га); в другом опыте, проводимом в Литовском НИИ земледелия в 1961—1965 гг. (Блажемите, Мекленбургас, 1971), установлено, что из супесчаной почвы ежегодно удалялось 12, а из суглинистой — 2,5 кг/га;

3 — Вайваре (1972), работая в насыпных лизиметрах, установил, что внесение калийного удобрения в запас (на 3 года), хотя и обеспечивало более высокий урожай, чем ежегодное применение, но и привело на третий год к наибольшему выщелачиванию этого катиона. В другой работе (1972) автор провел исследования с четырьмя почвами на протяжении четырех лет в лизиметрах, также занятых растениями, и показал, что из супесчаной почвы потери калия превосходили внесенную дозу;

4 — наиболее значительные потери калия, как и можно было ожидать, констатированы во влажных субтропиках Грузии; на чайной плантации в Анасеули при внесении 120  $K_2O$  на 1 га было выщелочено в среднем за много лет 47 кг/га (Дараселия, 1966);

5 — из торфяной почвы в пойме р. Супой (Московская область) в дренажные воды уходило следующее количество калия в течение суток (в кг  $K_2O$  с 1 га): под картофелем 0,3—8,6, под кормовыми бобами 0,5—6,9, под культурным пастбищем 0,6—3,2; наблюдения велись с 18 апреля по 9 мая (Шейко, по Синягину, 1968).

Из зарубежных наблюдений следует упомянуть лизиметры Ротамстедской агрономической станции. В севообороте турнепс, овес, бобовые, злаковые травы, овес при внесении 30 т навоза, 7,5 ц суперфосфата и 1,25 ц сульфата аммония на 1 га потеря  $K_2O$  составила 9,2 кг/га в год.

В Чехословакии (Svobodova, 1972) на удобренной кислой бурой тяжелосуглинистой почве (пастбища) изучали состав дренажных вод. В среднем за 2 года вымывалось (в % от внесенных количеств):  $K_2O$  — 37,7;  $CaO$  — 9,2;  $N$  — 8,1 и  $P_2O_5$  — 3,3. Потери калия стояли на первом месте среди других питательных веществ. Исключительно велики были потери этого вещества из легкой неудобренной почвы во Франции — 56 кг/га в год в среднем за 12 лет (Corpenet, 1969).

Полевыми лизиметрическими наблюдениями в США установлено, что на почвах тяжелых в дренажных водах калий не обна-

руживается даже после внесения такой большой дозы, как 2,5 т KCl на 1 га (De Turk a. oth., 1943).

#### ДЕЙСТВИЕ КАЛИЯ НА УРОЖАЙ И КАЧЕСТВО ЕГО

Опыты показали, что между наличием в почве обменно-поглощенного калия и эффективностью калийного удобрения имеется обратная связь; это лучше выражено до 15 мг  $K_2O$  на 100 г почвы. Следовательно, необходимо применять больше удобрений при меньшем содержании дефицитного элемента в почве с учетом намеченного урожая и выноса им данного вещества (табл. 41).

41. Эффективность калийного удобрения в зависимости от содержания в супесчаной почве обменного калия (по Беляеву, 1978)

Число лет опытов	Содержание обменного $K_2O$ (в мг/100 г)	Урожай клубней по НР (в ц/га)	Прибавка от внесения калия (в %)
33	3,1	127,9	31,8
68	6,5	160,3	17,7
72	8,9	185,2	16,2
165	11,2	180,1	11,2
108	15,2	213,3	11,4
16	21,0	217,9	10,1
19	25,6	255,7	7,4

Своеобразно взаимоотношение в почве калия и натрия. И. Г. Важенин (1936) для песчаных почв установил, что наличие в почвенном растворе солей натрия весьма благоприятно влияет на поглощение почвой калия. В то же время подвижность и доступность калия растениям была выше при внесении не концентрированных, а сырых солей. В итоге шестнадцатилетнего опыта на супеси Соликамской станции (Пермская область) с внесением под картофель различных форм калийных удобрений этот автор установил (1950), что наилучшее действие как на урожай клубней, так и на сбор крахмала оказывали наряду с нитратом и сульфатом калия карналлит и электролит, значительно превосходящие в этом отношении хлорид калия и 40%-ную соль; последнюю оставлял позади даже сильвинит. Объясняется это наличием микроэлементов в сырых солях и положительной ролью магния (содержащегося в карналлите и электролите) на легких почвах.

В этом же надо искать, по-видимому, и объяснение превосходства калимагнезии под картофель и травы на супесчаных почвах, хорошо выявленного в последние годы во многих опытах. Превосходство калимагнезии не вызывает сомнения. Для сахарной свеклы на черноземах, наоборот, преимущество остается за хлористыми солями (Рождественский, 1951), но и эта культура хорошо реагирует на наличие натрия, магния и сульфат-ионов в составе калийного удобрения.

Экспериментальные материалы ряда других опытных учреждений с картофелем мы приведем в сокращенном изложении, указав лишь формы калийных удобрений и сбор крахмала (в ц/га):

Долгопрудная агрохимическая станция (доза  $K_2O$  — 60 кг/га, почва суглинистая оподзоленная)

Вариант опыта	0	NP	NP+KCl	NP+ $K_2SO_4$	NP+калий- ная соль 32,0	NP+сильви- нит 28,0
Сбор крахмала	20,9	25,9	30,8	33,4		

Белорусский НИИ земледелия (дозы NPK — по 60 кг/га, почва суглинистая)

Вариант опыта	NP	NP+KCl	NP+калимгнезия	NP+ $KNO_3$
Сбор крахмала	40,3	47,4	50,9	52,7

Немашевский НИИ картофеля (дозы NPK — по 60 кг/га, выщелоченный чернозем суглинистый)

Вариант опыта	NP	NP+каинит с осени	NP+каинит весной	NP+калий- ная соль осенью 52,5	NP+калий- ная соль весной 51,6
Сбор крахмала	50,6	53,9	49,2		

Луберецкая агрохимическая станция (супесчаная оподзоленная почва)

Вариант опыта	NP	NP+KCl	NP+ $K_2SO_4$	NP+ $KHCO_3$	NP+ $K_2CO_3$	NP+ $KPO_3$
Сбор крахмала	20,3	31,1	32,8	33,8	38,3	34,7

Итоги всех этих опытов подтверждают, что сбор крахмала во всех случаях был выше по тем формам калийного удобрения, которые не содержали хлор-ионов. Осеннее внесение калийного удобрения следует предпочесть весеннему.

Иначе обстоит дело с сахарной свеклой. Она наряду с калием требовательна и к наличию натрия в составе удобрения, о чем уже было сказано выше. В Англии наряду с калийным удобрением под эту культуру обязательно вносят и хлористый натрий в близких количествах (Draycott, 1972). В СССР под эту культуру вносят смешанные калийные соли. Аналогичным образом поступают при культуре кормовой свеклы.

А. А. Собачкин и другие (1977) опубликовали итоги восьми-летнего эксперимента на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой среднекультуренной почве (Барыбино Московской области). На фоне обильного удобрения (известки 3 т/га, навоза 50 т/га и NPK) получен высокий урожай всех культур: сена люцерны 88,2 ц/га, зеленой массы кукурузы 748 ц/га и кормовой свеклы 325 ц/га. Баланс калия был отрицательным — 164 кг/га, несмотря на внесение его с навозом и дополнительно в виде калийной соли (180 кг  $K_2O$  на 1 га). Как видно, это не помешало достижению высокой

производительности почвы (калия с удобрениями внесено 1740 кг/га, а вынос с урожаем составил 1904 кг/га; следовательно, в расчете на 1 год дефицит  $K_2O$  составлял лишь 20,5 кг, то есть оказался допустимым). В неудобренном варианте вынос калия всеми урожаями составил в среднем 108 кг/га в год, что в 5 раз превышало размер допустимого дефицита.

Как отметил Mc Lean A. (1978, Канада), в трехлетнем опыте на песчано-суглинистой и суглинистой почвах даже при внесении  $K_2O$  2,232 т/га он не выщелачивался из слоя 0—30 см. Травы, выращиваемые в этом эксперименте, усваивали калия 28,42% внесенного, а кукуруза — 11—27%. Возрастало и содержание обменного калия в почве.

M. Ruane (1978, Ирландия) обобщил опыты, проведенные в 26 пунктах страны на лугах с внесением 125—150 кг  $K_2O$  на 1 га. Доказано, что без применения калия сбор сена снижался по меньшей мере на 10% и это усиливалось в дальнейшем (сильнее всего на легких почвах). Вынос калия урожаем колебался на почвах разного механического состава за 4 года от 250 до 700 кг/га.

Lone A. (1978, Франция) проведены полевые опыты с кукурузой, в которых изучали дозы калия на трех разностях почв, сильно фиксирующих калий. В составе глинистых минералов преобладали кристаллические формы (75—77%). Первое место занимал иллит (31—46%), второе — кварц (11—12%) и третье — хлорит (9—12%); монтмориллонит был лишь в одной почве (10%). Реакция на калий была высокой на всех почвах. Прибавки урожая возрастали с увеличением дозы, не исключая и 400 кг  $K_2O$  на 1 га. Росло и содержание калия в зерне.

Baligara a. Barber (1978) на четырех почвах ФРГ показали хорошую корреляцию между содержанием в них обменного калия и поступлением его в корни проростков кукурузы ( $r=0,80-0,86$ ).

Johansson a. Nohlin (1977, Швеция) обратили внимание на роль отношения между K и Mg в лактатной вытяжке по Эгнеру—Риму в 40 полевых опытах. Если это отношение равнялось 1,3, то калийные удобрения были эффективны даже при высоком содержании усвояемого  $K_2O$  в почве, но они не влияли на урожай, если указанное отношение равнялось 4, даже на почве с низкой обеспеченностью растений этим катионом.

Dyster (1978) в трехлетнем полевом эксперименте установил, что на луговой почве с сильно выраженной способностью к фиксации калия наивысший урожай пропашных культур достигается при внесении калия в 3—5 раз большем количестве по сравнению с выносом. Но для трав достаточно было и простой компенсации выноса его урожаем. Отмечалось также, что внесение калия способствовало повышению доли бобовых в травостое.

По Кораблевой и Слуцкой (1978), в трехлетнем опыте на дерново-луговой и луговой почвах мобилизация необменного калия достигала соответственно 21,1 и 34,2 мг  $K_2O$  на 100 г почвы. Это количество убывало от первого года к третьему. Высвобождение

растениями фиксированного почвой калия хорошо коррелировало с уровнем урожая ( $r=0,946-0,955$ ). В выносе доля необменного калия достигала 62—100%, причем она увеличивалась со временем.

Janakovic, Nemeth (1978) вносили в течение 15 лет различные сочетания удобрений в повышенных дозах и доказывали, что действие калия возрастало на фоне высоких норм азота и известкования.

Мавлянов и Чумаченко (1979) сообщили, что по сводке данных 115 полевых опытов в Узбекистане применение калия увеличивает сбор волокна-сырца хлопчатника на 1,9—3,9 ц/га и улучшает качество волокна.

Забавская (1978) пришла к заключению, что от 1 кг  $K_2O$  на 1 га прибавка на дерново-подзолистых почвах составляет (в кг кормовых единиц): в полевых севооборотах 11—14,4, а в кормовых 10,2—15. Коэффициент корреляции был высокий (46—54 и 65—82% соответственно).

#### КРУГОВОРОТ КАЛИЯ

Все зерновые содержат калия в зерне в 1,5—2 и даже 3 раза меньше, чем в соломе. Поэтому отчуждение калия из почвы при продаже хозяйством товарной продукции бывает относительно гораздо меньше, чем азота и фосфора. А возврат калия в почву с нетоварной массой урожая, прошедшей через скотный двор, относительно гораздо больше, чем азота и фосфора.

Так, в озимой пшенице на черноземе при урожае зерна 25 ц/га и соломы 64 кг/га  $K_2O$  содержалось (в кг): в зерне 10 (14,6% общего его выноса урожаем), а в соломе 58,2 (85,4%), всего 68,2 (100%). Следовательно, если солома используется на корм и подстилку, то вместе с навозом на поля попадает 85% калия, взятого пшеницей, для повторного использования другими культурами.

По-иному складывается баланс калия для картофеля, корнеплодов и ряда овощных культур. Например, при урожае картофеля на супесчаной дерново-подзолистой почве 300 ц/га в клубнях содержалось 154,6 кг  $K_2O$  (из общего выноса всем растением 161,1 кг). Таким образом, в клубнях сосредоточено около 96% калия и лишь 4% его приходилось на нетоварную массу. Естественно, что выращивание картофеля хозяйством истощает почву калием сильнее, чем зерна. Поэтому и обостряется нужда в калийных удобрениях при расширении посадок картофеля, а также корнеплодов и овощных, близких к картофелю по выносу калия и распределению его в органах растения.

Как уже указывалось выше, почвы обычно богаты калием. Тем не менее на многих из них высокие урожаи большинства культур не могут быть выращены без внесения калийных удобрений. Это объясняется крайне слабой растворимостью алюмосиликатов —

**42. Баланс калия в длительном опыте  
с монокультурой пшеницы  
(Chambers W., 1953)**

Вариант опыта	Разница между количеством калия (в кг/га), внесенным с удобрениями и взя- тым урожаем
Без удобрений	—1180
NP	—1720
PK	+7809
PKK	+5198
Навоз (35 т/га)	+13 422

главных минералов, в составе которых сосредоточены запасы почвенного калия. Легкоусвояемых же растениями источников калия в почве (водорастворимые соли и часть обменного) находится относительно немного. В частности, калием передко бедны почвы легкого механического состава, а также торфянистые и пойменные (в Нечерноземной зоне). Как правило, не хватает этого вещества растениям и на лугах.

Вследствие перечисленных обстоятельств в почвы увлажненных районов, если они не удобрены навозом, по получили фосфорные и азотные минеральные удобрения, необходимо вносить и калийные соли. Особенно важно применение калийных удобрений под культуры, потребляющие много калия. К ним принадлежат: картофель, сахарная свекла, овощные, плодово-ягодные, бобовые, подсолнечник, гречиха. На орошаемых землях калий эффективен на всех культурах, особенно на люцерне и хлопчатнике. В субтропической зоне на калий отзывчивы цитрусовые и чайный куст. В калийных удобрениях нуждаются также лен и конопля, которые хотя и потребляют его не очень много, но имеют недостаточно хорошую способность усваивать его из почвенных запасов.

Интересные результаты получены при определении баланса калия за 101 год в опыте, проведенном на суглинистой почве с бессменной озимой пшеницей в Бродболке (Англия) в 1843—1944 гг. (табл. 42).

В варианте без внесения калийного удобрения его было извлечено растением в 3—4 раза больше, чем содержалось в этой почве в обменной форме. Тем не менее опыт показал, что поступление калия в пшеницу обнаруживало связь с наличием этого катиона в обменно-поглощенном состоянии в почве. В удобренных вариантах за время опыта пшеница использовала далеко не весь калий, внесенный с навозом и калийной солью.

Легко выяснить, что без внесения удобрений вынос калия урожаем (рассчитанный нами на  $K_2O$ ) составил 14 кг/га в год, а на фоне NP — 20,4. Под влиянием азотно-фосфорного удобрения мобилизация растением калия почвы увеличилась на 31%.

Версальский центр агрономических исследований (Франция, Тросте и др., 1972) в полевых опытах с картофелем и сахарной свеклой выявил, что с увеличением доз калийного и фосфорного удобрений усиливалась и мобилизация каждого из этих веществ из почвенных резервов. До сих пор это отмечалось преимущественно для азота почвы при внесении азотного удобрения.

### 43. Баланс $K_2O$ (в мг/г) в вегетационном опыте

Внесено с удобрением	0	200	400	600	800
Усвоено растениями	162	309	477	612	754
Убыль содержания обменного калия	94	94	82	82	59
Убыль или увеличение содержания необменного калия	-68	-15	+5	+70	+65

Представляют интерес и эксперименты Corpenet (Франция) по балансу калия в вегетационном опыте с овсом на окультуренной оподзоленной почве (табл. 43).

Наличие легкоусвояемого калия (добавленного в виде удобрения) ведет к уменьшению использования необменного и даже обменного калия почвы. За счет калия удобрения восполнялось содержание только необменной его формы. Вынос калия урожаем тесно связан с дозой внесенного удобрения.

Можно допустить, что увеличение запасов обменной формы калия в почве происходит медленно за счет необменного калия, первоначально связанного из удобрений.

Вычисленный нами баланс калия в земледелии СССР для 1976 г. характеризовался следующими показателями. Расход  $K_2O$  с урожаем достиг 11,63 млн. т, а приход в почву с минеральными удобрениями и навозом — 7,148 млн. т. Дефицит в расчете на 1 га посевной площади составил 19 кг  $K_2O$ . В общем это не выходит из допустимой нормы, рассчитанной Д. Н. Прянишниковым. Однако, если учесть, что большая часть зерновых хлебов еще слабо удобряется калием, в том числе и на нечерноземных почвах, а среди них на легких, и что калийных удобрений еще мало вносят на луга, где потребность в них нередко весьма высокая, станет очевидной важность дальнейшего роста производства калийных солей и увеличения применения их в земледелии нашей страны.

## СЕРУСОДЕРЖАЩИЕ УДОБРЕНИЯ

При разработке системы удобрений до последнего времени вопросам питания растений серой не придавали особого значения, так как в составе применяемых удобрений содержалось большое количество ее как сопутствующего элемента. Расчетами установлено, что общий баланс серы в земледелии нашей страны положительный. В 1970 г. на каждый гектар пашни с минеральными удобрениями поступало 5,3 кг серы, в БССР — 8,2 кг (Шкель, 1979). Однако с переходом химической промышленности на выпуск концентрированных удобрений, не содержащих серы, увеличением выноса из почвы питательных элементов (в том числе серы) в связи с ростом урожайности, возможным уменьшением поступления серы из атмосферы вследствие изменения топливного баланса в стране и установкой на промышленных предприятиях более совершенных очистных сооружений встает вопрос об обеспечении сельскохозяйственных культур серусодержащими удобрениями в районах, где может проявиться серная недостаточность.

Ассортимент серусодержащих удобрений следующий.

Простой суперфосфат (20%  $P_2O_5$ , 13% S), с которым поступало на поля преобладающее количество серы (76% в 1970 г.). Поскольку потребность растений в фосфоре и сере примерно одинакова, при внесении простого суперфосфата удовлетворялась и потребность в сере.

Сульфат аммония (21% N, 24% S) занимает второе место по снабжению почвы серой.

Сернокислый калий (48%  $K_2O$ , 17,6% S) и калимагнезия (28%  $K_2O$ , 18,3% S) — бесхлорные калийные удобрения, в обеспечении почв серой играют небольшую роль, так как применяются в сельском хозяйстве в ограниченном количестве.

Гипс (18,6% S) — быстродействующая, хорошо доступная растениям, нейтральная сернокислая соль кальция.

Фосфогипс (22% S) — отход химических заводов, выпускающих двойной суперфосфат, по составу подобен гипсу, но содержит примеси фосфора и других элементов. Может служить серусодержащим удобрением местного значения. Недостаток удобрения — высокая влажность (30—35%).

Элементарная сера (100% S) в чистом виде как удобрение в стране применяется мало. Используется растениями после перевода ее микроорганизмами в доступную форму, слабо выщелачивается из почвы.



В сульфате магния содержится 28—30% S, используется он в основном в закрытом грунте.

Сера входит в состав сульфатной нитрофоски и некоторых микроэлементов, поступает в почву также с навозом (хотя площади применения его ограничены) и пестицидами.

Исследования последних лет выявили эффективность серы как удобрения на Украине, в Белоруссии, Прибалтике, Башкирии, Краснодарском крае и др. Дефицит серы в почве (как и избыток ее) может привести к снижению урожая и ухудшению его качества.

В стационарном опыте на дерново-подзолистой суглинистой почве Белоруссии при внесении серусодержащего простого суперфосфата (на фоне аммиачной селитры и хлористого калия) средний урожай за 3 года с 1 га составлял: зерна озимой пшеницы 37,6 ц, ячменя 43,3 ц, клевера 64,5 ц, турнепса 386 ц, сбор зерновых единиц за ротацию 252,1 ц, тогда как при внесении двойного суперфосфата (не содержащего серы) урожай был меньше, соответственно 35,9; 40,5; 60,8; 370; 243,1 ц/га (Шкель, 1979).

Применение гипса, элементарной серы и фосфогипса в тех же условиях обеспечило прибавку зеленой массы кормовой капусты на 52, 55 и 67 ц/га при урожае по фону NPK 447 ц/га (Шугля, 1969).

Высокие прибавки урожая от фосфогипса получены на кукурузе, люпине, картофеле и других культурах. Применение серы на мощном тяжелосуглинистом черноземе Украины повысило урожай гороха на 2—2,3 ц/га (Сырый, 1970). Сера гипса на легких почвах Латвии увеличивала урожай клевера на 10—15%, гороха на 8—10%, кормовой брюквы на 6—8% (Озола, 1968).

Многочисленные опыты по сравнительной оценке эффективности бесхлорных (в том числе серусодержащих) и хлорсодержащих форм калийных удобрений позволяют судить о влиянии серы на урожай и качество сельскохозяйственных культур. Обобщение материалов полевых опытов Географической сети ВИУА и НИУИФ за 20 лет показало, что на дерново-подзолистых почвах прибавка урожая картофеля от сернокислого калия была на 3—12 ц/га выше, чем от хлористого, а сбор крахмала выше на 0,3—0,8%. В длительных стационарных опытах на дерново-подзолистой почве сернокислый калий имел преимущество перед хлористым в основном в сборе крахмала: от 1,4—4,1 ц/га на средне-суглинистых и супесчаных почвах Московской области до 6,7 ц/га (при сорокалетней монокультуре картофеля на безнавозном фоне), на песчаных почвах Пермской области. Преимущество сернокислого калия перед хлористым исчезало на фоне навоза и извести, а также при внесении их под картофель в условиях серых лесных почв и черноземов, при возделывании раннего картофеля, зерновых, льна, трав и других культур (Подколзина и др., 1978; Мочалова, 1977). Преимущество сернокислого калия

перед хлористым отмечено на гречихе и просе, на качестве урожая льна-волока, сахаристости винограда, крахмалистости поздних сортов картофеля, качестве табака и др.

Эффективность серусодержащих удобрений зависит от содержания серы в почве, общего плодородия, норм и форм применяемых удобрений, условий погоды, биологических особенностей культур и других факторов. Известно, что сера в почве находится преимущественно в органической форме и только 10—15% в форме  $\text{SO}_4^{2-}$ , которую могут усваивать корни растений. Процесс минерализации (сульфофикации) серы во многом схож с нитрификацией азота и протекает параллельно. Скорость минерализации органической серы в песчаных почвах ниже, чем в суглинках; самая низкая она в перегнойно-карбонатных и некоторых кислых почвах (Simon—Sylvestre, 1972). Ранней весной на всех почвах минеральная сера, как и азот, находится в дефиците. Поэтому независимо от содержания общей серы в почве почти все зимующие культуры отзываются в это время на серу. В годы с холодной и влажной весной эффективность серусодержащих удобрений повышалась. Давно известна положительная роль гипса в удобрении клеверов и особенно ранневесенняя подкормка их. В условиях Белоруссии максимум накопления сульфатной серы приходится на июль — август.

В сорокалетнем опыте по изучению форм калийных удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве ЦОС ВИАУ показано, что в условиях сильной засухи 1972 г. в пахотном слое почвы в вариантах без серы содержание подвижной серы снизилось до 6 мг/кг почвы (вместо 13—17 мг в годы с умеренным увлажнением), а в варианте с сульфатом калия возросло до 29 мг/кг (Забавская и др., 1974).

Обеспеченность растений серой в ряде районов страны можно объяснить значительным поступлением серы с атмосферными осадками, особенно много ее вблизи промышленных районов. В Предуралье с осадками поступало 16 кг/га, в Донбассе — 54 кг, в Восточной Сибири — 3 кг, в Подмоскovie — 17—136 кг/га в год. На ЦОС ВИАУ выпадало с осадками 50 кг/га в год, что перекрывало среднюю норму внесения серы с сернокислым калием.

Некоторые зарубежные исследователи считают, что при выпадении с осадками более 10 кг серы на 1 га в год растения могут быть обеспечены этим элементом. Известно, что растения (как и почва) могут адсорбировать также газообразную серу. Непосредственное поглощение серы растениями из атмосферного воздуха очень велико. Оно может составлять 30% общего поглощения серы растениями и более. По другим данным, величина адсорбции газообразной серы листьями растений и поверхностью почвы может в 5—6 раз превышать количество серы, попадающей в почву с атмосферными осадками (Johansson, 1959; Уайтхэд, 1964).

Серусодержащие удобрения эффективнее действуют на песчаных почвах с низким содержанием органического вещества, а так-

же на фоне повышенных доз азотных удобрений, в районах с повышенным количеством осадков и при поливе.

Внесение серы в почву улучшает использование растениями питательных элементов. По данным Института серы (США), внесение в почву серы и фосфора в соотношении 1:3, а также серы и азота в соотношении 1:5 является наиболее эффективным в повышении коэффициента использования фосфора и азота. При внесении серы поступление фосфора в растения возрастало через две недели на 154%, а к двенадцатой неделе на 192% (Оверчук, 1980). На дерново-подзолистой суглинистой почве Белоруссии систематическое внесение серы в севообороте повышало коэффициент усвоения растениями азота на 1,6—5,2%, фосфора на 2,1—7,5%, калия на 6,8—14,2% (Шкель, 1979).

В условиях Белоруссии большей эффективностью отличались нейтральные формы — фосфогипс, гипс и простой суперфосфат. Сульфатные формы азотных, калийных удобрений и элементарная сера уступали им из-за подкисляющего действия на почвенный раствор.

Наиболее требовательны к сере как элементу питания крестоцветные, менее требовательны зерновые культуры и злаковые травы.

При использовании серосодержащих удобрений следует учитывать критические содержание серы в растениях и отношение N:S в протеине, по которому можно судить о недостатке серы. Критическое содержание серы составляет: для зерна пшеницы 0,17%, клубней картофеля 0,11%, клевера 0,11—0,32%, люцерны 0,2%, хлопчатника в фазу бутонизации 0,5% S. Критическое отношение N:S для зерна пшеницы 14,8, ячменя 13,1—16,4, клевера 15—18,5 (Saalbach, 1972; Allaway, 1966; Qdelien M. и др., 1963).

Опыт Белоруссии и Латвии показал, что оптимальной дозой серы на 1 га для большинства культур являются 50—60 кг серы на песчаных почвах, 100—120 кг на суглинистых почвах и под крестоцветные.

Вносят серосодержащие удобрения осенью под зяблевую вспашку или ранней весной под предпосевную культивацию. За рубежом при дефиците серы часто проводят рядковое внесение серы и некорневую подкормку 0,5—2%-ным раствором сульфатов.

## МАГНИЕВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Магний — необходимый элемент питания не только для растений, но и для человека, а также для животных. Недостаток магния в пище и кормах приводит к снижению содержания его в крови и к появлению и усилению ряда заболеваний, связанных с нарушением обмена веществ в организме, — гипомагниемии, или пастбищной тетании, которая приводит к смерти, если в начальной стадии болезни не ввести в организм соли магния. У животных заболевание чаще проявляется в весенний пастбищный период, когда трава бедна магнием и использование его из такой травы крайне низкое. Внесение магниевых удобрений на пастбища предотвращает это заболевание.

Имеются данные о том, что пища, обогащенная магнием, ослабляет у человека такие болезни, как гипертония и атеросклероз. Отмечено, что недостаток магния в организме ослабляет устойчивость организма человека против злокачественных опухолей. В ряде стран установлена зависимость между заболеванием раком и содержанием магния в питьевой воде, из которой магний усваивается полностью, в то время как из пищи коэффициент использования его незначителен. Эти факты свидетельствуют о том, что проблему магния надо рассматривать не только с точки зрения повышения урожайности растений, но и как важный фактор улучшения качества пищи для человека и кормов для животных.

Для определения потребности растений в магниевых удобрениях используют различные методы: полевые опыты, анализы почвы и растений, наблюдения за появлением признаков магниевого голодания.

Для непосредственного применения на некоторых почвах и для переработки на удобрения могут быть использованы различные виды сырья: силикаты магния (дунит, серпентинит, оливинит); карбонатные породы (доломит, магнезит, доломитизированные известняки и некоторые разновидности мергеля); сырые природные соли (карналлит, лангбейнит, каинит, полигалит и кизерит).

Формы магниевых удобрений разнообразны. В большинстве случаев внесение магния можно совместить с известкованием кислых почв магниесодержащими известковыми материалами или с внесением других удобрений.

По степени растворимости магниевые удобрения разделяют на нерастворимые в воде — тонкоразмолотые природные минералы или породы (дунит, серпентинит, вермикулит, доломит, магнезит, брусит и доломитизированные известняки), которые при взаимодействии с кислой почвой выделяют магний в почвенный раствор, и

растворимые в воде — сырые соли и продукты их переработки (эпсомит, кизерит, каинит, карналлит).

Магниевые удобрения по составу разделяют на простые (магнезит, окись магния, дунит и др.) и сложные, содержащие два или более питательных вещества: азотно-магниевые (аммошенит), фосфорпо-магниевые (плавленный фосфат магния, магнийаммонийфосфат и др.), калийно-магниевые (калийно-магний концентрат, калимагнезия, полигалит, каинит, карналлит и др.), бормагниевые (борат магния), известково-магниевые (доломит, магнезит, доломитизированные известняки и продукты их переработки), содержащие азот, фосфор и магний (магнийаммонийфосфат). Большая часть калийно-магневых удобрений содержит серу.

Действие магневых удобрений на песчаных и супесчаных подзолистых почвах изучали в различных зонах нашей страны. Наиболее интересны длительные исследования, проведенные на Люберецком опытном поле, где действие магневых удобрений определяли при различной кислотности почв, различных формах азота и без него, а также при внесении навоза.

В севообороте люпин, рожь, картофель, зерновые яровые (овес, ячмень и просо) действие магневых удобрений изменялось в зависимости от кислотности почвы и формы азота. Урожай зерна ржи и клубней картофеля на фоновых делянках были различные, несмотря на то, что содержание магния в почве различалось незначительно (табл. 44).

44. Действие магневых удобрений на урожай зерна ржи и клубней картофеля на Люберецком опытном поле (среднее за 16 лет)

Вариант опыта	Рожь		Картофель		
	урожай зерна (в ц/га)	прибавка от магния (в ц/га)	урожай клубней (в ц/га)	прибавка от магния (в ц/га)	содержание крахмала в клубнях (в %)
<i>Фон I</i>					
РКН	4,0	—	63	—	13,2
РКNa + MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	18,1	14,1	190	127	15,0
<i>Фон II</i>					
РКN <sub>ам</sub>	13,4	—	138	—	13,8
РКN <sub>анд</sub>	20,8	7,4	232	94	14,9
РКN <sub>ам</sub> + MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	22,1	8,7	235	97	14,8
РКN <sub>ам</sub> + дунит	19,8	6,4	215	77	14,6
<i>Фон III</i>					
ИРКN <sub>ам</sub>	18,8	—	173	—	13,4
ИРКN <sub>ам</sub> + MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	21,1	2,3	249	76	14,5
<i>Фон IV</i>					
РКN <sub>с</sub>	19,2	—	163	—	13,8
РКN <sub>с</sub> + MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	22,4	3,2	228	65	14,7

Примечание. Р — суперфосфат; К — калий хлористый; N<sub>а</sub> — сульфат аммония; N<sub>ам</sub> — сульфат аммония, нейтрализованный известью; N<sub>анд</sub> — сульфат аммония, нейтрализованный доломитом; N<sub>с</sub> — натриевая селитра; И — известь, внесенная по гидролитической кислотности. В последних двух вариантах среднее за 12 лет.

Магниевые удобрения значительное влияние оказывают на структуру урожая; у зерновых культур увеличивают долю зерна в общем урожае, у корнеплодов — долю корней, у картофеля — крахмалистость клубней.

Действие магниевых удобрений на урожай кормовой свеклы, кукурузы, овса, проса и узколистного люпина в этом севообороте было также значительным. Слабее на внесение магниевых удобрений отзывался желтый кормовой люпин при возделывании его как на зеленую массу, так и на зерно.

В другом опыте эффективность магниевых удобрений изучали в звене севооборота травы 2-го года, кукуруза на силос и сахарная свекла. Самой отзывчивой культурой к магнию оказалась сахарная свекла (табл. 45).

45. Влияние магниевых удобрений на урожай трав и сахарной свеклы на Люберецком опытном поле (среднее за 4 года)

Вариант опыта	Урожай в среднем за 2 года сена и прибавки от магния (в ц/га)	Сахарная свекла			
		без извести и навоза		по извести и навозу	
		урожай и прибавки от магния (в ц/га)	содержание сахара в корнях (в %)	урожай и прибавки от магния (в ц/га)	содержание сахара в корнях (в %)
N <sub>c</sub> P <sub>y</sub> K <sub>c</sub> — фон I	55,7	130	15,8	279	17,4
N <sub>c</sub> P <sub>м</sub> K <sub>c</sub>	+7,5	+44	17,1	+39	18,2
N <sub>c</sub> P <sub>y</sub> K <sub>м</sub>	+3,4	+39	17,1	+43	17,9
Контроль	34,9	9	17,9	122	18,1
N <sub>ани</sub> P <sub>y</sub> K <sub>c</sub> — фон II	49,9	19	17,1	240	17,8
N <sub>ани</sub> P <sub>м</sub> K <sub>c</sub>	+5,4	+51	18,1	+22	18,0
N <sub>ани</sub> P <sub>y</sub> K <sub>м</sub>	+2,0	+71	17,4	+31	18,2

Примечание. N<sub>c</sub> — натриевая селитра; N<sub>ани</sub> — сульфат аммония, нейтрализованный известью; P<sub>y</sub> — преципитат; P<sub>м</sub> — магниевый плавильный фосфат; K<sub>c</sub> — сульфат калия; K<sub>м</sub> — сульфат калия — магния (шенит, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·MgSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O).

Известкование этой почвы и внесение навоза резко повышали урожай свеклы, положительное влияние магния сохранилось на делянках, где в качестве азотного удобрения применяли натриевую селитру. Более высокие урожай по этому фону были обусловлены положительным влиянием натрия на свеклу.

Действие магниевых удобрений проявилось и на люцерне (в травостое люцерны преобладала над овсяницей). Прибавки от магния были значительными — 2—7,5 ц сена с 1 га; более сильное действие магния отмечалось при внесении магниевого плавильного фосфата. Люцерны также отзывчива на внесение натрия, и урожай ее по фону I были выше, чем по фону II.

В этом севообороте возделывали и кукурузу. Урожай зеленой массы на фоне составили в среднем за 4 года 259 ц/га. Магние-вые удобрения увеличили урожай на 21—28 ц/га.

Применение навоза в этом севообороте снизило эффективность магниевых удобрений, но оно было существенным. Это указывает на то, что внесение навоза уменьшает потребность в магниевых удобрениях, но оно необходимо для обеспечения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Действие сульфата магния на повышение урожая различных культур в других районах нашей страны было также значительным. Все испытываемые культуры: озимая рожь, яровая пшеница, ячмень, овес, гречиха, картофель и клевер положительно отзывались на внесение магниевых удобрений.

Из обобщенных данных географической сети опытов с удобрениями также следует, что калийно-магниевые удобрения, примененные на дерново-подзолистых почвах легкого механического состава (супесчаных и песчаных), имели преимущества, особенно по действию на выход крахмала, перед бесхлорным калийным удобрением (сернокислым калием), не содержащим магния (табл. 46).

46. Действие форм калийных и магнийсодержащих удобрений на урожай клубней картофеля и выход крахмала

Почвы	Показатель урожая	Урожай по фону (в ц/га)	Прибавки урожая (в ц/га) при внесении		
			калия хлористого	калия сернокислого	калийно-магниевое удобрения
Супесчаные и песчаные	Клубни	175,6	23,4	—	37,9
	Крахмал	26,4	3,3	—	6,9
Суглинистые	Клубни	221,0	19,3	22,8	22,4
	Крахмал	40,5	1,7	3,2	4,2
	Клубни	233,0	20,4	23,5	—
	Крахмал	40,8	2,0	3,3	—

Примечание. Удобрения в опытах вносили из расчета  $N_{60}P_{60}K_{60}$ .

Как показывают данные таблицы 46, прибавка урожая от внесения калийно-магнезиевого удобрения на легких почвах была в 1,5 раза больше, чем от внесения хлористого калия, сбор крахмала повышался в 2 раза. На суглинистых почвах при внесении бесхлорных калийных и магнийсодержащих удобрений урожай был примерно одинаковый, а выход крахмала значительно повысился.

Потребность растений в магнезии зависит от вида культуры и уровня урожаев. Много выносят этого элемента питания из почвы сахарная и кормовая свекла (36—42 кг/га), картофель (24—36 кг/га); мало выносят зерновые культуры (6—10 кг/га) и злаковые травы (6—8 кг/га). Промежуточное место по выносу магнезии занимают люпин (12—24 кг/га), бобовые травы (20—30 кг/га). Отдельные культуры выносят из почвы более 30 кг магнезии.

В зависимости от севооборота с урожаями выносятся ежегодно 10—28 кг магнезии с 1 га, в то время как с навозом (при внесе-

нии его на 1 га пашни — 4—8 т) вносится только 4—8 кг магния. Кроме того, в Нечерноземной зоне магний вымывается в грунтовые воды.

Внесение полного минерального удобрения — существенный фактор усиления вымывания магния из почвы. В районе влажных субтропиков из красноземов осадками выщелачивалось с 1 га: на неудобранных плантациях 27 кг MgO, на длительно удобряемых 116 кг MgO (Мазаева, 1978).

Таким образом, баланс магния в почве отрицательный и на легких почвах, бедных магнием; растения часто испытывают магниевое голодание. Критическое содержание магния в них составляет 7—8 мг MgO на 100 г почвы. Средняя ежегодная доза магниевых удобрений для песчаных и супесчаных почв, исходя из учета баланса и коэффициентов использования магния, должна составлять 30—40 кг MgO на 1 га. На виноградниках ФРГ при выявлении симптомов острого дефицита магния для обеспечения хорошего плодоношения и высокого качества ягод рекомендовано ежегодно вносить 60—70 кг магния на 1 га (Мазаева, 1978).

Чем кислее почва, тем больше должна быть доза магниевых удобрений. На кислых почвах, если не вносят навоз, растворимые магниевые удобрения надо применять ежегодно под каждую культуру. На почвах с реакцией, близкой к нейтральной, магний вымывается слабо и его вносят под культуры, требовательные к магнию, с учетом места внесения навоза.

При известковании почвы карбонатными материалами, содержащими магния в дозах 1,5—3 т/га, растения полностью обеспечиваются данным питательным элементом на одну-две ротации севооборота. Дунит и другие силикаты магния на кислых почвах следует вносить в повышенных дозах (5—10 ц/га) под вспашку.

Калимагнезия и калийно-магниевый концентрат, внесенные по дозам калийных удобрений, обеспечивают полную потребность растений в магнии. Под свеклу и другие натриеволюбивые культуры в качестве калийных удобрений применяют каинит и калийную соль на этой породе. В этом случае растения будут обеспечены калием, магнием, натрием и серой. При внесении аммошита по дозе азотного удобрения почва одновременно обогащается магнием в количествах, достаточных для возделываемых растений.

Все растворимые удобрения лучше вносить при весенней предпосевной обработке почвы. В районах с обильными осадками или при орошении на легкопромываемых почвах малорастворимые магниесодержащие удобрения (доломит, дунит и др.) имеют преимущества перед удобрениями, растворимыми в воде.

При внесении магниевых удобрений на лугах и пастбищах не только повышается продуктивность этих угодий, но и обогащаются корма магнием. С этой точки зрения следует рассматривать и внесение магниевых удобрений под овощные, плодово-ягодные



культуры и картофель, являющиеся основным источником снабжения организма человека магнием.

Если магниевые удобрения не были внесены перед посевом, а также когда по анализу листьев или внешнему виду обнаружено магниевое голодание, проводят подкормку. В этом случае применяют только растворимые в воде магниевые удобрения и вносят их по возможности ближе к корням растениемпитателями или с орошаемой водой. При подкормке дают около  $\frac{1}{2}$  дозы основного удобрения. При раннем и сильном магниевом голодании применяют полные дозы.

В настоящее время для отдельных регионов (Кожуро, 1977) разработаны градации по обеспеченности дерново-подзолистых почв легкого механического состава обменно-поглощенным магнием и нуждаемости растений в магнийсодержащих удобрениях. При низком содержании магния в почвах (меньше 3 мг/100 г) все сельскохозяйственные культуры значительно повышают урожай при внесении магниевых удобрений. При высоком содержании (больше 11 мг/100 г) отзывчивость растений на магниевые удобрения очень слабая. Критический уровень содержания магния в почвах Белорусской ССР — меньше 6 мг/100 г, оптимальный — 9—10 мг/100 г.

По данным Мазаевой М. М. (1978), как отмечали выше, критический уровень для дерново-подзолистых почв ниже 7—8 мг/100 г, для красноземов влажных субтропиков Западной Грузии — 10—12 мг/100 г.

## КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Комплексные удобрения подразделяются на сложные, сложно-смешанные и смешанные. Они содержат два-три питательных элемента (NP, PK, NK или NPK). В них могут быть включены и микроэлементы.

Сложные удобрения представляют собой одну соль, анион и катион, который безусловно необходим растениям (например, полифосфаты калия и аммония, диаммонийфосфат, аммонийфосфат, нитроаммофоски, мочевинофосфаты, карбоаммофоски и др.).

Смешанные удобрения — продукт механического смешения двух-трех простых туков. Существенным недостатком подобных смесей является способность их к слеживанию при хранении, транспортировке и к расслоению при внесении (особенно если последнее осуществляется центробежными разбрасывателями). Подобная сегрегация приводит к более или менее заметному разделению тукосмесей на исходные компоненты, что крайне нежелательно.

Сложно-смешанные удобрения получают не только перемешиванием простых туков, но и обработкой их серной или фосфорной кислотой с последующей аммонизацией. Таким образом добиваются улучшения и состава, и свойств смеси.

Опыт химизации земледелия в странах с развитой химической промышленностью убедительно свидетельствует о том, что с общим ростом применения минеральных удобрений повышается доля комплексных туков. Выпуск комплексных удобрений в нашей стране в 1978 г. достиг 22% общего производства минеральных удобрений.

**Сложные удобрения.** Среди сложных удобрений во всех развитых странах, особенно в США, широкое распространение получили фосфаты аммония. Они обладают хорошими физико-механическими свойствами и высокой (60—70%) суммарной концентрацией N и  $P_2O_5$ .

Для производства фосфатов аммония используют фосфорную кислоту и аммиак. В зависимости от степени нейтрализации фосфорной кислоты аммиаком получают однозамещенный или двухзамещенный фосфат аммония —  $NH_4H_2PO_4$  или  $(NH_4)_2HPO_4$ . У первой соли (аммофос) слишком широкое отношение между N и  $P_2O_5$  (в чистом виде 1:5,1—12,2% N и 61,8%  $P_2O_5$ ). У второй соли (диаммофос) отношение N: $P_2O_5$  равно 1:2,5 (в чистом виде 21,2% N и 53,8%  $P_2O_5$ ), что уже более приемлемо для земледелия. Трехзамещенный фосфат аммония  $(NH_4)_3PO_4$  нестойк и потому не производится, хотя отношение в нем между N и  $P_2O_5$

1:1,7 (в чистом виде 28,6% N и 48,3%  $P_2O_5$ ) было бы более приемлемо для ряда почвенных условий и требований многих культур, чем в двух предыдущих.

Технологический процесс нейтрализации фосфорной кислоты аммиаком нередко ведется так, чтобы получить смесь обоих фосфатов с содержанием 16—18% N и 46—48%  $P_2O_5$ . Диаммофос Джамбулского завода содержит до 19% N и до 48%  $P_2O_5$ .

В сотнях сравнительных испытаний в качестве источников фосфора и азота (с выравниванием доз NPK во всех вариантах) аммофоса и диаммофоса под все основные культуры и на важнейших типах почв нашей страны оказалось, что ни в одном случае эти сложные удобрения не уступали эквивалентной смеси из простых туков. Напротив, в большей части опытов эффективность фосфатов аммония была заметно выше. Это можно видеть из сводок результатов множества опытов (Кондратьев и Мельник, 1967, 1968, 1973).

Опыты в Самаркандской области (Иргашев, 1970) показали, что аммофос как источник фосфора ценнее для хлопчатника, чем суперфосфат. На одинаковом азотном фоне прибавка урожая хлопка-сырца при разных дозах фосфора от аммофоса была на 2,1—3,4 ц/га выше, чем от суперфосфата. Эти цифры согласуются со средними данными 67 полевых опытов, проведенных в Средней Азии. Они показали, что аммофос повышал урожай волокна-сырца на 2,5 ц/га больше, чем суперфосфат (на выравненном фоне азота, конечно).

Вместе с тем необходимо отметить, что из-за слишком широкого отношения между азотом и фосфором в фосфатах аммония без дополнения азотом и калием их можно применять главным образом в качестве локального (припосевного) удобрения (в рядки, лунки). При основном внесении (с заправкой в почву) фосфаты аммония необходимо сочетать с другими азотными удобрениями и даже смешивать с последними, а это неизбежно увеличивает расходы хозяйства на приготовление смеси. В подобных ситуациях, по-видимому, более рационально заводское приготовление комбинированных удобрений на основе фосфатов аммония.

Так, в США изучали и получили хорошую оценку комбинированное удобрение, содержащее по 19% N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  и состоящее из карбамида, фосфатов аммония и хлорида калия (Araten, 1968). В СССР тоже получена карбоаммофоска (при взаимодействии аммофоса с растворами карбамида и хлористого калия; она содержит по 19,8% N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$ ). Если не вводить KCl, то карбоаммофос может содержать в сумме до 60% N и  $P_2O_5$  (поровну). Гранулы новых удобрений в 3—5 раз прочнее, чем мочевины и нитрата аммония. Испытания карбоаммофоски дали хорошие результаты.

**Фосфоаммомагnezия.** Помимо кальциевых солей ортофосфорной кислоты, являющихся обычными фосфорными удобрениями, изучена возможность применения в качестве сложного ту-

ка ряда других солей этой кислоты, так называемых фосфоаммо-металлов. К ним относятся фосфаты магния, железа, цинка, меди и марганца с общей формулой  $MeNH_4PO_4 \cdot nH_2O$ , где  $Me$  — катион металла. Эти соли слабо растворяются в воде, поэтому относятся к медленно действующим удобрениям. Установлено, однако, что они являются эффективными источниками азота, фосфора и катионов металлов для растений. Их можно вносить в больших дозах в расчете на несколько лет без вреда для проростков и тем более взрослых растений.

Среди фосфоаммометаллов наибольший интерес представляет магниевое-аммонийная соль фосфорной кислоты — фосфоаммомаг-незия ( $MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$ ), называемая также магнияммонийфос-фатом. Аммонийный азот ее сравнительно быстро может подвер-гаться нитрификации. Таким образом, азот будет действовать быстрее, чем фосфат-ион и магний. Но скорость нитрификации можно регулировать, изменяя размеры гранул удобрения. Па-пример, при сравнении нитрификации тонкоразмельченной фосфо-аммомагнезии (содержащей 8% N и 40%  $P_2O_5$ ) и сульфата ам-мония выяснилось, что процесс протекал одинаково быстро. Од-нако с увеличением размеров гранул заметно уменьшалось коли-чество нитрифицированного за 10 недель аммиачного азота фосфо-аммомагнезии. Это удобрение может быть использовано и на пес-чаных почвах, где, с одной стороны, возможны существенные по-тери азота и фосфора из растворимых туков, а с другой, нередко не хватает магния. Опытами в теплицах показано хорошее дей-ствие магнияммонийфосфата при выращивании томатов (Петер-бургский, Кулюкин, Макаренко, 1972) и огурцов на гидропонике (Кулюкин, Петербургский, 1976).

Калийная селитра ( $KNO_3$ ) — ценное сложное концент-рированное удобрение; содержит 13—14% азота и до 46,5%  $K_2O$ . Наиболее эффективным способом производства ее является ис-пользование нитрозных газов, получаемых при окислении амма-ка. Из нитрозных газов образуется азотная кислота, которая при определенных условиях взаимодействует с хлористым калием. От-ходами этого процесса являются хлор и хлористый нитрозил, ко-торые также используют. Смесь калийной селитры, фосфорных и простых азотных удобрений с успехом применяют под разнообра-зные культуры.

Калийная селитра очень хорошая форма калийного удобрения для картофеля и табака. Поскольку подкормку картофеля прово-дят при окучивании, когда ботва уже хорошо развита, надо из-бегать избытка азота. В этом отношении калийная селитра яв-ляется эффективным удобрением, так как в ее составе азота со-держится в 3,5 раза меньше, чем калия.

Благодаря отличным физическим свойствам калийная селитра пригодна как для производства смешанных удобрений, так и для непосредственного внесения в почву. Она хорошо хранится. То же относится и к смесям, в состав которых она входит.

Перспективно применение калийной селитры в тепличной культуре благодаря тому, что ее использование снижает общую концентрацию солей (и особенно сульфатов и хлоридов) в питательной среде. Агрохимики установили, что участие чистых аммофоса и диаммофоса, аммиачной и калийной селитры в питательном растворе для теплиц долго поддерживает высокое содержание азота, фосфора и калия в почвах без всякой опасности накопления избытка солей.

Монофосфат калия ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) в ограниченном количестве производят и используют в США для приготовления жидких сложных удобрений. Но повышенная по сравнению с хлористым и сернокислым калием стоимость монофосфата калия мешает широкому его применению.

В СССР получено и тройное сложное удобрение фосфатаммоний-калий ( $\text{NH}_4\text{K}_2\text{HPO}_4$ ), содержащее 5% N, 50%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 23%  $\text{K}_2\text{O}$ . Все его ионы хорошо доступны растениям. Но соотношение трех питательных веществ ( $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=1:10:5$ ), как правило, не может удовлетворить требованиям основных сельскохозяйственных культур, возделываемых на главнейших типах почв. Пришлось бы дополнять это сложное удобрение простыми азотными, а нередко и калийными туками. По-видимому, и экономика еще не позволяет рассчитывать на выпуск фосфата-аммония-калия в ближайшем будущем для полевых культур. Но в теплицах его можно использовать.

Полифосфаты. В послевоенные годы технологи добились серьезного прогресса в производстве высококонцентрированной фосфорной кислоты, которая вместе с новым методом синтеза аммиака (на основе атмосферы и природного газа) являют собой примеры научно-технической революции, происходящей в химической промышленности. До недавнего времени технология выпуска концентрированного суперфосфата, преципитата и фосфатов аммония зиждилась исключительно на ортофосфорной кислоте ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), которая даже в чистом от примесей состоянии не может содержать более 54%  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Между темготавливаемые теперь смеси полифосфорных кислот содержат 76% (и даже 83%)  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Это дает возможность производить и более концентрированные комплексные удобрения, которым принадлежит будущее.

В принципе получение полифосфорных кислот требует нагревания и вакуума. Схематически это можно представить так:  $2\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10} + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10} \rightarrow 3\text{HPO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  и т. д. В этих реакциях происходит конденсация (уплотнение) молекул с выделением воды, поэтому полифосфорные кислоты иначе называют еще конденсированными, а в химической промышленности за ними утвердилось еще и наименование суперфосфорной кислоты, которое, однако, является коммерческим термином и не выражает сущности дела.

Ряд полифосфорных кислот можно выразить следующим образом:  $\text{HPO}_3$  — метафосфорная,  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$  — пирофосфорная,  $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  —

триполифосфорная,  $H_6P_4O_{13}$  — тетраполифосфорная и т. д. Максимальная достигнутая концентрация  $P_2O_5$  в смеси полифосфорных кислот составляет 83%. В их составе содержится ортофосфорной кислоты 5%, пирофосфорной 16, триполифосфорной и тетраполифосфорной 16% и более высокополимерных 46%.

Перевозят полифосфорные кислоты в цистернах (как железнодорожных, так и автомобильных) из натурального или бутилового каучука, неопрена или нержавеющей стали. В ходе полимеризации (конденсации) из этих кислот удаляют примеси, прежде всего фтор. Металлы образуют внутрикомплексные соединения с полифосфорными кислотами. Наиболее концентрированные полифосфорные кислоты образуются на базе термической ортофосфорной кислоты, из экстракционной же получают конденсаты с меньшей концентрацией  $P_2O_5$ .

На основе полифосфорных кислот получают тройной суперфосфат с содержанием 55%  $P_2O_5$ . При аммонизации полифосфорных кислот под давлением получают полифосфаты аммония (табл. 47).

47. Характеристика полифосфатов аммония

Удобрение	Формула	Содержание (в %)		Отношение $N:P_2O_5$	Сумма $N+P_2O_5$ (в %)
		N	$P_2O_5$		
Диаммоний пирофосфат	$(NH_4)_2H_2P_2O_7$	13,2	66,9	0,20	79,9
Триаммоний пирофосфат	$(NH_4)_3HP_2O_7$	18,3	62,0	0,30	80,3
Тетрааммоний пирофосфат	$(NH_4)_4P_2O_7$	22,7	57,7	0,39	80,4
Пентааммоний триполифосфат дигидрат	$(NH_4)_5P_3O_{10} \cdot 2H_2O$	18,4	56,2	0,33	74,6
Гексааммоний тетраполифосфат гексигидрат	$(NH_4)_6P_4O_{13} \cdot 6H_2O$	15,4	26,1	0,59	41,5

Для практических целей, вероятно, наиболее ценны второй и третий из приведенных полифосфатов аммония, отличающиеся и высокой общей концентрацией двух питательных веществ, и приемлемым соотношением азота и фосфора. Все перечисленные полифосфаты аммония хорошо растворимы в воде. Они удерживают в растворе и микроэлементы (цинк, медь, железо), которые дают нерастворяющиеся соли с ортофосфатами, но хелатируются полифосфорными кислотами, сохраняясь в доступном растениям состоянии. Физические свойства полифосфата аммония хорошие, его гранулы (1,4—2,8 мм) прочные.

Твердые полифосфаты аммония хорошо зарекомендовали себя при изготовлении смешанных удобрений. Например, добавляя к ним аммиачную селитру и хлорид калия, приго-

товляют тройное удобрение, содержащее 12% N, 24%  $P_2O_5$  и 24%  $K_2O$  (всего 60%). При введении мочевины и хлорида калия в полифосфат аммония можно выпускать тук с содержанием каждого из этих веществ по 20% (в сумме также 60%). По данным полевых и вегетационных опытов в США, как на кислых, так и на щелочных почвах эти комбинированные удобрения служат эффективным источником всех входящих в их состав питательных элементов растений. Но во Франции в вегетационных опытах констатируется более высокое поглощение фосфора райграсом из полифосфатов аммония на карбонатной почве, а из ортофосфатов (суперфосфат, томашлак) — на кислых.

Многие ученые считают, что полифосфорные кислоты не усваиваются без предварительного гидролиза, с переходом в ортофосфорную кислоту. Гидролиз действительно происходит и в почве, и в питательном растворе при физиологических опытах. Исследования показали, что гидролиз полифосфатов идет и под растениями, и в отсутствие их. Нельзя, следовательно, приписывать корневой системе (вернее выделяемой ею фосфатазе или другому ферменту) особой роли в превращении полифосфорных кислот. Опыты на красномоземе позволили установить, что в нем не накапливаются ортофосфаты, ибо они немедленно связываются почвой при гидролизе полифосфатов. В дерново-подзолистой почве, напротив, гидролиз полифосфатов приводит к образованию запасов ортофосфатов, причем их находили больше в сосудах без растений и мало под растениями, поскольку они интенсивно потребляли фосфор.

Как показано исследованиями, реакции гидролиза полифосфатов протекают следующим образом:  $2HPO_3 + H_2O \rightarrow H_4P_2O_7$ ;  $H_4P_2O_7 + H_2O \rightarrow 2H_3PO_4$ ;  $H_5P_3O_{10} + 2H_2O \rightarrow 3H_3PO_4$ .

При температуре 7—12°C процессы гидролиза совершаются медленно, с повышением температуры до 12—15°C они усиливаются. Выявляются различия между почвами: те из них, которые обладают высокой биологической активностью, способствуют течению гидролиза. Оптимальная температура для гидролиза 30—35°C.

Как видно из приведенных выше реакций гидролиза, он заканчивается образованием ортофосфорной кислоты, анионы которой привычны для питания всех сельскохозяйственных культур. Как отмечал И. И. Синягин (1968), анионы метафосфорной, пирофосфорной и тем более полифосфорных кислот удерживаются почвами еще сильнее, чем ортофосфорной. Поэтому при внесении полифосфатов меньше теряется фосфора из почвы вследствие выщелачивания, чем при внесении удобрений, содержащих соли ортофосфорной кислоты. Но растения поглощают фосфор из полифосфатов несколько медленнее, чем из ортофосфатов. Ведь предварительно должен произойти еще гидролиз полифосфорных кислот в ортофосфорную.

Однако, как свидетельствуют результаты опытов, в конечном счете за вегетационный период растение может взять фосфора из

полифосфата даже больше, чем из ортофосфата. Объясняется это, на наш взгляд, тем, что ортофосфаты подвергаются в почве заметной ретроградации, это в меньшей степени может быть выражено у полифосфатов. Доказано, что полифосфаты аммония в отличие от ортофосфатов не связывают в недоступную растениям форму в почве цинк, а также железо и бор. Этим улучшается питание растений указанными микроэлементами.

Метафосфат калия ( $\text{KPO}_3$ ) в испытаниях показал себя хорошим источником фосфорно-калийного питания культур. В частности, это убедительно показано семилетними наблюдениями Люберецкого опытного поля (Московская область) на оподзоленной супесчаной почве. Картофель и сахарная свекла лучше отзывались и прибавками урожая, и содержанием крахмала или сахарозы на метафосфат калия (с дополнением азота).

Удобрение это может быть вовсе лишено балласта и на 100% состоять из веществ, необходимых растениям. В чистой соли содержится 60,13%  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 39,87%  $\text{K}_2\text{O}$ . В зависимости от технологии получения оно может быть и полностью растворимым в воде, и растворяющимся лишь в слабых кислотах (например, в лимонной). В последнем случае это полимер ( $\text{KPO}_3$ )<sub>n</sub>. В обеих модификациях метафосфат подвергается в почве гидролизу ( $\text{KPO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{KH}_2\text{PO}_4$ ). Существует, правда, допущение, что метафосфат может усваиваться растениями и непосредственно, без гидролиза, но это, вероятно, касается простой соли и не относится к полимерам, не растворяющимся в воде.

Производство метафосфата калия впервые было осуществлено путем дегидратации ортофосфата (реакция, обратная гидролизу) при температуре около 258 °С. Но фосфат калия как сырье для такого производства слишком дорог. Метафосфат калия в производстве получают при сжигании элементарного фосфора в присутствии хлористого калия (хлор удаляется). Конечно, такой метод более перспективен. В США, Франции и Японии запатентованы способы производства на основе метафосфата калия тройных удобрений. В Японии к нему добавляют мочевины и получают тук, содержащий 26,2% N, 26,4%  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 17,3%  $\text{K}_2\text{O}$  (в сумме 69,9%). В США смешивают метафосфат калия и аммиачную селитру, что также дает тройное удобрение. Во Франции предложено обрабатывать метафосфат калия азотной кислотой с последующей аммонизацией; состав получаемого удобрения:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH})_2\text{HPO}_4$ , то есть оно включает только водорастворимые соли, содержащие 10,3% N, 37,5%  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 24,9%  $\text{K}_2\text{O}$  (в сумме 72,7%).

Итак все сложные удобрения являются солями, катион и анион которых являются дефицитными питательными веществами для растений. Эти удобрения не содержат балластных примесей. В отличие от комбинированных они имеют постоянное отношение между двумя элементами, которое нельзя изменить, не добавив простого удобрения.



Нитрофоски получают разложением фосфатного сырья (апатит или фосфорит) смесями азотной и серной или азотной и фосфорной кислот с последующей неполной нейтрализацией аммиаком. Если хлористый калий не вводится, то получают азотно-фосфорное двойное удобрение — нитрофос, содержащее обычно по 20% N и  $P_2O_5$ .

Для получения тройного удобрения в горячую массу, получившуюся от разложения фосфорита и апатита с добавлением сульфата аммония или аммиака и серной кислоты, при непрерывном перемешивании вводят хлористый калий. Он взаимодействует с аммиачной селитрой, образуя хлористый аммоний и калийную селитру. Прореагировавшую массу подсушивают, гранулируют, высушивают окончательно и получают из нее гранулы заданного размера. Такие нитрофоски содержат аммиачную селитру, хлористый аммоний, преципитат, аммофос, суперфосфат, калийную селитру, хлористый калий, гипс и примеси. В зависимости от того, что добавляли к тройному удобрению, полученную нитрофоску называют сульфатной (при введении сульфата аммония) или сернокислой (при добавлении аммиака и серной кислоты). Новомосковский завод Тульской области с 1961 г. выпускает нитрофоску двух марок: сульфатную с содержанием 13,5% N, 6,8% усвояемого  $P_2O_5$ , в том числе 3,4% водорастворимой, 13,5%  $K_2O$  и сернокислую, включающую по 12% каждого из трех веществ.

Для получения вымороженной нитрофоски кальциевую селитру удаляют из смеси ее с фосфатами путем охлаждения после разложения сырья азотной кислотой. Далее ее используют как хорошее азотное удобрение (после грануляции), а к остатку добавляют аммиак, серную кислоту и хлористый калий, перемешивают, сушат и гранулируют. Опытные партии ее Днепродзержинского азотнотукового завода содержали 14—16,2% N, 12—17,6%  $P_2O_5$  в усвояемой форме, 5,6—9,7% в водорастворимой, 13,7—17,6%  $K_2O$ . Применять вымороженную нитрофоску можно так же, как и предыдущие, в виде припосевного и основного удобрения.

Для получения карбонатной нитрофоски в смесь кальциевой селитры и фосфатов (после разложения сырья азотной кислотой) добавляют углекислоту, аммиак и хлористый калий. Кальций выводится в осадок в виде углекислой извести, а освободившаяся азотная кислота соединяется с аммиаком, образуя аммиачную селитру. Фосфор в этой нитрофоске представлен преципитатом и частично менее доступными растениям соединениями. Применяют как основное удобрение (под вспашку), лучше на кислых почвах.

Фосфорную нитрофоску получают при добавлении к смеси кальциевой селитры, преципитата и суперфосфата (после разложения азотной кислотой апатита или фосфорита) фосфорной кислоты, хлористого калия и аммиака. Продукт высушивают и гранулируют.

Это перспективный способ получения нитрофоски, так как в настоящее время начато производство жидкой фосфорной кислоты путем термического восстановления фосфоритов, которыми богата наша страна (особенно низкопроцентными).

Самым большим достоинством фосфорной нитрофоски надо считать более высокое содержание в ней питательных веществ по сравнению с другими нитрофосками и водорастворимых солей фосфорной кислоты. Содержание N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  достигает по 17% каждого, доля водорастворимой  $P_2O_5$  составляет 80% (против 50—55% в сульфатной сернокислой и вымороженной).

Бесхлорную нитрофоску производят так же, как и другие, но вместо хлористого используют сульфат калия.

Нитроаммофоску и диаммонитрофоску производят путем аммонизации смесей азотной и фосфорной кислот. Образуются аммиачная селитра и аммофос или диаммофос (в зависимости от степени аммонизации). Раствор упаривают и добавляют в него хлористый калий, затем перемешивают, подсушивают и гранулируют. Содержание N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  составляет по 16—17%. Эти удобрения почти не содержат балласта (кроме примесей, имеющихся в экстракционной фосфорной кислоте и хлориде калия). Содержание водорастворимых фосфатов 90% и более против 55% в нитрофосках. Применяют эти удобрения теми же способами, что и нитрофоски. Эффективность их близкая при равных дозах NPK и одинаковых способах внесения, разумеется.

Без введения калия выпускают нитроаммофос и диаммонитрофос, содержащие поровну азот и фосфор (примерно по 25% каждого).

В нашей стране за последние 25 лет проведены многочисленные полевые производственные опыты по сравнительной оценке нитрофосок и других сложных и комбинированных удобрений с тукосмесями, приготовленными из аммиачной селитры, суперфосфата и хлористого калия. Действие всех испытывавшихся удобрений как источников азота и калия было близким. Менее ясной была эффективность фосфатов. Если в суперфосфате они на 75—80% представлены водорастворимыми соединениями, то в нитрофосках их не более 50—55%, поскольку значительная или преобладающая доля фосфора представлена преципитатом.

За рубежом нитрофоски и нитроаммофоски принято называть нитрофосфатами. Доля их в общем производстве комплексных удобрений в странах Западной Европы довольно высока, в США незначительна, там преобладают фосфаты аммония и полифосфаты.

В Швейцарии производят нитрофос при разложении марокканского фосфорита 72%-ной азотной кислотой. Образуются смесь монофосфата кальция и кальциевая селитра, причем на каждую молекулу последней приходится только три молекулы воды. Удобрение выпускают в гранулированном виде. Оно содержит 8,7% N, 18,2%  $P_2O_5$  (на 98% растворимой в 2%-ной лимонной кислоте,

на 87% в цитрате аммония, на 80% в воде, что характеризует высокую усвояемость фосфора растениями). Это самый простой метод переработки фосфоритов в комбинированное азотно-фосфорное удобрение, освоенный еще в 1932 г. Его недостаток — низкая концентрация питательных веществ (Сооке, 1954). Как известно, молярное отношение  $\text{CaO}:\text{P}_2\text{O}_5$  в фосфоритах обычно достигает 4:1. В нитрофосках же и нитрофосах оно не должно быть больше чем 2:1. Следовательно, повышения растворимости фосфатов добиваются сужением отношения между двумя его главными компонентами.

В Англии фирма «Файзонс фертилизер», начавшая производство суперфосфата еще в 1843 г., выпускает 40% потребляемых в этой стране минеральных удобрений. Марки распространенных удобрений (содержание  $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$  в %): 13—13—20, 20—10—10, 10—10—10, 8—20—16, 10—15—10, 0—20—20 и др. Доля водорастворимых фосфатов составляет (в % общего содержания):

марки удобрения в том же порядке	1	2	3	4	5	6
растворимость $\text{P}_2\text{O}_5$ (в %)	94,2	92,5	92,5	92,5	95,0	93,2

Приготавливают эти удобрения из фосфорной кислоты или тройного суперфосфата, аммиака или раствора аммиачной селитры, сульфата аммония и хлорида калия. Продают в гранулированном виде, упаковывают в полиэтиленовые мешки.

**Эффективность нитрофосок.** В среднем из наших пяти опытов в Нечерноземной зоне при контрольном урожае 14,4 ц/га, прибавки в урожае зерна составляли от нитрофосок 9 ц/га, от смеси простых 8,7 ц/га. Припосевное внесение гранулированного суперфосфата в среднем, по данным многих опытов с озимой пшеницей, повысило урожай зерна на 4,4 ц/га (на контроле 21,4 ц/га); внесение же нитрофосок, содержавших, кроме такого же количества фосфора, еще столько же азота и калия, подняло урожай на 8,7 ц/га, или вдвое больше. Смешивать с семенами простые азотные и калийные удобрения нельзя, а нитрофоски (если они сухие и с прочными гранулами) удастся. Но, конечно, и простые, и комплексные удобрения в рядки и гнезда при посеве целесообразнее применять с помощью комбинированных сеялок и сажалок.

В среднем по данным 14 опытов НИУИФ, поставленных на разных почвах, нитрофоска при внесении в рядки повышала урожай зерна озимой пшеницы сильнее, чем эквивалентная смесь из простых удобрений.

Хороший результат достигнут при основном внесении нитрофосок под капусту: прибавка урожая от нитрофосок составила 148,2 ц/га; от смеси простых удобрений — 118,6 ц/га.

В наших опытах, проведенных на полях колхозов и совхозов, комплексные удобрения обнаружили лучший эффект, чем механические смеси простых удобрений на кукурузе, сахарной свекле

и томатах. Но и при одинаковом агротехническом эффекте комплексные удобрения имеют несомненное преимущество перед смесями простых, поскольку упрощается применение (отпадают работы по приготовлению тукосмесей).

Представляют интерес данные опытов, проведенных на картофельных полях Московской области (табл. 48).

48. Эффективность нитрофоски при разных способах внесения

Продукция	Прибавка (в ц/га)	
	по нитрофоске	по смеси простых удобрений
Основное внесение		
Клубни	48,7	46,1
Крахмал	4,58	3,74
Ручное припосевное внесение в лунки		
Клубни	24,7	22,9
Крахмал	4,38	3,56
Припосевное внесение картофелесажалкой		
Клубни	24,0	5,7
Крахмал	1,6	0,5

Как видно из данных опытов, при основном внесении нитрофоски и простых удобрений прибавка урожая клубней была почти одинаковая, но сбор крахмала по нитрофоскам получен на 22% больше, нежели по смеси простых туков. Почти одинаковые прибавки клубней достигнуты и в случае припосевого внесения (ручным способом) обоих типов удобрений, хотя сбор крахмала по нитрофоскам был на 23% выше. Машинное же припосевное внесение было высокоэффективным только при использовании нитрофосок. Смесь простых удобрений оказалась неэффективной из-за неудовлетворительных физических свойств, она забивала высевающий аппарат картофелесажалки и выбрасывалась неравномерно. Подобных недостатков лишены комплексные удобрения. Поэтому экономические преимущества комплексных удобрений заключаются не только в отсутствии затрат на их подготовку к смешиванию и смешивание, хотя и эта экономия труда и средств в горячую пору посева очень важна. Достоинством комплексных туков надо признать еще и лучшую их рассеваемость (если, конечно, они хранятся в сухом складе), а также хорошую позиционную доступность корням.

Имеется немало данных, свидетельствующих о высокой экономической эффективности нитрофосок. По данным А. В. Постникова, в подмосковном совхозе им. XXI съезда КПСС азотно-серно-кислая нитрофоска обеспечивала 38 руб. дополнительного чистого дохода с каждого гектара посадок картофеля по сравнению с эквивалентной смесью простых удобрений. С. А. Шафран (1970)

подсчитал, что себестоимость 1 ц товарного картофеля в колхозе им. М. Горького (Ленинский район Московской области) составляла (в руб.): неудобренного 9,54, по смеси из простых туков 7,16, по нитрофоске 6,18. Д. М. Колелишвили (1970) установил на примере колхоза им. Свердлова (выщелоченный чернозем) Орловской области, что на каждый рубль затрат на удобрение картофеля это хозяйство получило 9,14 руб. чистого дохода при внесении нитрофоски и только 5,54 руб. при внесении простых туков.

Заслуживают внимания многолетние работы в этом же направлении, выполненные А. П. Смирновым (1970) в ряде колхозов и совхозов Свердловской области (темно-серые лесные почвы и оподзоленные черноземы). По сравнению со смесью простых туков азотно-серноокислая нитрофоска обеспечивала дополнительную чистую прибыль (в руб/га):

	на картофеле	на яровой пшенице	на озимой ржи
при локальном внесении (в рядки, борозды) . . . . .	51,31	6,86	—
при основном внесении вразброс	39,92	11,54	6,27

В совхозе «Толмачевский» Алапаевского района Свердловской области нитрофоска, внесенная в рядки совместно с семенами яровой пшеницы сорта Стрела, обеспечила прибавку зерна 6 ц/га на площади 120 га при урожае на контроле 16 ц/га. Чистая прибыль с каждого гектара составила 49,2 руб. В совхозах «Дружининский» и «Кленовский» Нижнесергинского района под зерновые культуры на площади 1400 га для рядкового удобрения использовали нитрофоску (104,6 т), благодаря чему прибавка урожая зерна составила в среднем 2,5—3 ц/га. При использовании гранулированного двойного суперфосфата в рядки прибавка урожая зерна равнялась 1,5—2 ц/га. В совхозе «Дружининский» прибавка зерна яровой пшеницы при рядковом внесении нитрофоски составила 4,7 ц/га при урожае на неудобренном фоне 15,3 ц/га. Чистая прибыль с 1 га от нитрофоски достигла 31 руб.

Число подобных примеров можно увеличить, но и из приведенных данных видно, что нельзя оценивать действие нитрофосок и тукосмесей только прибавками урожая. Не следует упускать из виду экономическую сторону дела, имеющую решающее значение.

Небольшая разница в прибавках урожаев при внесении нитрофосок и эквивалентных простых смесей не должна получать равную хозяйственную оценку. В производственных условиях не всегда удается приготовить вовремя и надлежащего качества туко-смеси. Нередко приходится дробить, просеивать и подсушивать слежавшиеся простые удобрения. Естественно, что в таких условиях невозможно и равномерное распределение неподготовленных удобрений по полю, а это, в свою очередь, вызывает пестроту в росте и неодновременность созревания, а, значит, и увеличивает потери урожая при уборке.

Обобщение ВИАУ результатов многолетних (1957—1975) опытов с комбинированными удобрениями (нитрофоска, нитроаммофоска), проведенное В. П. Грызловым и другими (1979), показало, что на дерново-подзолистых и черноземных почвах прибавки урожая зерна озимых и яровых зерновых, а также сахарной свеклы получены близкие от смесей односторонних и комбинированных удобрений. В ряде опытов с зерновыми, льном-долгунцом и кукурузой на зерно отмечалось преимущество комбинированных (табл. 49).

49. Эффективность трехкомпонентных удобрений в основном внесении

Культура	Почвы	Урожай на контроле (в ц/га)	Прибавки урожая (в ц/га) при внесении			Число опытов
			смеси НРК	нитро- фоски	нитро- аммо- фоски	
Озимые зерновые	Дерново-подзоли- стые и серые лес- ные	22,0	6,9	7,1	7,4	27
		32,1	7,6	8,5	—	11
		22,8	6,2	—	—	15
Яровые зерновые	То же	18,8	6,7	7,2	—	33
		23,2	7,6	—	8,1	35
Лен-долгунец (солом- ка)	» »	42,6	7,8	8,9	—	20
Озимая пшеница	Черноземы оподзолен- ные, выщелоченные, мощные	28,7	7,1	7,6	8,3	22
Кукуруза на зерно	То же	46,2	7,5	—	8,1	6
Сахарная свекла	» »	301	45	45	43	30
Кукуруза на зеленую массу	» »	295	34	48	45	5
Озимая пшеница	Черноземы обыкно- венные, карбонат- ные южные	30,8	7,2	6,0	6,9	9
Яровые зерновые	То же	22,6	5,5	5,5	—	17
		20,9	4,8	—	5,5	16
Кукуруза на зерно	» »	31,2	4,2	3,9	5,3	16
Озимая пшеница	Каштановые и серозе- мы (при орошении)	24,2	6,5	7,6	—	8
Озимый ячмень	То же	27,7	12,9	—	14,0	4
Кукуруза на зерно	» »	61,6	18,4	18,7	20,7	4
Хлопчатник	» »	23,7	5,3	7,2	—	6
		27,5	6,1	—	7,8	13
Рис	Лугово-черноземо- видные	35,7	17,01*	10,8	—	4
		34,6	17,1*	—	13,7	5

\* Тукосмесь на сульфате аммония.

На каштановых почвах и сероземах (при орошении) по нитрофоске и нитроаммофоске в сравнении с тукосмесями получены более высокие прибавки урожая в опытах с хлопчатником, озимыми и с кукурузой на зерно. В опытах с рисом на лугово-черноземовидной почве по тукосмесям прибавки урожая зерна оказались выше, чем по нитрофоске и нитроаммофоске. Основная

причина этого заключалась в том, что в тукосмесях использовали сульфат аммония, а в сложных удобрениях часть азота находилась в нитратной форме, которая легко вымывается из почвы в условиях затопления.

При внесении нитрофосок под картофель лентой в борозду прибавки урожая клубней в среднем были 68 ц/га, а при внесении вразброс — 50 ц/га. По нитрофоске бесхлорной прибавки урожая картофеля составили 82 ц/га, а по удобрениям, содержащим хлористый калий, — 63—66 ц/га. Крахмалистость клубней оказалась выше по бесхлорному удобрению.

В наших вегетационных опытах на дерново-подзолистых почвах, проведенных вместе с профессором Б. Дебрецени (1961), детально исследовалось значение растворимости фосфатов и размеров гранул в простых и комбинированных удобрениях. Результаты показали, что неодинаковый гранулометрический состав удобрений не оказывал большого влияния на урожай овса и доступность фосфора при содержании 50% водорастворимой  $P_2O_5$  в удобрениях и 50%-ной цитратнорастворимой. Из удобрения, содержащего только водорастворимую  $P_2O_5$ , растение усваивало фосфаты лучше из гранул, а из туков, содержащих только цитратнорастворимую  $P_2O_5$ , — из порошка. Значит, размеры гранул надо оценивать с учетом их растворимости. Доступность фосфора, азота и калия из нитрофосок оказалась несколько выше, чем из соответствующих смесей простых удобрений. Это объясняется более равномерным распределением питательных веществ в частицах комплексного удобрения, чем при внесении смеси простых туков, которая к тому же может расслаиваться при рассеиве.

На дерново-подзолистой почве Московской области (нами вместе с М. А. Курахтановым) был поставлен опыт по определению доступности овсу различных соединений фосфора из нитрофосок (вымороженной и карбонатной) и смеси простых туков с участием суперфосфата. Дозы N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  по 40 кг/га во всех вариантах, но фосфор рассчитывали либо по общему содержанию  $P_2O_5$  в удобрении, либо по  $P_2O_5$ , находящейся в усвояемом состоянии (табл. 50).

50. Зависимость урожая зерна овса от формы фосфатов в удобрениях

Показатель	Нитрофоска вымороженная		НРК по усвояемой $P_2O_5$	Нитрофоска карбонатная		НРК по усвояемой $P_2O_5$
	по общей $P_2O_5$	по усвояемой $P_2O_5$		по общей $P_2O_5$	по усвояемой $P_2O_5$	
Урожай (в ц/га)	19,5	21,1	21,3	20,1	21,6	23,3
Вынос $P_2O_5$ (в кг/га)	19,5	20,5	21,7	17,9	20,1	22,5

Как видно из приведенных данных, при расчете дозы  $P_2O_5$  в вымороженной нитрофоске и суперфосфате по усвояемой ее форме урожай зерна был одинаковый, а вынос фосфора почти на 6%

выше из нитрофоски. Но из карбонатной нитрофоски фосфор растение усваивало хуже, чем из вымороженной, при расчете дозы по общему содержанию  $P_2O_5$ .

Во Франции многими опытами было показано, что из гранул комбинированных удобрений типа нитрофосок за 20 дней в почву переходил весь N, за 30 дней — почти весь K, а за 60 дней — 80% водорастворимого фосфора и гораздо меньше цитратнорастворимого. Сочетая в своем составе водорастворимые и цитратнорастворимые соли фосфорной кислоты, нитрофоски обеспечивают более полное использование фосфора растениями. В 1 т комплексного удобрения состава  $N:P_2O_5:K_2O=17:17:17$  содержится 510 кг NPK. Чтобы дать их столько же в виде простых удобрений, надо внести аммиачной селитры (34% N) 5 ц, суперфосфата (19%  $P_2O_5$ ) 8,94 ц и хлористого калия (60%  $K_2O$ ) 2,83 ц; всего 16,77 ц. Эти расчеты свидетельствуют о высокой экономической эффективности комплексных удобрений по сравнению с простыми, даже концентрированными.

Фосфат мочевины образуется при взаимодействии термической фосфорной кислоты и синтетической мочевины. В зависимости от условий реакции готовое удобрение может содержать поровну азота и фосфора (по 29—30%) или больше фосфора (отношение  $N:P_2O_5=1:2,5-3$ ). В кристаллическом виде слеживается, в виде гранул обладает удовлетворительными физико-механическими свойствами. При добавлении в ходе технологического процесса хлорида калия можно выпускать азотно-фосфорно-калийное удобрение, содержащее по 19—20% каждого из этих питательных веществ. Испытания показали высокую эффективность фосфатов мочевины (табл. 51).

Мочевинаоаммофос — ценное комбинированное удобрение (по 30% N и  $P_2O_5$ ). В опытах он не уступал нитрофоске и тукосям (табл. 52).

51. Сравнительная эффективность мочевиноаммофоса и эквивалентных смесей из простых удобрений на картофеле в условиях дерново-подзолистой почвы (в среднем за 4 года, данные А. Петербургского и С. Шафрана)

Удобрения (по 60 кг/га $N, P_2O_5$ и $K_2O$ )	Урожай (в ц/га)		Отношение клубни ботва	Содержание крахмала в клубнях	
	клубней	ботвы		в %	в ц/га
Контроль — без удобрения	115,9	55,2	2,09	12,7	15,3
Мочевинаоаммофос (1:1)+хлористый калий	156,2	70,4	2,22	11,6	19,0
Аммиачная селитра+суперфосфат+хлористый калий	162,4	76,1	2,00	12,8	20,5
Мочевина+суперфосфат+хлористый калий	161,4	70,6	2,29	12,6	21,8



52. Сравнительное действие мочевиноаммофоса, сульфатной нитрофоски и простых удобрений на ячмень Московский 121 на дерново-подзолистой почве колхоза им. М. Горького Московской области (в среднем за 3 года, данные А. Петербургского и С. Шафрана)

Удобрения (по 60 кг/га N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и K <sub>2</sub> O)	Урожай (в ц/га)		Отношение солома зерно	Содержание сырого про- теина в зерне		Вынос урожая (в кг/га)		
	зерна	соломы		в %	в кг/га	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль — без удоб- рений	13,8	22,2	1,62	8,6	129,0	32,7	14,1	27,7
Мочевиноаммофос (1:1)+хлористый калий	20,8	27,7	1,33	9,6	224,6	59,8	22,5	36,3
Нитрофоска суль- фатная	21,4	25,0	1,17	8,9	223,4	46,3	21,5	33,6
Аммиачная селитра+ +суперфосфат+ +хлористый калий	22,6	31,9	1,41	9,7	243,5	52,0	24,2	42,5
Мочевина+супер- фосфат+хлористый калий	20,3	28,4	1,40	9,8	232,2	46,8	20,7	37,8

Карбоаммофосы и карбоаммофоски. Тройное или двойное комбинированное удобрение производят смешением аммофоса с раствором карбамида и хлористым калием. В карбоаммофоске содержится по 19,8% N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O. Но возможно и иное соотношение этих питательных веществ с преобладанием азота (2:1:1), тогда общее содержание трех веществ составляет 49% (вместо почти 60% в первом сочетании).

Если хлористый калий не вводят, то выпускают карбоаммофосы с содержанием по 30% N и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (или азота до 35%, а фосфора 17—23%). Оба продукта гранулируют, причем гранулы их отличаются в 3—5 раз большей прочностью, чем гранулы мочевины и аммиачной селитры, что крайне важно при перевозке, хранении и внесении новых удобрений; слеживаемость их незначительная.

Себестоимость 1 т карбоаммофоса несколько ниже, чем нитроаммофоски, в то же время сумма трех питательных веществ в первом удобрении немного выше, что опять-таки является выгодным. Испытания карбоаммофосок на предкавказском черноземе в Краснодарском крае под озимую пшеницу Аврора дали хорошие результаты: в равных дозах питательных веществ новые удобрения не уступали смеси из простых туков. В среднем за 3 года прибавки урожая зерна составляли соответственно 11,2 и 11,5 ц/га (на контроле 40,6 ц/га).

Возможно получение суперфосфатов, обогащенных микроэлементами. Испытание их дало хорошие результаты: упрощается и удешевляется применение микроэлементов в сельском хозяйстве.

Борный суперфосфат получают добавлением в процессе производства суперфосфата бормагниевого отхода (содержащего борную кислоту и сульфат магния) или минерала бордатолита. Различают простой и двойной борный суперфосфат. Первый имеет в своем составе 0,17—0,34% бора и 15—18% усвояемой  $P_2O_5$ . Двойной борный суперфосфат содержит 1—1,3% бора и до 36% усвояемой  $P_2O_5$ . В ходе производства оба суперфосфата гранулируют. Внося простой борный суперфосфат в дозе 0,5 ц/га, мы даем одновременно 85—170 г бора, который равномерно распределен в удобрении и хорошо усваивается культурами. При внесении двойного борного суперфосфата в рядки по 0,25—0,5 ц/га одновременно с 9—18 кг  $P_2O_5$  вносят до 250—325 г бора на 1 га.

Марганцевый суперфосфат получают добавлением к суперфосфату при его производстве 10—15% марганцевого шлама (отход марганцевой промышленности). Гранулированный продукт содержит 18—18,7% усвояемой  $P_2O_5$  и 1,5—2,5% марганца. При внесении 0,5 ц/га марганцевого суперфосфата в рядки во время посева почва получает 750—1250 г марганца.

Молибденовый суперфосфат содержит 0,2% молибдена. При внесении 0,25 ц/га этого удобрения в почву попадает молибдена в количестве 50 г/га, что для бобовых культур при рядковом удобрении вполне достаточно. В случае необходимости дозу суперфосфата и молибдена можно удвоить (для основного применения).

Смешанные и сложные удобрения на основе фосфатов аммония. В США распространена смесь из четырех сухих удобрений: крупнозернистого сульфата аммония и гранулированных — мочевины, диаммофоса, хлористого калия. Для получения 906 кг этой смеси берут следующее количество тузов (в кг): сульфата аммония 356, мочевины 23, диаммофоса 298 и хлорида калия 229. Смешанное удобрение содержит по 15% N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$ . Оно обладает хорошими физическими свойствами.

В этой стране на основе фосфатов аммония, аммиачной селитры и хлористого калия производят сложно-смешанное удобрение, содержащее по 18% N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$ . При отсутствии нужды в калийном компоненте из фосфатов аммония и аммиачной селитры можно выпускать двойное удобрение, содержащее по 25% N и  $P_2O_5$ . В опытном производстве на предприятиях долины Теннесси выпускается тройное удобрение состава 19:19:19. Это комбинация из мочевины, фосфатов аммония и хлорида калия. В агрономическом отношении все эти удобрения очень ценны, поскольку, несмотря на растворимость в воде, ни один из компонентов (аммоний, фосфат-ион и калий) не выщелачивается из почвы. На кислых почвах они были даже эффективнее, чем смесь из суперфосфата, сульфата и нитрата аммония и хлорида калия.

Сложно-смешанные гранулированные удобрения получают путем обработки смеси готовых удобрений аммиа-

ком, аммиакатами и кислотами (фосфорной, серной). При использовании для производства сложно-смешанных удобрений аммофоса сумму питательных веществ в них можно довести до 53%, диаммофоса — до 58%. В сложно-смешанных удобрениях гранул размером 1—3,2 мм должно быть не менее 90%, размером 4—6 мм — не более 5% и размером менее 5 мм — не более 5%. Гранулы кондиционируются путем покрытия защитным веществом. Сложно-смешанные гранулированные удобрения можно использовать на всех почвах и под все культуры в качестве как основного, так и припосевного удобрения, а также в подкормку.

### ЖИДКИЕ КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Концентрация питательных солей в жидком комплексном удобрении обычно составляет 27% (по 9% каждого из трех питательных веществ). Из более концентрированного раствора соли при понижении температуры выпадают в осадок.

Соотношение питательных элементов в жидких комплексных удобрениях может быть различным, и это позволяет удовлетворить потребности разных культур с учетом свойств почв. При необходимости в них можно добавлять микроэлементы, ростовые вещества, гербициды и пестициды.

Следует, однако, иметь в виду, что при добавлении в жидкое комплексное удобрение 1—2%-ной суспензии коллоидной глины общая концентрация питательных веществ может быть повышена до 42% и даже 45—48% (по 15% N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$ ) без риска выпадения в осадок солей при низких температурах. Никаких потерь от улетучивания не бывает при всех условиях их применения. В этом и состоит преимущество жидких комплексных удобрений перед жидким аммиаком, водным аммиаком и аммиакатами.

Первые испытания жидких комплексных удобрений в СССР, приготовленных по рекомендациям НИУИФ, дали обнадеживающие результаты. Долгопрудная агрохимическая опытная станция им. Д. Н. Прянишникова показала, что двойное азотно-фосфорное жидкое удобрение обеспечивало тот же эффект на картофеле, что и равновеликое количество азота и фосфора в твердых удобрениях. Мы провели аналогичные опыты с пшеницей и кукурузой в Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Сравнивали эквивалентные дозы азота, фосфора и калия в виде смеси простого комбинированного удобрения — нитрофоски и жидких комплексных удобрений двух составов. Действие всех удобрений было высоким и примерно одинаковым, хотя некоторое преимущество все же было на стороне комбинированных удобрений обоих типов. Аналогичные результаты дали и опыты в Литовской ССР с жидкими комплексными удобрениями производства Ионавского тукового завода.

В отличие от жидкого аммиака для транспортировки, хранения и внесения жидких комплексных удобрений в почву не нужна ап-

паратура с высоким давлением. Применять их можно и в качестве допосевого удобрения, и во время посева, и при подкормке. Последняя может быть и поверхностной, что невозможно при использовании аммиачной воды во избежание ожога растений и полной потери аммиака. Для жидкой подкормки в междурядья пропашных (картофеля, кукурузы, сахарной свеклы, хлопчатника и др.) жидкие комплексные удобрения могут быть внесены имеющимися в хозяйствах растениепитателями со шлангами и острыми сошниками. Выпускаются и специальные гербицидно-аммиачные машины — подкормщики. Не представляет затруднений и поверхностное разбрызгивание жидких удобрений с помощью имеющихся опрыскивателей и автоцистерн или с вертолетов перед вспашкой, культивацией или по вегетирующим культурам.

Нормальную дозу питательных веществ (по 45—60 кг/га NPK) даже с низкопроцентными жидкими комплексными удобрениями (по 9% каждого из трех питательных веществ) вносят, расходуя жидкости не более 500 л/га. Если же общая концентрация NPK в растворе достигнет 45—48%, то расход раствора сократится до 300 л/га (жидкие полифосфаты).

Хорошо растворимые удобрительные соли удобно применять, добавляя их в оросительные воды. В опытах Ф. В. Янишевского на дерново-подзолистой почве сравнивали одинаковые дозы питательных веществ под картофель в виде смеси простых туков, твердых комбинированных удобрений, полученных на основе полифосфорных кислот, и жидких комплексных удобрений разных способов приготовления (с соотношением  $N:P_2O_5:K_2O$ , равным 9:9:9 и 11:37:0).

Оказалось, что при двух способах внесения (сплошном вразброс и локальном лентой в борозды) все комбинации удобрений дали близкие прибавки в урожае. Следует отметить, что ленточное внесение было примерно в 1,5 раза эффективнее, чем сплошное. На крахмалистость клубней удобрения влияли более или менее одинаково; но сбор крахмала с 1 га был выше при ленточном внесении в связи с более высоким урожаем по этому способу применения удобрений.

В жидком состоянии удобрения проникают в почву глубже, чем их заделывает сошник. Вследствие этого на почвах, связывающих растворимые фосфаты в менее доступную растениям форму, действие жидкого комплексного удобрения может быть и несколько ниже, чем твердого. Это наблюдали в Англии (на капусте).

Для приготовления жидких комплексных удобрений необходимы исходные вещества высокой химической чистоты, особенно это требование важно по отношению к фосфорной кислоте. Экстракционная фосфорная кислота непригодна из-за неизбежных ее примесей, нужна термическая фосфорная кислота, а еще лучше суперфосфорная (смесь полифосфорных кислот, о которых говорилось выше).

Много загрязнений содержится и в калийных солях. Поэтому двойные азотно-фосфорные жидкие удобрения можно получить более высококонцентрированными, чем тройные азотно-фосфорно-калийные.

При нейтрализации аммиаком концентрированной полифосфорной кислоты можно получить двойное удобрение состава ( $N : P_2O_5 = 10 : 34$  и  $11 : 37$ ). Оно не высаливается (не выпадает в осадок) даже при  $17^\circ C$  мороза.

ТВА разработана новая технология производства концентрированных жидких азотно-фосфорных удобрений комплексного состава: суперфосфорную кислоту нейтрализуют 100%-ным аммиаком, с быстрым последующим охлаждением реагирующих веществ. Это приводит к образованию очень мелких кристаллов диамофоса, которые остаются в жидкости во взвешенном состоянии и удерживают соли от выпадения в осадок. Для нас большой интерес представляет развитие производства жидкого комплексного удобрения на основе полифосфорных кислот с содержанием 10% N и 34%  $P_2O_5$ . При дополнении ЖКУ аммиачной селитрой и хлоридом калия его действие на урожай корнеплодов и их сахаристость были такими же, как и твердой тукосмеси. Но ЖКУ имеет преимущества при хранении и внесении в почву. Сокращаются затраты ручного труда на всех операциях, и это может дать большую экономическую выгоду, тем более что во многих случаях это удобрение можно применять без дополнения простыми туками. Ведь азот вносят не только до посева, а и во время вегетации (подкормки), фосфаты же надо по возможности запахивать плугом и лишь небольшую дозу — во время посева (рядковое удобрение).

**Комплексные жидкие удобрения на основе полифосфатов.** Полифосфаты (общая формула  $H_n + P_nO_{3n+1}$ ) представляют собой линейные полимеры, содержащие тысячи подобных групп. Исходным продуктом для производства полифосфатов является суперфосфорная кислота, которую получают из концентрированной ортофосфорной кислоты экстракционного происхождения или из элементарного фосфора, добываемого термическим путем.

Наибольшее количество полифосфорных кислот в настоящее время в США используют для производства жидких комплексных удобрений. Растворимость аммонизированных термических кислот при  $0^\circ C$  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 10—34—0 ( $N : P_2O_5 = 0,30$ ). При использовании кислот, содержащих 78—80%  $P_2O_5$ , получают растворы состава 11—37—0 ( $N : P_2O_5 = 0,30$ ).

В растворе происходит гидролиз полифосфата до ортофосфата, но степень его незначительна при низкой температуре и увеличивается с ее повышением. Продолжительное хранение при жаркой погоде приводит к значительному гидролизу. При длительном

хранении удобрения состава 10—34—0 и высоком содержании в нем примеси магния может произойти осаждение кристаллического полифосфата магния — аммония  $[(\text{NH}_4)_2\text{MgP}_2\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ , кристаллы которого быстро растут. Добавление 20%  $\text{P}_2\text{O}_5$  в виде раствора 11—37—0 замедляет кристаллизацию и увеличивает длительность хранения удобрения (от пяти недель до трех месяцев). Для получения суспендированного удобрения состава 12—40—0 термическую суперфосфорную кислоту (80%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) аммонизируют и добавляют 3% (по массе) коллоидной глины. Такое удобрение хорошо хранится в течение трех месяцев при температуре 0—27 °С, при —18 °С оно затвердевает. Длительное хранение при температуре около 38 °С приводит довольно быстро к гидролизу удобрения: образуется кристаллический диаммонийфосфат. Сокращение количества добавляемой глины уменьшает кристаллизацию, но ухудшает качество удобрения. Следовательно, жидкие и суспендированные удобрения лучше всего применять без продолжительного хранения.

Гранулированные полифосфаты аммония (15—62—0) производят путем аммонизации термической суперфосфорной кислоты (76—77%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) в реакторах под давлением около 20 атм. Плав гранулируют, охлаждают и просеивают. Эти удобрения можно использовать в твердом виде и применять как главный компонент жидких и суспендированных удобрений благодаря быстрой растворимости.

**Комплексные жидкие удобрения, получаемые холодным способом.** Наиболее распространены смеси полифосфата аммония (10—34—0 или 11—37—0) с мочевино-аммоний-нитратным (28,3 или 32% N) и калийным растворами. Все составные части вводят в смесительную камеру. При этом отпадает необходимость охлаждения, благодаря чему расходы по сравнению с горячим способом производства сокращаются вдвое.

Твердый полифосфат аммония 16—62—0 также может быть использован для приготовления жидких удобрений. Для этого его подвергают аммонизации до заданного pH в ходе смешивания.

Путем увеличения дозы мочевины (в виде мочевино-аммоний-нитрата) 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 и 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 ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), 1,2% Cu ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), 1,2% Fe ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ), 0,34% Mn ( $\text{MnSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), 2,5% Zn ( $\text{ZnSO}_4$ ).

Эффективность полифосфатов как источника фосфора для растений зависит от их гидролиза, взаимодействия с почвенными минералами и передвижения в почве. Испытания в вегетационных и полевых опытах в США в течение 10 лет в большинстве случаев показали примерно одинаковое действие поли- и ортофосфорных удобрений на урожаи сельскохозяйственных культур. Полифосфат аммония дает лучшие результаты на нейтральных или близких к ним по реакции почвах, чем на кислых и щелочных.

Полифосфатные удобрения более совместимы с цинком, чем ортофосфаты, причины этого еще не полностью ясны. Поскольку фосфор обычно ведет к недостатку цинка на сильно щелочных почвах, урожай зерна и поглощение этого микроэлемента растениями были выше там, где источником фосфора служили полифосфат или основанные на нем жидкие удобрения.

Доступность растениям полифосфатов зависит от степени их гидролиза в почве. На этот процесс влияют такие факторы, как температура, биологическая активность, pH, минералогический состав почвы и др. В серии опытов в США с ленточным внесением твердого полифосфата аммония во влажную почву при температуре около 24 °C за одну неделю гидролизилось 43% удобрения, за пять недель — 55%. В опытах с пирофосфатом натрия обнаружено, что повышение температуры с 10 до 27 °C вдвое увеличило гидролиз этого удобрения в почве с низкой биологической активностью. При обычной полевой температуре в период вегетации гидролиз полифосфатов не является лимитирующим фактором благодаря достаточной микробиологической активности почвы.

В почве полифосфаты медленнее, чем ортофосфаты, образуют нерастворимые соединения с железом, алюминием, марганцем и другими элементами. Они быстро вступают во взаимодействие с кальцием и магнием, образуя содержащие аммоний 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 (Huffman, Newman, 1970).

Полифосфаты обладают свойствами катионитов, они способны адсорбировать кальций и другие катионы в обмен на  $\text{NH}_4$  и  $\text{H}$ -ионы. По своим химическим свойствам полифосфаты очень близки, разделять их можно только хроматографически на бумаге. Полифосфаты найдены и в составе живых организмов, поскольку эти фосфаты входят в состав макроэргических соединений, например, в АТФ. Образование и распад их связаны с деятельностью ферментов (Карцева, 1970).

В почве пиро- и триполифосфаты растворяют соединения железа и алюминия, мешая тем самым осаждению этих катионов в форме ортофосфатов. При взаимодействии пирофосфатов с каль-

нием 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.

Вегетационные опыты с рисом и пшеницей установили, что в раннем возрасте растения усваивали фосфор из пирофосфата натрия несколько слабее, чем из ортофосфата (Nizuaki, 1971). Равный эффект от орто- и полифосфатов на дерново-подзолистой почве, мощном черноземе и типичном сероземе отмечался в опытах с яровой пшеницей (Карцева, 1969; Карцева, Черепкова, 1972). Как на кислой, так и на известкованной дерново-подзолистой почве жидкие и твердые полифосфаты аммония обеспечивали близкие урожаи и качество картофеля в полевом опыте по сравнению со смесями простых туков на основе ортофосфата (Янишевский и др., 1970, 1972). В исследованиях этого автора различные дерново-подзолистые почвы поглощали фосфора из полифосфатов больше, чем из ортофосфатов. Допускается, что и механизм их поглощения разный.

Эффективность орто- и полифосфатов была весьма близка по данным многочисленных экспериментов в США и других странах. Вегетационными опытами показано, что кукуруза поглощала одинаковые количества фосфора из орто- и пирофосфатов. В условиях компостов (при 25 °C) гидролиз триполифосфата до пирофосфата и ортофосфата завершился на протяжении семи дней (Blanchar, Hossmar, 1969). И хотя в полевых условиях процессы гидролиза протекают значительно медленнее, все же это не может служить тормозом для нормального фосфатного питания сельскохозяйственных культур.

В Японии триполифосфат калия оказался лучшим источником фосфора для овса, чем суперфосфат. Сорго одинаково реагировало на оба удобрения, для райграсса более приемлем был суперфосфат. В последствии на яровых зерновых культурах превосходство было на стороне полифосфата (Kenjiro, 1970). Практическая равноценность поли- и ортофосфатов отмечалась на различных культурах в Чехословакии (Lastuvka, Minar, 1970). Это относится как к урожаю, так и к содержанию в нем фосфора.

Довольно много работ посвящено и метафосфатам. На дерново-подзолистой супесчаной почве метафосфат по многолетним опытам с картофелем и сахарной свеклой действовал и на урожай, и на его качество лучше, нежели эквивалентные дозы этих питательных веществ в простых удобрениях (Паниткин, 1969). На дерново-подзолистой суглинистой почве, также по данным за ряд лет (Булаев и др., 1969, 1970, 1971), метафосфат калия при разбросном и локальном внесении под картофель и ячмень влиял на урожай так же, как и суперфосфат с хлористым калием (разумеется, на выравненном азотном фоне).



Важно отметить, что это относится к трудно растворимому мелкокристаллическому  $(\text{KPO}_3)_n$ . Примерно одинаковым было и содержание в растениях  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{K}_2\text{O}$ . В опытах со льном-долгунцом фосфор одинаково усваивался из метафосфата и суперфосфата, а калий — лучше из  $\text{KCl}$ . В вегетационных опытах с люцерной и райграсом метафосфат калия оказался менее эффективным удобрением на дерново-подзолистой супесчаной почве, чем эквивалентная смесь из простых удобрений, независимо от того, был  $\text{KPO}_3$  водо- или лимоннорастворимым (Магницкий, Константинова, 1971). Однако другие авторы (работавшие тоже на дерново-подзолистой почве, а также на мощном черноземе и сероземе) отмечали, что водонерастворимый метафосфат калия отставал от водорастворимого лишь в начале вегетации яровой пшеницы (Карцева, Черпанова, 1972).

На мощном черноземе Харьковской области метафосфат калия по своему влиянию на сахарную свеклу и пшеницу приближался к смесям суперфосфата и хлористого калия (Скороходов, 1969). На кислой почве ФРГ это фосфорно-калийное удобрение несколько хуже действовало на овес, чем смесь простых туков, по в случае нейтральных почв обе комбинации оказывались равноценными (Carpentier, 1969).

Указывалось, что гидролиз метафосфата кальция в черноземе протекал быстрее, чем в сероземе и светло-каштановой почве. В лучшем случае при компостировании метафосфат уже через сутки переходил в пиро- и ортоформы (Никандрова, 1970).

#### ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВМЕСТНОГО ВНЕСЕНИЯ АЗОТНЫХ, ФОСФОРНЫХ И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

Выше отмечалось, что для растений имеет немаловажное значение равномерное распределение однородной смеси удобрений в почвенном слое, в который вносятся питательные вещества. Остановимся для иллюстрации этого положения на наших вегетационных опытах с кукурузой (Петербургский, Дебрецени, 1961). В первом варианте эксперимента аммиачная селитра, суперфосфат (меченный  $^{32}\text{P}$ ) и хлористый калий тщательно смешивали со всей массой почвы до набивки ею сосудов. Во втором варианте каждое из этих удобрений смешивали с третьей навески почвы и затем с помощью временных перегородок сосуд разделяли на три сектора, помещая в каждый сектор треть навески почвы, удобренной лишь одним питательным веществом. Проростки кукурузы высаживали в центре сосуда (перегородки предварительно удаляли) с распределением ее корневой системы на три части (каждая прядь в один сектор).

В первом варианте опыта каждая прядь корней находила все три питательных вещества в любом секторе с самого начала. Во втором же варианте соответствующая прядь вначале могла поглощать лишь одно питательное вещество (азот, фосфор или калий),

которое вносили в данный сектор сосуда. Разумеется, с развитием корней они могли проникать и в другие секторы, используя не одно, а два-три элемента пищи из удобрений.

Взятую для опыта почву (мощный чернозем Тамбовской области) разбавляли наполовину бесплодным песком, чтобы сделать реакцию растения на удобрения более четкой.

Дозы питательных веществ по 0,6 г N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O на сосуд со смесью почвы с песком (8 кг). Кукуруза развивалась с 23 июля до 20 сентября. Она явно отставала в росте во втором варианте. К моменту уборки растения первого варианта имели начавшие образовываться початки, растения же второго варианта к этой дате лишь цвели (табл. 53).

### 53. Влияние совместного и раздельного внесения удобрений на кукурузу

Вариант опыта	Масса сухих растений		Масса сухих корней		Усвоено фосфора					
					всего		из почвы		из удобрения	
	в г	в %	в г	в %	в мг	в %	в мг	в %	в мг	в %
Смесь NPK	36,2	100	7,1	100	239,4	100	117,4	100	122,0	100
Раздельное внесение NPK	28,3	77,9	3,7	52,1	124,9	52,1	49,5	42,1	75,4	61,8

Химический состав листьев в динамике показан в таблице 54.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что наибольшие различия между первым и вторым вариантами были по содержанию фосфора; по количеству же в листьях азота и калия отклонения оказались незначительными. Это не означает, что абсолютные различия по выносу их тоже были несущественные. Поскольку урожай был заметно выше в первом варианте опыта и ниже во втором, то и вынос N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O растениями во втором варианте был несомненно ниже.

Второй вегетационный опыт был поставлен по аналогичной методике с той разницей, что в каждый сектор сосуда высаживали

### 54. Содержание N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O в кукурузе при их совместном и раздельном внесении (в % к сухому веществу)

Вариант опыта	2 августа			22 августа			7 сентября			20 сентября		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Смесь NPK	3,0	0,68	2,9	2,9	0,9	2,9	2,3	0,96	2,86	1,28	0,56	2,30
Раздельное внесение NPK	3,0	0,63	2,9	3,07	0,69	2,95	2,44	0,47	2,86	1,38	0,37	2,43

по одному растению. Лучше всего кукуруза развивалась на азоте; на фосфоре и калии она росла хуже, чем при равномерном распределении NPK. Усвоение фосфора в (мг/сосуд с тремя растениями) было гораздо ниже при раздельном внесении удобрений как из почвы, так и из меченого суперфосфата (табл. 55).

55. Урожай кукурузы и усвоение ею фосфора

Вариант опыта	Средняя масса одного сухого растения (в г)	Содержание $P_2O_5$ (в мг/сосуд)	Коэффициент использования $P_2O_5$ из удобрения
Смесь NPK	15,0	242,5	17,6
Раздельное внесение NPK	21,3—14,2—13,5	211,1	14,9

Данные наших опытов о лучшем использовании растением фосфора при совместном его внесении с азотом и калием нашли подтверждение в исследованиях А. Д. Хоменко и сотрудников (1971). Отмечено, что присутствие азотных и калийных солей в грануле  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$  или нитрофоски увеличивает количество фосфора, диффундирующего в почву, и удлиняет расстояние, на которое он распространяется, а следовательно, уменьшает количество фосфора, осаждающегося в почве вблизи гранулы в форме дикальцийфосфата. В результате растения фосфора поглощают больше.

## МИКРОУДОБРЕНИЯ

Применение азотных, фосфорных и калийных удобрений без внесения микроудобрений часто не дает ожидаемого эффекта вследствие недостатка в почвах микроэлементов. Поэтому для получения высоких и устойчивых урожаев с хорошим качеством необходимо систематически пополнять запасы микроэлементов в почве путем внесения их в комплексе с основными элементами минерального питания растений.

В настоящее время в сельском хозяйстве широко применяют борные, медные, молибденовые, цинковые и марганцевые удобрения. В связи с исключительно важным биохимическим значением кобальта и йода в последние годы расширяется использование удобрений, содержащих эти элементы.

**Борные удобрения.** Содержание подвижного бора в почве находится в тесной связи с наличием его в почвообразующей породе и зависит от механического состава почвы. Усвояемые формы бора в почве представлены главным образом борной кислотой и растворимыми ее солями. Борная кислота, как образующаяся в самой почве, так и вносимая в почву с удобрениями, является довольно подвижным соединением, слабо фиксируется почвой и может вымываться осадками. Поэтому почвы районов большого увлажнения бедны подвижными формами бора.

Известкование уменьшает доступность бора для растений. Причина слабой подвижности бора заключается в том, что органические соединения бора в присутствии извести становятся более стойкими и менее доступными для растений. Доступность же минеральных соединений бора в результате известкования почвы не изменяется (Каталымов, 1956).

Содержание подвижного бора в почве в большой степени зависит от степени ее окультуренности. Окультуренные почвы богаче бором по сравнению с менее окультуренными. Бедны бором и нуждаются во внесении борных удобрений дерново-подзолистые, дерново-глеевые, перегнойно-карбонатные почвы, выщелоченные черноземы, сероземы и красноземы. Группировка почв по содержанию бора и других микроэлементов приведена в таблицах 56 и 57.

Симптомы борного голодания разнообразны. Однако имеется ряд общих признаков борной недостаточности, характерной для большинства растений: остановка роста корня и стебля, хлороз верхушечной точки роста, за которым следует ее отмирание. Растение сильно кустится, но вновь образовавшиеся побеги вскоре также останавливаются в росте.

**56. Группировка почв по содержанию подвижных микроэлементов, определяемых по методу Пейве — Ринькиса (Важенин, 1976)**

Обеспеченность микроэлементами	Содержание (в мг/кг почвы)					
	B	Mo	Mn	Cu	Zn	Co
Первая группа культур (с низким выносом микроэлементов)						
Низкая	<0,1	<0,05	<15	<0,5	<0,3	<0,3
Средняя	0,1—0,3	0,05—0,15	15—30	0,5—1,5	0,3—1,5	0,3—1,0
Высокая	>0,3	>0,15	>30	>1,5	>1,5	>1,0
Вторая группа культур (с повышенным выносом микроэлементов)						
Низкая	<0,3	<0,2	<45	<2	<1,5	<1
Средняя	0,3—0,5	0,2—0,3	45—70	2—4	1,5—3,0	1—3
Высокая	>0,5	>0,3	>70	>4	>3,0	>3
Третья группа культур (с высоким выносом микроэлементов)						
Низкая	<0,5	<0,3	<100	<5	<3	<3
Средняя	0,5—1,0	0,3—0,5	100—150	5—7	3—5	3—5
Высокая	>1,0	>0,5	>150	>7	>5	>5

Примечание. К первой группе относятся зерновые, зернобобовые, кукуруза, картофель; ко второй — корнеплоды, подсолнечник, хлопчатник, многолетние и однолетние травы, виноград, плодовые и овощные культуры; к третьей — перечисленные выше культуры в условиях высокого агротехнического фона.

Содержание бора в растениях колеблется от 2 до 60 мг на 1 кг сухого вещества. Наиболее отзывчивы на бор сахарная свекла, кормовые корнеплоды, лен, клевер, люцерна, подсолнечник, гречиха, зернобобовые, хлопчатник, овощные, плодовые и ягодные культуры. Слабо отзываются на борные удобрения рожь, пшеница и овес.

**57. Группировка почв по содержанию подвижных микроэлементов, определяемых по методу Крупского — Александровой (Важенин, 1976)**

Обеспеченность микроэлементами	Содержание (в мг/кг почвы)			
	Mn	Cu	Zn	Co
Первая группа культур (с низким выносом микроэлементов)				
Низкая	<5	<0,1	<1	<0,07
Средняя	5—10	0,1—0,2	1—2	0,07—0,15
Высокая	>10	>0,2	>2	>0,15
Вторая группа культур (с повышенным выносом микроэлементов)				
Низкая	<10	<0,2	<2	<0,15
Средняя	10—20	0,2—0,5	2—5	0,15—0,30
Высокая	>20	>0,5	>5	>0,30
Третья группа культур (с высоким выносом микроэлементов)				
Низкая	<20	<0,5	<5	<0,30
Средняя	20—40	0,5—1,0	5—10	0,30—0,70
Высокая	>40	>1,0	>10	>0,70

По данным многочисленных опытов, проведенных научными учреждениями на различных почвах, средняя прибавка урожая сахарной свеклы от внесения борных удобрений составляет 25—50 ц/га, а увеличение сбора сахара — 4—8 ц/га (Пейве, 1964; Катыльмов, 1965; Власюк, 1969; Яковлева, 1972).

Борные удобрения значительно повышают урожай и улучшают качество льна. В среднем урожай семян льна повышается на 0,8—1,5 ц/га, соломки — на 2—3 ц/га. Положительно отзываются на внесение борных удобрений клевер и люцерна при возделывании на семена. Урожай семян этих культур повышается в среднем на 0,5—1,5 ц/га. В условиях Средней Азии на сероземных почвах борные удобрения повышают урожай хлопка на 1,5—6,5 ц/га, на луговых — на 2—4 ц/га, на лугово-болотных почвах — на 1,5—4,5 ц/га. Отзывчивы на внесение борных удобрений также горох, кукуруза, гречиха, подсолнечник и другие культуры.

Наряду с повышением урожая бор значительно улучшает и качество растительной продукции: повышает сахаристость корней сахарной свеклы, содержание белка в зерне гороха, сене клевера и люцерны, сахаров и витаминов в плодах и ягодах. Под влиянием бора возрастает номерность и прочность длинного волокна льна.

Борные удобрения могут быть использованы для внесения в почву, для предпосевной обработки семян и некорневых подкормок растений. Для внесения в почву широко применяют борный суперфосфат (0,2% В) и бормагниевое удобрение (13%  $\text{H}_3\text{BO}_3$  и 20% окиси магния). Эти удобрения вносят при посеве в рядки вместе с семенами. Под сахарную свеклу, гречиху, горох, кукурузу, хлопчатник, семенники клевера, люцерны и овощных культур борный суперфосфат при сплошном внесении применяют в норме 3—3,5 ц/га, а при рядковом — 0,8 ц/га. Под лен, землянику, огурцы нормы борного суперфосфата снижают в 2 раза.

Бормагниевые удобрения вносят вразброс в норме 100 кг/га вместе с другими минеральными удобрениями или в рядки в норме 30—35 кг/га.

Предпосевное опрыскивание семян проводят 0,05%-ным раствором борной кислоты. Опудривание семян проводят бормагниевым удобрением из расчета 300—500 г на 1 ц семян. Обработку семян лучше сочетать с протравливанием их ядохимикатами.

Некорневую подкормку растений проводят раствором борной кислоты (100—150 г/га). Сахарную свеклу подкармливают в период хорошо развитой розетки (до смыкания ее в рядках); кукурузу — в фазу выметывания метелок; клевер, люцерну, горох и другие культуры — в период бутонизации — начала цветения растений.

**Молибденовые удобрения.** На содержание молибдена в почвах исключительное влияние оказывают подстилающие породы. Если в них содержится много молибдена, то почва постепенно обогащается этим элементом.

Содержание молибдена в почвах нашей страны сильно колеблется — от 0,2 до 7,5 мг/кг почвы и выше. Беднее молибденом почвы легкого механического состава (песчаные и супесчаные). Глинистые и суглинистые почвы, как правило, богаче этим элементом. Плодородные окультуренные почвы содержат больше молибдена, чем неокультуренные.

Важно отметить, что нет прямой зависимости между содержанием подвижного (доступного растениям) молибдена и общим содержанием его в почве. Если валовое содержание молибдена в большинстве почв одинаково, то по содержанию подвижного молибдена отдельные почвы различаются в десятки раз.

Мало доступного молибдена содержится в кислых дерново-подзолистых и серых лесных почвах. Большой недостаток молибдена часто наблюдается в подзолистом горизонте сильноподзолистых почв, а также на песчаных почвах, где водорастворимый молибден подвергается вымыванию.

В значительной степени подвижность почвенного молибдена зависит от кислотности почвы. В кислой среде молибден переходит в состояние, недоступное растениям. Внесение фосфорных удобрений способствует увеличению подвижности молибдена в почве, так как происходит замещение ионов  $\text{MoO}_4^{2-}$ , поглощенных почвой, на анион фосфорной кислоты.

Молибден почвенного гумуса, закрепленный в форме различных органических соединений, которые находились в составе растительных остатков и микробных клеток, становится доступным растениям только после минерализации органического вещества. Все процессы, способствующие усилению разложения органического вещества, увеличивают подвижность почвенного молибдена.

Критический уровень содержания молибдена в почвах, ниже которого начинается молибденовая недостаточность у растений, не является постоянным и однозначным и меняется как от степени кислотности почв и некоторых других агрохимических свойств, так и от особенностей биологии растений.

При недостатке подвижного молибдена в почве (менее 0,15 мг/кг почвы) растения сильно страдают: листья приобретают бледно-желтую окраску и отстают в росте, в междоузлиях листа появляются хлоротичные пятна, которые затем буреют и отмирают. Симптомы молибденовой недостаточности установлены более чем для 40 видов высших растений (Хьюитт, 1947; Мульдер, 1948; Каталямов, 1965; Буркин, 1968, и др.).

Молибден имеет важное значение для ряда физиологических процессов, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность растений, причем особое место занимает азотный обмен. Недостаток молибдена наблюдается обычно в тех случаях, когда содержание этого элемента в растениях падает ниже 0,1 мг/кг сухого вещества. Однако критический уровень содержания молибдена в растениях, ниже которого проявляется потребность их в молибденовых удобрениях, сильно варьирует.

Молибденовые удобрения применяют на дерново-подзолистых почвах, осушенных торфяниках, серых лесных почвах, выщелоченных черноземах и других почвах.

Многочисленные опыты показывают, что молибденовые удобрения способствуют значительному повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Средняя прибавка урожая зерна гороха от применения молибдена составляет 2—3 ц/га, сена клевера — 8—10 ц/га, сена вики — 7—9 ц/га. Применение молибдена не только повышает урожай зерна гороха, но и улучшает его качество, увеличивая в нем содержание протеина на 2—4,5%.

По данным 58 опытов, при среднем урожае на контроле 39,3 ц/га прибавка сена клевера от молибдена при разных способах внесения составила 13 ц/га. Обработка семян молибденом и внесение молибденового суперфосфата в большинстве случаев давали лучшие результаты, чем некорневая подкормка. В отдельные особенно благоприятные по погодным условиям годы прибавки урожая сена клевера от внесения молибдена могут достигнуть 15—30 и даже 50 ц/га.

Молибденовые удобрения применяют путем предпосевной обработки семян, некорневой подкормки растений и внесения в почву. При предпосевной обработке семян гороха, вики, сои и других крупносеменных культур на 1 ц семян расходуется 25—30 г молибденовокислого аммония, растворенного в 1,5—2 л воды. На 1 ц семян клевера и люцерны берется 500—800 г молибденовокислого аммония, растворенного в 3—5 л воды.

Для некорневой подкормки расходуется 200 г молибденовокислого аммония на 1 га посева. Некорневую подкормку семенников бобовых трав, а также гороха и других культур на зерно следует проводить в период бутонизации — начала цветения. В почву вносят молибденовый суперфосфат в рядки с семенами клевера, люцерны, гороха и других бобовых культур в дозе 50 кг/га.

**Марганцевые удобрения.** Общее содержание марганца в почвах варьирует в широких пределах — от 21 до 6400 мг/кг (Ринь-кис, 1963).

В почвах марганец находится в форме разнообразных соединений. Динамика различных форм марганца в почвах зависит от проходящих в ней окислительно-восстановительных процессов. Соединения двухвалентного марганца легко растворимы в воде и доступны растениям. Окисляясь до четырехвалентных форм, марганец становится недоступным растениям. Однако соединения высоких валентностей марганца в результате восстановления могут вновь переходить в соединения двухвалентного марганца. Растворимость почвенного марганца резко возрастает в анаэробных условиях и кислой реакции среды. Избыток доступного двухвалентного марганца может оказать неблагоприятное влияние на развитие растений.



Содержание доступных растениям водорастворимых, обменных и легковосстанавливаемых форм марганца зависит от агрохимических свойств почв, условий их увлажнения и воздухопроницаемости, температурных и других факторов.

Обменного марганца больше всего содержится в дерново-подзолистых почвах, но содержание его в этих почвах зависит от кислотности почв: чем выше кислотность, тем, как правило, больше марганца переходит в обменную форму. В дерново-подзолистых почвах тяжелого механического состава обменного марганца содержится больше, чем в супесчаных и тяжелосуглинистых.

С повышением влажности почвы возрастает содержание в ней обменного марганца, причем особенно большое его увеличение наблюдается, если влажность почвы достигает 90 % ПВ.

Подвижность марганца повышается при внесении в почву аммиачных форм азотных удобрений, в связи с чем поступление этого элемента в растения увеличивается. Внесение извести, а также щелочных форм удобрений, наоборот, уменьшает подвижность почвенного марганца и поступление его в растения.

Содержание подвижного марганца, переходящего в вытяжку 0,1 н. раствора  $H_2SO_4$ , колеблется от 1 до 150 мг/кг почвы. Дерново-подзолистые почвы содержат, как правило, наибольшее количество подвижного марганца (50—150 мг/кг почвы). Количество подвижного марганца в черноземах в зависимости от условий почвообразования колеблется от 1 до 75 мг/кг почвы; в сероземах — от 1,5 до 125 мг/кг; в каштановых и бурых почвах — от 1,5 до 75 мг/кг почвы.

В растения марганец поступает в относительно больших количествах, чем другие микроэлементы. Содержание марганца в растениях составляет 8—325 мг/кг сухого вещества и зависит от биологических особенностей растения, содержания подвижного марганца в почве и других факторов. Наименьшее количество марганца содержится в вике, горохе, клубнях картофеля. Особенно богаты этим микроэлементом зародыши семян, оболочки семян и плодов, а также зеленые листья. Так, в листьях сахарной свеклы содержится 128—325 мг марганца на 1 кг сухого вещества, в корнях — 50—190 мг/кг.

При недостатке марганца на молодых листьях появляются хлоротичные пятна, края листьев загибаются кверху. При остром дефиците марганца хлорозные пятна буреют и ткань отмирает. Иногда заболевание охватывает не только листья, но и целые растения. Такие растения плохо растут и развиваются, продуктивность их резко снижается. У овса, пшеницы, ржи, проса и ячменя эта болезнь носит название серой пятнистости. Признаки марганцевой недостаточности могут усиливаться в засушливую погоду и ослабляться или совсем исчезать после дождя.

Наиболее чувствительны к недостатку марганца сахарная свекла, кормовая и столовая свекла, овес, картофель, яблоня, черешня и малина.

Вместе с тем наблюдаются случаи токсического действия марганца, особенно на сильнокислых почвах. Наиболее чувствительны к избытку марганца люцерна, сахарная и кормовая свекла. Эффективным способом устранения токсического действия избытка марганца на растения является известкование почвы.

Эффективность марганцевых удобрений проявляется на слабовыщелоченных черноземах, солонцеватых и каштановых почвах. Особенно широко применяют марганцевые удобрения в Украинской ССР, Грузинской ССР, Армянской ССР и Туркменской ССР.

К числу культур, положительно отзывающихся на марганцевые удобрения, относятся: сахарная свекла, озимая пшеница, кукуруза, ячмень, овес, хлопчатник, конопля, овощные, плодовые, ягодные и др.

По данным опытов, проведенных в УССР, марганцевые удобрения увеличивают урожай зерна озимой пшеницы на 1,5—7 ц/га. По данным 254 опытов, применение марганцевых удобрений повышало урожай сахарной свеклы в среднем на 13,3 ц/га и увеличивало сахаристость на 0,11%. Наряду с повышением урожайности марганцевые удобрения способствуют улучшению качества получаемой продукции. Повышается содержание белка, сахаров, клетчатки, жиров и витаминов.

Для внесения под сахарную свеклу, зерновые, масличные, луговые и овощные культуры применяют марганцевый суперфосфат. Его вносят под вспашку или предпосевную культивацию почвы в норме 2—3 ц/га или в рядки при посеве 0,5—1 ц/га.

Эффективна также предпосевная обработка семян. Предпосевную обработку семян можно проводить путем их сухого опудривания. Для лучшего прилипания к семенам сернокислый марганец хорошо просушивают, тонко растирают и смешивают с тальком. Смесь готовят в следующих соотношениях: для 1 ц семян озимой и яровой пшеницы, кукурузы, гороха — 50 г сернокислого марганца и 200—300 г талька; льна-долгунца — 100 г сернокислого марганца и 200 г талька; сахарной свеклы — 100 г сернокислого марганца и 450 г талька.

Для некорневой подкормки расходуют 150—200 г сернокислого марганца на 1 га посева.

**Медные удобрения.** Содержание подвижной меди в почвах колеблется от 0,05 до 14 мг/кг почвы. Доступными для растений формами являются водорастворимые соединения меди, а также медь, находящаяся в обменно-сорбированном состоянии.

Содержание водорастворимой меди в почвах не превышает 1% общего ее количества. Водорастворимые соединения меди могут быть представлены солями минеральных кислот (азотной, соляной, серной) и комплексными солями органических кислот (лимонной, маленовой, янтарной, уксусной и др.). Растворимые в воде соединения меди легкоподвижны и могут вымываться из почвы.

Процессу закрепления меди в почве способствует большое содержание органических веществ и карбонатов, щелочная реакция почвенного раствора и тонкий механический состав почвы (большое содержание илистой фракции).

В торфяных почвах около 50% общего количества меди содержится во фракции гуминовых кислот. Гуминовые кислоты и фульвокислоты торфа взаимодействуют с медью и образуют нерастворимые комплексные соединения. Например, 1 г гуминовой кислоты может связать около 0,2 мг меди.

Черноземы отличаются более высоким содержанием меди по сравнению с почвами Нечерноземной зоны. Наибольшее содержание этого элемента обнаружено в красноземах.

Известкование снижает степень подвижности меди в почвах. В условиях нейтральной среды медь образует прочные и нерастворимые комплексы с органическими соединениями и нерастворимые минеральные соли. А. П. Виноградов (1957) отмечал, что при pH выше 4,5 возможно осаждение меди в виде гидрата окиси, фосфата, сульфида и карбоната. При pH 7 ионная медь исчезает полностью и переходит в комплексные соединения. Повышение концентрации ионов кальция в почвенном растворе снижает поглощение меди корневой системой растений.

В связи с тем что известкование кислых дерново-подзолистых почв легкого механического состава и торфяно-болотных почв способствует закреплению меди в почве и уменьшает поступление ее в растения, потребность в меди и эффективность медных удобрений при известковании почв сильно возрастают.

Действие медных удобрений проявляется при содержании в почве менее 1,5 мг/кг почвы доступной для растений меди. Медные удобрения наиболее эффективны на торфяных, дерново-глеевых и дерново-подзолистых почвах легкого механического состава.

На некоторых осушенных торфяниках даже при внесении полного минерального удобрения нельзя получить полноценный урожай зерновых культур и других сельскохозяйственных растений из-за недостатка в них меди.

Содержание меди в растениях зависит от видовых особенностей растений и почвенных условий, оно составляет 1,5—26 мг/кг сухого вещества. Наиболее отзывчивы на внесение медных удобрений яровая и озимая пшеница, ячмень, овес. Хорошо отзываются на медь просо, подсолнечник, горчица, сахарная и кормовая свекла и другие культуры.

Недостаток меди вызывает специфические заболевания: хлороз листьев и пустозерность колоса у злаковых культур, суховершинность плодовых деревьев.

Опытами научных учреждений и практикой совхозов и колхозов установлено, что при внесении медных удобрений урожай яровой пшеницы повышается на 2—5 ц/га, ячменя — на 2—3 ц/га, овса — на 4—6 ц/га, зеленой массы кукурузы — на 21%, почат-

ков — на 9—13%. Значительно повышается урожай семян и соломки льна, конопли, овощных и многих других культур.

Медные удобрения можно вносить в почву, использовать для предпосевной обработки семян и некорневых подкормок. Для внесения в почву используют пиритные огарки. Их вносят под зяблевую вспашку один раз в 4—5 лет по 5—6 ц/га.

Предпосевную обработку семян проводят путем их опудривания сернокислой медью из расчета 50—100 г хорошо просушенного и тонкорастертого порошка на 1 ц семян. Опудривание можно совмещать с протравливанием семян.

Для некорневых подкормок берут 200—300 г сернокислой меди на 100 л воды при авиаподкормках или на 300—400 л воды при наземном опрыскивании пропашных культур. Некорневые подкормки проводят в ранние периоды развития растений, но при достаточно развитой листовой поверхности.

**Цинковые удобрения.** Общее содержание цинка в почвах составляет 6—60 мг/кг почвы. Установлено, что содержание цинка в почвообразующей породе в значительной степени определяет уровень его содержания в почвах.

Наиболее доступны растениям водорастворимые и обменные формы цинка. Содержание подвижного цинка в почвах варьирует в широких пределах — от 0,5 до 25 мг/кг почвы.

Подвижность цинка в почвах и доступность его растениям зависят от pH почвенного раствора. Известкование почвы снижает растворимость цинка в почве и уменьшает доступность его растениям. Подвижность цинка в почве снижается также в присутствии растворимых фосфатов, так как образующийся фосфат цинка малорастворим. Слаборастворимы также комплексы цинка с гуминовыми и фульвокислотами.

Обобщение результатов обследования почв Советского Союза на содержание подвижного цинка показало, что только почвы таежно-лесной части Нечерноземной зоны, а также серые лесные почвы содержат достаточное количество подвижного цинка. Меньше подвижного цинка содержится в дерново-карбонатных и некоторых дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых почвах с нейтральной или близкой к нейтральной реакцией.

В черноземах различных районов страны подвижного цинка содержится мало — 0,06—0,20 мг/кг. Очень мало подвижного цинка в карбонатных почвах со щелочной реакцией почвенного раствора, в каштановых и сероземных почвах. Особенно бедны цинком почвы легкого механического состава.

Содержание цинка в растениях колеблется в значительных пределах. Особенно чувствительны к недостатку цинка яблоня, груша, цитрусовые, виноград, кукуруза, зерновые и овощные культуры. Недостаток цинка вызывает хлороз листьев. У плодовых культур развивается характерная розеточность листьев. Внесение цинковых удобрений повышает урожай зерна кукурузы на 5—7 ц/га, хлопка-сырца на 2—4 ц/га, зерна пшеницы на 1,5—

2 ц/га. Под влиянием цинковых удобрений повышается сахаристость плодов томатов, увеличивается содержание в них витамина С, снижается заболеваемость бурой пятнистостью, повышается сбор красных плодов. Цинковые удобрения способствуют устойчивости огурцов к галловой нематоды, повышают устойчивость картофеля к фитофторе и другим заболеваниям.

Цинковые удобрения применяют путем некорневых подкормок растений и предпосевной обработки семян. Для некорневых подкормок на 1 га посева используют 100 г сернокислого цинка, растворенного в 100 л воды при авиаподкормках и в 300—400 л воды при наземном опрыскивании пропашных культур. Подкормку проводят в период бутонизации — цветения растений.

Плодовые насаждения опрыскивают весной по распустившим листьям. Для этого 600 г сульфата цинка и 600 г гашеной извести растворяют в 100 л воды. Гашеную известь добавляют для нейтрализации раствора соли, чтобы избежать ожога листьев. При остром недостатке цинка в почве опрыскивание плодовых насаждений в южных районах следует проводить зимой при положительных температурах. Для этого 2—3 кг сернокислого цинка растворяют в 100 л воды при опрыскивании с самолета или в 300—400 л воды при использовании наземных опрыскивателей.

Предпосевную обработку семян проводят путем их опудривания сернокислым цинком в смеси с тальком (на 1 ц семян зерновых расходуется 35 г сернокислого цинка и 200 г талька, кукурузы — 40 и 160 г соответственно) или ПМУ-7. Для обработки 1 ц семян кукурузы расходуется 400 г ПМУ-7.

**Кобальтовые удобрения.** Общее содержание кобальта в почвах колеблется в пределах от 0,4 до 21 мг на 1 кг почвы. В почвах кобальт находится в двух- и трехвалентной форме. Двухвалентный кобальт легко мигрирует в виде хлоридов, сульфатов и бикарбонатов. В почвах  $\text{Co}^{2+}$  быстро переходит к  $\text{Co}^{3+}$ , который характеризуется большей способностью к комплексобразованию с аммиаком, аминами и многими органическими кислотами. С аминокислотами кобальт образует соединения типа хелатов.

Бикарбонат кобальта малоустойчив и гидролизуетсся с образованием гидроокиси  $\text{Co}^{2+}$ , которая при рН 6,8 выпадает в осадок и часто осаждается совместно с гидроокисью марганца, вследствие чего марганцевые ортштейны часто обогащены кобальтом.

Установлена коррелятивная зависимость между содержанием кобальта, механическим составом почв и емкостью поглощения. Содержание кобальта в глинистой фракции в несколько раз больше, чем во фракции песка.

Подвижность кобальта в почве зависит от ее реакции. Большее содержание кобальта отмечается в почвах с нейтральной и щелочной реакцией. Известкование почвы уменьшает подвижность кобальта.

По данным П. И. Ансποка (1978), содержание подвижного кобальта, переходящего в вытяжку 1 н. раствора  $\text{HNO}_3$ , составляет

для дерново-подзолистых почв 0,1—3 мг/кг, черноземов 1,1—2,2 мг/кг, сероземов 0,9—1,5 мг/кг, каштановых 0,1—6 и для бурых почв 0,6—2,2 мг/кг.

Меньше кобальтом обеспечены таежно-лесные почвы Нечерноземной зоны. Низкое содержание кобальта характерно для почв Ярославской, Ленинградской, Горьковской и Волинской областей, Белорусской ССР и Латвийской ССР.

Почвы лесостепной и степной зон в среднем обеспечены кобальтом. Содержание подвижного кобальта в почвах сухой полупустынной и пустынной зон невысокое. Особенно мало кобальта в сероземах Ташкентской и отдельных районов Сырдарьинской областей Узбекской ССР.

Содержание кобальта в растениях составляет 0,01—0,85 мг/кг сухого вещества. Установлено, что кобальт может поступать в растения в значительно больших количествах, чем требуется для их нормального роста и развития. При резком недостатке кобальта наблюдается хлороз листьев.

Кобальт оказывает положительное действие на урожай и качество различных сельскохозяйственных культур. По данным 22 опытов, урожай зерна пшеницы от применения кобальтовых удобрений повышался на 9%, а содержание белка в нем — на 0,1—1%. Большой эффект от кобальта получен в опытах с ячменем и гречихой.

В 17 опытах урожай льносоломки увеличился в среднем на 3,1 ц/га (13%), а урожай семян льна — на 0,8 ц/га (15%). Под влиянием кобальта в растениях хлопчатника происходят биохимические изменения, приводящие к усиленному синтезу целлюлозы, в результате чего волокно хлопчатника становится более прочным.

Кроме того, кобальт способствует повышению устойчивости хлопчатника к вилту. Отмечено положительное влияние кобальта на урожай и качество многолетних трав, овощных, плодовых культур, винограда и других культур.

Кобальт применяют в виде сернокислого, азотнокислого и хлористого кобальта для внесения в почву, некорневых подкормок и предпосевной обработки семян. В почву вносят по 0,5 кг/га. Обработку семян проводят 0,5%-ным раствором, а некорневые подкормки растений — 0,05%-ным раствором кобальта. Для обработки 1 ц семян расходуют 2—3 л раствора, а для некорневой подкормки растений — 300—400 л раствора на 1 га.

Кобальт относится к числу микроэлементов, заслуживающих большого внимания с точки зрения его применения под сельскохозяйственные культуры для повышения урожая и улучшения качества, а также для обогащения этим элементом кормов для животных.

**Йодные удобрения.** Агрохимическое изучение йода представляет большой интерес в связи с важной его ролью в питании человека и животных. В настоящее время установлено, что йодная недоста-

точность наблюдается не только в горных, но и в ряде равнинных районов.

Содержание валового йода в почве колеблется от 0,1 до 5 мг/кг. Низким содержанием йода характеризуются подзолистые и серые лесные почвы, сероземы, а также солонцы Заволжья и буроземы Ферганского хребта. Почвы горной зоны для одной и той же местности значительно беднее йодом, чем почвы, расположенные на равнинах.

Установлено, что кислые почвы обычно беднее йодом по сравнению с менее кислыми или нейтральными, так как кислая реакция почвенного раствора способствует вымыванию йода из почвы. Песчаные и супесчаные почвы беднее йодом, чем глинистые и суглинистые.

Содержание йода в растениях изменяется в широких пределах — от 0,05 до 2,1 мг/кг сухого вещества. Установлена йодная недостаточность для человека и животных в тех районах, где наблюдается пониженное содержание йода в растениях.

Внесение хлорсодержащих и нитратных форм удобрений является одним из факторов, уменьшающих поступление йода в растения и тем самым способствующих усилению йодной недостаточности в районах с пониженным содержанием этого элемента в почвах. Известкование также уменьшает поступление йода в растения как из самой почвы, так и из внесенных йодных удобрений.

Для обогащения урожая йодом применяют некорневые подкормки растений 0,01—0,02%-ным раствором (по содержанию элемента) йодистого калия. Перспективным является также использование минеральных удобрений с включением йода.

## СРОКИ И СПОСОБЫ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В настоящее время возможности расширения пахотных угодий резко сократились, в связи с чем остро встал вопрос об интенсивном их использовании. Всемерное повышение эффективности химизации земледелия неразрывно связано с рациональным применением удобрений и, в частности, со способами и сроками их внесения.

От выбора того или иного способа и срока внесения удобрений зависит длительность взаимодействия туков с почвой, меняется объем почвы, с которым соприкасаются удобрения, в разной степени изменяются агрохимические свойства почвы. При неодинаковом распределении и заделке удобрений в различные условия будут поставлены и растения в отношении концентрации питательных веществ и наличия удобрений в зонах распространения корневой системы. Все эти условия в значительной степени влияют на коэффициент использования удобрений и их эффективность.

Различные способы внесения удобрений обеспечивают возможность удовлетворить потребность растений в необходимых элементах питания в различные периоды роста и развития.

Путем изменения приемов внесения удобрений можно приблизить или отдалить момент начала потребления питательных веществ культурами. Даже небольшие сдвиги в сроках применения удобрений оказывают большое влияние на весь биохимизм растений: ускоряются или замедляются темпы их развития, изменяется соотношение генеративных и вегетативных органов, а также химический состав получаемой продукции.

Регулируя сроки и подбирая определенный способ внесения удобрений, можно добиться максимальной отдачи от каждого килограмма внесенного тука — обеспечить выход наибольшего урожая сельскохозяйственной продукции с высоким качеством.

### ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Существующие способы внесения минеральных удобрений принято разделять на разбросной с последующей заделкой плугом, бородами или культиваторами и локальный с помощью машин, вносящих удобрения на заданную глубину в виде лент, гнезд, очагов и т. д.

Разбросное внесение удобрений осуществляется наземными машинами, главным образом центробежными разбрасывателями, или с помощью авиации. Однако выпускаемые промышленностью машины для разбросного внесения удобрений большей частью не-



совершенны: они неравномерно распределяют удобрения по площади поля.

Отрицательное влияние неравномерного размещения удобрений отмечалось еще в прошлом веке в первых руководствах по применению минеральных туков. В 1947 г. А. В. Соколов опубликовал результаты своих вегетационных опытов, в которых выявились такие отрицательные последствия неудовлетворительного распределения удобрений, как неравномерность роста и созревания растений и связанные с ними пестрота урожая и снижение его качества.

В работах последнего времени обращается внимание на определение размера снижения эффективности и величину потерь урожая в связи с неравномерным внесением удобрений. Степень неравномерности в настоящее время принято выражать коэффициентом вариации  $V = \frac{\sigma \cdot 100}{x}$ , где  $\sigma$  — среднее квадратичное отклонение;  $x$  — средняя доза удобрения.

В ряде отечественных и зарубежных исследований в последние годы стали применять расчетный метод определения потерь от неравномерности распределения удобрений. Этот метод основан на использовании результатов опытов с нормами удобрений. Пятна, получившие разные нормы удобрений из-за неравномерного внесения, приравнивают к делянкам опыта с разными нормами удобрений. Подбирают математическое выражение зависимости урожая от норм удобрений, путем преобразования которого отыскивают уравнение, позволяющее установить зависимость эффективности удобрений от характера их распределения.

Кроме использования опытов с нормами, можно применять и материалы опытов с разными соотношениями удобрений. Но если первая группа опытов позволяет получить расчетным путем известные представления о значении неравномерности количественного распределения одного и того же удобрения, то вторая дает возможность определить значение качественной неравномерности. Последнее важно для оценки, например, значения сегрегации смесей удобрений, при которой нередко наблюдаются очень сильные отклонения от первоначально заданного соотношения N : P : K на отдельных участках поля.

Расчетные методы при всей их простоте все же не дают реальной оценки фактических потерь урожая в результате неравномерности распределения удобрений. Н. Г. Овчинниковой (1969) было проведено специальное исследование, которое показало, что величина потерь сильно зависит от размера разноудобренных пятен. Аналогичные данные были получены А. И. Останиным (1971).

При малом размере этих пятен (в опытах 0,3 м<sup>2</sup>) неравномерность мало сказывалась на урожае со всей площади, поскольку, по-видимому, корневые системы растений с неудобренных или слабо удобренных делянок проникали на площадь питания соседей и использовали оттуда питательные вещества. Положение ме-

нялось, когда размер неравномерно удобренных площадок достигал 1—4 м<sup>2</sup>. В таких случаях значение переноса питательных веществ краевыми растениями практически утрачивало свое значение, так как удельный вес этих растений в общем числе растений становился незначительным.

Исследования позволили установить зависимость влияния неравномерности при разных формах кривой урожайности. Так, наибольших потерь урожая зерновых культур от неравномерного распределения удобрений следует ожидать при параболическом характере кривой урожайности. При прямолинейной зависимости урожая от норм удобрения потерь почти нет. Имеются и такие факты, когда урожай при неравномерном внесении удобрений не только не падал, но даже увеличивался. Это объясняется тем, что благодаря большой поглотительной способности почв (преимущественно химическое связывание  $P_2O_5$  удобрений) малые нормы удобрений полностью выводились из усвояемого состояния и урожай на пятнах (делянках), получивших такие нормы, ничем не отличался от урожая на неудобренных пятнах. Зато на пятнах, получивших в несколько раз больше удобрений, отмечалось существенное увеличение урожая. Вследствие сказанного суммарный результат по равномерно удобренному полю оказывался ниже, чем по удобренному неравномерно.

Значение равномерности сильно зависит от таких факторов, как плодородие почвы, уровень их предыдущей удобренности, норма удобрений, площадь питания и ее форма для разных культур и др.

Фактические потери урожая от неравномерности различно оцениваются отдельными авторами. Н. Г. Овчинникова нашла, что при неравномерности 20—25% потери урожая не превышали 1—2%. Близкие данные сообщают Гейде (ФРГ), Иенсен и Песек (США). По расчетным данным Гольмана и Матеса, при неравномерности 20% потери урожая зерновых колебались от 0,6 до 11,5%, при неравномерности 30% — от 1,3 до 17,5%. По сообщению А. И. Останина и Л. С. Злобиной потери урожая овса, озимой пшеницы и картофеля при неравномерности 20—25% не выходили за пределы 4—5%. Современными агротехническими требованиями к туковым сеялкам и разбрасывателям неравномерность распределения туков допускается в пределах 25%. Однако в практике неравномерность внесения намного превышает 20—25%. Этому способствуют неправильная установка и нерациональные пути движения по полю (или над полем) туковых разбрасывателей (особенно центробежных) и самолетов.

Опыты, проведенные в Белорусской сельскохозяйственной академии по изучению влияния неравномерности внесения удобрений на урожай ячменя, показали следующее. Урожай на контроле составил 34,6 ц/га. При минимальной неравномерности распределения тукосмесей зерновой сеялкой СУ-24 прибавка урожая зерна ячменя составила 14,5 ц/га; при неравномерности 25% прибавка

урожая снизилась до 11,9 ц/га; при неравномерности 50%, что часто бывает в производственных условиях, — до 8,6 ц/га; при неравномерности 75% — 6,4 ц/га.

Для обеспечения равномерности внесения существенное значение имеет выравнивание гранулометрического состава удобрений. По данным Э. П. Базегского и Б. А. Главацкого (1970), равномерное смешивание туков достигается только в том случае, если различие средних размеров гранул не превышает 1 мм, а вполне равномерный рассев смеси возможен только при условии, если наибольшие отклонения от среднего размера гранул не превышают 0,5 мм. При различии средних размеров гранул 1 мм еще возможен удовлетворительный по равномерности рассев; если же различие превышает указанную величину, то приготовление и равномерное внесение центробежным разбрасывателем смеси становятся невозможными.

При внесении тукосмесей наиболее равномерно, по данным А. И. Останина, распределяется азотный компонент. Наибольшее разделение (16,7%), по его данным, наблюдалось при внесении тукосмеси из некалиброванных гранул простого суперфосфата и хлористого калия. Значительно меньше разделялась при внесении смесь из мочевины, двойного суперфосфата и хлористого калия (5,7%).

При разбросном внесении заделка в почву находящихся на поверхности частиц удобрений различными почвообрабатывающими орудиями осуществляется неудовлетворительно и не соответствует требованиям сельскохозяйственных культур. При заделке плугами удобрения размещают слишком глубоко и они становятся недоступными растениям в начальный период роста; при заделке различными боронами и культиваторами питательные вещества оказываются в верхнем, пересыхающем слое почвы и не могут быть в полной мере использованы растениями.

Чтобы проследить, как размещаются в почве удобрения при заделке их теми или иными почвообрабатывающими орудиями, на Центральной опытной станции ВИУА был проведен опыт, где в качестве имитаторов удобрений были использованы специальные пластмассовые гранулы. При заделке удобрений паровым культиватором КРН-4 с различными рабочими органами, которые не перемешивают, а лишь рыхлят почву, они размещались главным образом в слое 0—2 см, независимо от глубины обработки.

При использовании борон дисковой навесной и дисковой тяжелой, которые частично перемешивают почву, гранулы более глубоко проникали по почвенному профилю. Так, если при использовании культиватора в слое 0—2 см было найдено около 70% имитаторов, то при заделке бороной — вдвое меньше (32—37%). Основная их доля располагалась в слое 0—6 см. Удобрения, внесенные под ротационный плуг, рабочие органы которого обеспечивают хорошее перемешивание почвы, распределялись равномерно на всю обрабатываемую глубину (табл. 58).

# 58. Размещение удобрений в почве при заделке их различными орудиями

Почвообрабатывающие орудия, глубина обработки почвы	Размещение удобрений (в %) по почвенным горизонтам (в см)					
	0—2	2—4	4—6	6—8	8—10	10—12
Культиватор КПН-4 со стрельчатыми лапами:						
10—12 см	73	15	9	2	1	—
5—6 см	69	22	7	2	—	—
Культиватор КПН-4 с пружинными лапами, 5—6 см	70	19	5	6	—	—
Борона дисковая БДН-1,5, 6—8 см	37	33	19	8	3	—
Борона дисковая БДТ-2,2, 12—14 см	33	32	14	11	8	2
Плуг ротационный, 10—12 см	19	20	24	18	20	—

Из данных опыта с ячменем, выращенного при различных способах внесения и заделки удобрений в почву, четко прослеживалась зависимость урожая зерна от изучаемых факторов: чем глубже проникали удобрения, тем выше был урожай. Наибольшие урожаи получены при локальном внесении удобрений (экраном и лентами на глубину 10—12 см) — 39,1 и 39,8 ц/га при урожае на контроле 26,4 ц/га.

Локальное внесение удобрений исключает недостатки, присущие разбросному способу. При локальном внесении заделка туков осуществляется на заданную глубину, поэтому появляется возможность удобрения разместить в пределах корнеобитаемого слоя почвы, то есть приблизить удобрения к сфере деятельности корневой системы растений. Это имеет большое значение в питании растений. Некоторые исследователи (Вгау, 1974) считают, что малоподвижные элементы питания поглощаются растениями из окружающего их тонкого слоя почвы, в то время как подвижные — из всей ризосферы.

Американские исследователи (Sheard, Bradshaw, Massey, 1971) в опыте на тяжелосуглинистой почве установили, что у пятнадцатидневных растений костра и люцерны 50—56% фосфора поступало из суперфосфата, внесенного под рядок на 5 см ниже семян. При расположении удобрений на 3 см в сторону от рядка эта величина составляла 2,5—6,5%. Удаление удобрений на 6—9 см в сторону от семян приводило к тому, что фосфор оказывался недоступным растениям в этом возрасте.

Следовательно, при локальном способе удобрения располагаются в почве таким образом, что они становятся легкодоступными активной части корневой системы. При локальном внесении удобрений в почве создаются специфические условия для поглощения питательных веществ растениями из удобрений и их передвижения в почве.

Исследователями установлен различный характер передвижения азота, фосфора и калия из общего очага удобрений. Наиболь-

шей лабильностью обладает нитратный азот, значительно меньшей — аммонийный азот и калий, очень слабо передвигается фосфор.

Миграция питательных веществ связана в основном с капиллярным и гравитационным током влаги и совершается преимущественно в вертикальном направлении. Диффузия солей, определяющаяся градиентом концентрации, а также условиями увлажнения и температурным градиентом, идет медленно и в ограниченном пространстве. Поэтому очаги удобрений в почве имеют вытянутую по вертикали форму.

Установлено (Булаев и сотр., 1976), что миграция фосфора, обменного калия и аммонийного азота из ленты удобрений завершается в основном в течение 1—2 недель. Затем наблюдаются количественные изменения питательных веществ в почве, а характер их распределения вокруг очага удобрений остается более или менее постоянным.

В лаборатории механизации и технологии применения удобрений ВИУА в 1977 г. были исследованы образцы почвы, взятые на 30-й день после внесения удобрений в виде нитроаммофоски. К этому сроку в лентах сохранились очаги с повышенной концентрацией аммиачного азота. При внесении на гектар  $N_{60}P_{60}K_{60}$  в ленте шириной 3 см концентрация  $N-NH_4$  достигала 4,6 мг/100 г, что в 6—10 раз превышало содержание его в пахотном горизонте. Увеличение ширины ленты до 6—9 см привело к снижению концентрации  $N-NH_4$ .

При повышении дозы до  $N_{120}P_{120}K_{120}$  содержание аммиачного азота в очагах внесения удобрений заметно увеличилось по сравнению с одинарной дозой. Например, в ленте шириной 3 см она возросла почти в 1,5 раза. Установлено некоторое увеличение содержания аммиачного азота вблизи ленты. Увеличения содержания нитратов в зоне внесения удобрений не наблюдалось. Очевидно, это объясняется высокой их подвижностью.

Фосфор концентрировался в основном в ленте, причем чем уже лента удобрения, тем выше содержание фосфора. При внесении на гектар  $N_{60}P_{60}K_{60}$  в ленте шириной 3 см на 30-й день было обнаружено более 80 мг  $P_2O_5$ ; в лентах шириной 6 и 9 см содержание подвижного фосфора было соответственно 42 и 30,8 мг/100 г почвы.

Повышение нормы нитроаммофоски в 2 раза способствовало увеличению концентрации подвижной фосфорной кислоты. В лентах она доходила до 100—140 мг/100 г, что в 10—14 раз превышало содержание  $P_2O_5$  при внесении удобрений вразброс.

Калий также концентрировался в ленте. При внесении  $N_{60}P_{60}K_{60}$  его содержание в ленте составляло 25—38 мг/100 г и при удвоении нормы удобрения повышалось до 40—43 мг. Содержание его на контроле было равно 14—20 мг/100 г.

В образцах почв, взятых после уборки урожая, было обнаружено, что в лентах содержание фосфора снизилось, но почти

в 2 раза увеличилось его содержание вблизи ленты. Калий также распространился вблизи ленты и подтянулся к поверхности.

Многими другими исследователями также обнаружено, что в непосредственной близости от лент внесения удобрений создаются и до конца вегетации сохраняются зоны повышенных концентраций подвижных форм питательных элементов. Такое распределение питательных веществ в почве оказывает определенное влияние на растения, что связано прежде всего с особенностями развития корневой системы.

Корни резко реагируют на очаговый характер размещения удобрений в почве. В опытах А. Н. Минича (1969) с овсом отмечалось интенсивное нарастание мелких, бурно ветвящихся корешков в зонах повышенной концентрации питательных веществ. Там растения находят элементы питания в достаточном количестве и в легкодоступной форме, что является одним из важнейших условий повышения продуктивности растений.

Однако, как показали опыты, проведенные в Белорусской сельскохозяйственной академии (Вильдфлуш, 1976), отдельные виды удобрений при локальном внесении оказывают неодинаковое влияние на рост корней. Например, в зоне внесения азотного удобрения корни злаковых культур (овса, ячменя) развивались лучше, чем в зоне внесения суперфосфата. В зоне внесения хлористого калия наблюдалось слабое развитие корней, по-видимому, вследствие угнетающего влияния избытка ионов хлора. Лучше всего корни злаковых растений развивались в зоне внесения  $NP$  и заметно хуже в зоне  $NPK$ . Корни картофеля свободно проходили очаги суперфосфата и хлористого калия, внесенных отдельно и в общую ленту. Не изменяя своего направления, они продолжали нормальный рост в нижележащих слоях почвы. Корни же, которые встречали на своем пути азотное удобрение или тукосмесь, содержащую азот, прекращали рост в глубину, не доходя 2—3 см до края очага удобрения. Корни картофеля развивались на границе оптимальной концентрации и не могли некоторое время проникать в ленту удобрения, содержащую аммиачную селитру. Освоение корневой системой картофеля очагов азотного удобрения или тукосмеси, содержащей азот, происходило постепенно, по мере снижения концентрации солей в ленте. Через 20 дней после посадки корневая система картофеля начинала интенсивно ветвиться, особенно в зоне внесения азотного удобрения. То же самое наблюдалось и в зоне внесения  $NP$ . При этом образуется очень густая сеть мелких корешков.

Стимулирующего влияния на развитие корней картофеля фосфорного и калийного удобрения в очагах их внесения не наблюдалось. Местного усиленного развития корней в очагах внесения удобрений также не наблюдалось. Оно отмечалось только в случае резкого недостатка в почве подвижных форм фосфора. Через 30 дней после посадки клубней лента удобрений ( $NPK$ ) оказалась густо оплетенной сеткой мелких корней, причем основ-

ная их масса располагалась несколько ниже ленты, в зоне аккумуляции нитратов.

Стимулирующее влияние одного азота и в сочетании его с фосфором и калием на развитие корневой системы следует считать положительным явлением, так как при этом увеличивается поглощающая поверхность корней, что, в свою очередь, способствует лучшему использованию питательных веществ из внесенных удобрений и запасов почвы. Однако при высокой концентрации азотного удобрения в ленте можно наблюдать и отрицательное действие. Высокая доза азота может препятствовать проникновению корней в ленту с  $\text{NPK}$ , в результате этого фосфорная кислота, будучи малоподвижной в почве, может оказаться на некоторое время блокированной для растений, особенно в начальный, наиболее ответственный период питания растений фосфором. Продолжительность этого периода зависит от дозы удобрений, степени его локализации, свойств почв и других условий.

Ленточное внесение удобрения приводит не только к морфологическим изменениям корневой системы растений. Существенные различия наблюдаются в ее массе (в начале вегетации), химическом составе, а также в интенсивности подачи питательных веществ в надземные органы. По данным В. К. Трапезникова (1977), в среднем за два года масса абсолютно сухого вещества корней 100 растений пшеницы Харьковская 46 в фазе кущения при разбросном внесении нитроаммофоса в норме  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}$  составила 3 г, при ленточном — 3,9 г. Были резкие различия и по содержанию в них основных элементов питания. Относительное (в % на сухое вещество) и абсолютное количество их в корнях растений при ленточном внесении туков было значительно выше, чем при разбросном способе.

Многолетние исследования автора показали, что локальное внесение основного минерального удобрения оказывает положительное влияние на рост и физиологическое состояние листьев, обуславливает повышенную водоудерживающую их способность, повышает продуктивность фотосинтеза.

Одним из существенных преимуществ локального способа внесения туков является более высокий по сравнению с внесением вразброс коэффициент использования удобрений. В опытах Р. Т. Вильдфлуша (1976) при ленточном внесении по сравнению с разбросным коэффициент использования  $\text{N}$  нитрофоски увеличился с 45,2 до 55,4%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  — с 24,9 до 30,8%,  $\text{K}_2\text{O}$  — с 45,7 до 57,4%. При послойном внесении удобрений использование  $\text{N}$  из удобрений составило 64,7%,  $\text{P}_2\text{O}_5$ —33,9%,  $\text{K}_2\text{O}$ —70,4%. По данным В. К. Трапезникова (1977), коэффициент использования азота нитрофоски от ее локализации возрастал с 39 до 65%, фосфора — с 10 до 17%.

В Украинском НИИ земледелия (Н. Н. Тарарико с сотр.) был проведен многолетний лабораторно-полевой опыт с использованием суперфосфата, меченного  $^{32}\text{P}$ . Удобрения в норме  $\text{N}_{80}\text{P}_{80}\text{K}_{80}$  бы-

**59. Влияние разбросного и локального внесения удобрений  
на урожай озимой пшеницы (в ц/га)**

Вариант опыта	Урожай	Прибавка от удобрений	Прибавка от локализации
Контроль — без удобрений	41,8	—	—
(NPK) <sub>30</sub> под вспашку	42,5	0,7	—
(NPK) <sub>30</sub> локально	45,7	3,9	3,2
(NPK) <sub>60</sub> под вспашку	45,4	3,6	—
(NPK) <sub>60</sub> локально	48,1	6,3	2,7
(NPK) <sub>120</sub> под вспашку	48,7	6,9	—
(NPK) <sub>120</sub> локально	56,2	14,4	7,5

ли внесены различными способами под овес и кукурузу. Уже с первых фаз развития растений способы заделки удобрений оказывали влияние на усвоение ими фосфора. Содержание фосфора в растениях находилось в обратной зависимости от объема почвы, с которым смешивались удобрения. Самое высокое его содержание в растениях овса и кукурузы было при локальном внесении туков на глубину 10 см.

Локализация удобрений оказала положительное влияние на коэффициент усвоения  $P_2O_5$  удобрений. Для овса при локальном внесении он составил 25,8%, при смешивании удобрений со слоем почвы 0—30 см — 13,8%. Для кукурузы эти показатели были равны 15,6 и 7,5%. Локальное внесение способствовало также усвоению растениями фосфора почвы.

В опытах Л. А. Шамрай (1975) с применением радиоактивного фосфора использование  $P_2O_5$  яровой пшеницей при перемешивании суперфосфата со слоем почвы 0—25 см составило 12—13%, при локальной заделке на 2—3 см ниже семян — 17—19%.

Исследованиями, проведенными в лаборатории механизации и технологии применения удобрений ВИУА (1977 г.) с применением стабильного изотопа  $^{15}N$ , установлено, что коэффициент использования азота удобрений ячменем выше при ленточном внесении нитроаммофоски, чем при разбросном, — соответственно 57,3 и 42,8%.

Рациональное использование питательных веществ растениями при локальном внесении удобрений обуславливает более экономное их расходование. Отечественный и зарубежный опыт с достаточной убедительностью показывает, что норму удобрений в этом случае можно сократить на 30—50% по сравнению с разбросным способом.

В опыте Полтавского СХИ (табл. 59) при внесении NPK в дозе 120 кг/га (каждого элемента) вразброс получен урожай 48,7 ц/га, при внесении 60 кг/га локально — 48,1 ц/га. При внесении по 60 кг/га каждого элемента питания вразброс и по 30 кг локально собрали соответственно 45,4 и 45,7 ц/га.



Из данных микрополевого опыта, проведенного на ЦОС ВИУА, видно, что меньшая норма туков, внесенная локально, обеспечивает такой же урожай, как повышенная норма, но внесенная вразброс. Урожай при внесении  $N_{30}P_{30}K_{30}$  лентами составил  $743 \text{ г/м}^2$ , а при  $60 \text{ кг/га}$  вразброс —  $725$ ; по  $60 \text{ кг NPK}$  при внесении лентами и экраном дали урожай соответственно  $744$  и  $760 \text{ г/м}^2$ , в то время как  $90 \text{ кг}$  вразброс —  $736 \text{ г/м}^2$ . Масса зерна при внесении по  $90 \text{ кг/га NPK}$  лентами и экраном была  $810$  и  $826 \text{ г}$ , разбросное внесение по  $120 \text{ кг/га NPK}$  обеспечило получение  $821 \text{ г/м}^2$ .

Аналогичная закономерность установлена рядом зарубежных исследователей. Результаты опытов, проведенных английской консультативной службой (Кук, 1975), показали, что каждое питательное вещество при заделке лентой было более эффективным, чем при внесении его вразброс. Требовалось примерно на  $50\%$  больше удобрения для получения максимальной отзывчивости при разбрасывании их по поверхности поля перед посадкой картофеля. Оптимальные дозы при внесении в борозды были:  $N$  —  $150 \text{ кг/га}$ ,  $P_2O_5$  —  $200$ ,  $K_2O$  —  $190 \text{ кг/га}$ ; при внесении вразброс — соответственно  $225$ ,  $265$  и больше  $280 \text{ кг/га}$ .

По данным американских исследователей, внесение  $P_2O_5$  лентой в дозе  $64 \text{ кг/га}$  значительно больше повышало урожай зерна кукурузы, чем разбросное внесение  $132 \text{ кг } P_2O_5$ . Для получения равного эффекта на пшенице при ленточном внесении требовалось в 2 раза меньше фосфора, чем при внесении вразброс (соответственно  $22$  и  $45 \text{ кг/га}$ ).

Опытами установлено, что при увеличении нормы удобрений эффект от локализации возрастает. Например, прибавка урожая зерна ячменя, выращенного на Центральной опытной станции ВИУА, от локально внесенного удобрения в норме  $N_{100}P_{100}K_{100}$  составила  $5,5 \text{ ц/га}$ , а в норме  $N_{150}P_{150}K_{150}$  —  $10,2 \text{ ц/га}$ . Прибавка урожая зерна озимой пшеницы в условиях Полтавской области возрастала с увеличением норм удобрений, внесенных лентами, и достигала максимального значения при норме  $N_{120}P_{120}K_{120}$   $14,4 \text{ ц/га}$ . В опытах ВНИИ кукурузы с увеличением дозы азота и фосфора в составе полного минерального удобрения при локальном внесении под озимую пшеницу, кукурузу, ячмень, овес и просо эффект от локализации также возрастал. Результаты четырехлетних опытов В. Е. Булаева (1974) с картофелем показали, что с увеличением норм удобрений преимущества локального способа их внесения перед разбросным не уменьшаются.

Очевидно, что урожай сельскохозяйственных культур от локализации туков будут расти при увеличении норм удобрений до определенных пределов. За этим пределом следует ожидать снижения эффекта локализации, а возможно, и отрицательного влияния избыточных норм удобрений. Поэтому при локальном внесении туков необходимо строго подходить к расчету их норм в соответствии с потребностями выращиваемой культуры и конкретными почвенно-климатическими условиями.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Специфические условия питания растений, создающиеся при локальном внесении удобрений, имеют большое значение для сельскохозяйственной практики и не случайно привлекают внимание многих исследователей. В системе Географической сети опытов с удобрениями ВИУА изучением различных вопросов, связанных с локальным внесением туков, занимается более ста научных учреждений. Обобщенные данные опытов по изучению эффективности способов внесения удобрений за 1973—1977 гг. наглядно показывают преимущество локального внесения удобрений (табл. 60).

**60. Влияние удобрений, вносимых различными способами**

Культура	Урожай (в ц/га)			Прибавка от локали- зации (в ц/га)	Число опы- тов
	без удоб- рений	при внесении удобрений			
		вразброс	локально		
Черноземы					
Озимые	28,4	38,5	42,1	3,6	11
Яровые	26,6	30,9	34,7	3,8	41
Свекла	331	386	410	24	5
Подсолнечник	21,3	24,4	25,6	1,2	3
Дерново-подзолистые суглинистые почвы					
Озимые	27,9	37,6	40,0	2,4	5
Яровые	20,6	34,2	38,1	3,9	31
Картофель	159	220	236	16	10
Дерново-подзолистые супесчаные и песчаные почвы					
Озимые	15,8	24,2	27,3	3,1	17
Яровые	15,2	22,1	25,2	3,1	15
Картофель	137	206	217	11	5

Однако средняя прибавка, вычисленная на основании результатов большого числа опытов, не всегда отражает истинную картину, так как в ряде случаев из-за отсутствия специальных машин локальное внесение осуществляется не вполне удовлетворительно, вследствие чего урожаи не достигают ожидаемого уровня.

Опыты, проведенные отдельными учреждениями, показывают, что, правильно применяя локальный способ внесения удобрений, можно добиться значительно больших прибавок урожая сельскохозяйственных культур. И хотя их величина колеблется в зависимости от ряда факторов, во всех почвенно-климатических зонах эффект от локального внесения туков выше, чем от разбросного.

Широкие исследования по изучению сравнительной эффективности способов внесения удобрений проведены в различных районах Российской Федерации.

61. Урожай ячменя в зависимости от способов заделки удобрений ( $N_{100}P_{100}K_{100}$ )

Способ заделки удобрений	Орудие	Урожай	Прибавка
		в ц/га	
Под весновспашку на глубину 20—22 см	Плуг с предплужником ПН-3-35	31,7	5,3
Под первую культивацию на глубину 10—12 см	Культиватор КРН-4 со стрельчатыми лапами	31,9	5,5
Под вторую культивацию на глубину 5—6 см	То же	32,7	6,3
Под первую культивацию на глубину 10—12 см	Борона БДН-2,5	36,5	10,1
Под вторую культивацию на глубину 5—6 см	То же	34,1	7,5
Под культивацию на глубину 10—12 см	Ротационный плуг	35,6	9,2
Экраном на глубину 10—12 см	Экспериментальная сеялка АЗТС-1,9	39,1	12,7
Лентами при посеве на глубину 10—12 см	Финская сеялка Ханкмо-320	39,8	13,4
Контроль	—	26,4	—

В 1974 г. локальное внесение удобрений было испытано В. Е. Булаевым на Центральной опытной станции ВИУА (Московская область). Нитроаммофоску (16—16—16) вносили под озимую пшеницу из расчета 2,5 ц/га и в удвоенной дозе. Урожай зерна по одинарной дозе нитроаммофоски, внесенной вразброс под культиватор, составил 35,6 ц/га, а при ленточном внесении — 38 ц/га, по удвоенной дозе — соответственно 38,2 и 42,3 ц/га. Под ячмень нитроаммофоску вносили в одинарной дозе ( $N_{50}P_{50}K_{50}$ ), удвоенной и утроенной. При урожае зерна на контроле 13,6 ц/га прибавки от возрастающих доз удобрения составили при разбросном внесении соответственно 3,2; 12 и 14,6 ц/га, при ленточном внесении — 9,2; 13,2 и 16 ц/га. Аналогичная закономерность была выявлена в опытах, заложенных по такой же схеме в 1976—1977 гг.

Хорошей иллюстрацией влияния способов заделки удобрений на урожай зерна являются результаты опыта с ячменем, проведенного на этой же станции (табл. 61). Глубокая заделка удобрений под плуг и мелкая под культиватор привела к получению одинакового урожая и дала наименьшую прибавку (5,3—7,5 ц/га); максимальный урожай получен при внесении туков локальными способами (сплошным экраном и лентами при посеве), масса зерна повышалась в 1,5 раза.

Результаты микрополевых и вегетационных опытов (1976—1978 гг.) с зерновыми культурами показали, что в большинстве случаев локальное внесение удобрений является более эффективным приемом, чем разбросное, хотя при определенных условиях

(избыточное увлажнение, высокая норма удобрений и др.) разница в эффективности была менее заметной или отсутствовала.

В опытах на легких супесях Судогодской опытной станции ВИУА (Владимирская область) с озимой рожью при локальном внесении НРК по 50 кг/га получено зерна 27,3 ц/га, при удвоенной норме удобрений — 30,9 ц/га, при утроенной — 32,5 ц/га, в то время как при разбросном внесении удобрений в этих же нормах — соответственно 25,4; 27,3 и 29,8 ц/га при урожае на контроле 20,5 ц/га.

В многолетних опытах с картофелем на Центральной опытной станции ВИУА было установлено, что благодаря локализации туков можно дополнительно получить 40—50 ц клубней с 1 га.

Представляют интерес исследования А. С. Ефимовой с различными сортами картофеля (Любимец, Смена, Огонек, Гатчинский, Лорх, Истринский, Темп), проведенные в 1976—1977 гг. Ленточный способ внесения при тех же дозах удобрений дал больший эффект, чем разбросной под плуг по всем сортам. Наибольшая прибавка урожая благодаря ленточному способу внесения НРК по 60 кг/га по сортам Любимец и Смена составила 45 ц/га, по другим сортам — 22—35 ц/га. На повышенные дозы (120 кг/га) удобрений при ленточном внесении лучше всего отзывались сорта Лорх и Гатчинский: прибавка урожая в пользу ленточного способа составила 40—45 ц/га. Более высокие урожаи клубней, чем при разбросном внесении по всем сортам, получены также при сочетании разбросного внесения (60 кг/га) с ленточным (60 кг/га).

Средние данные четырехлетних (1975—1978 гг.) исследований по четырем сортам картофеля различной скороспелости показали, что по всем сортам ленточное внесение НРК по 60 кг/га в борозду на фоне навоза 40 т/га обеспечило почти такой же урожай, как и внесение НРК в дозе по 120 кг/га вразброс.

Наиболее высокие урожаи сортов картофеля получены при сочетании разбросного внесения с ленточным в дозах НРК по 60 кг/га. Прибавки урожая клубней при таком внесении получены несколько выше (36—34 ц/га) по более скороспелым сортам, чем по позднеспелым (21 ц/га).

На Раменской агрохимической опытной станции (Булаев, 1976) изучали эффективность отдельных компонентов основного удобрения, вносимого вразброс и ленточным способом, на трех различных фонах (исходная почва, известкованная почва и фон единовременного внесения  $P_{270}$ ). Опыт вели 3 года стационарно при монокультуре картофеля с ежегодным внесением удобрений на одни и те же делянки.

Из данных таблицы 62 видно, что известкование почвы и обогащение ее фосфором не оказали существенного влияния на эффективность локализации полного минерального удобрения ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ). Но парные комбинации (NK, NP и PK) при ленточном внесении действовали лучше, чем при разбросном, только в

**62. Влияние состава и способов внесения основного удобрения на урожай картофеля (среднее за 3 года)**

Удобрение	Урожай (в ц/га)		
	на исходной почве	по извести 6 т/га	по суперфосфату 270 кг/га
Без удобрения	133	143	167
$P_{60}K_{60}$	157/166	168/187	174/191
$N_{60}K_{60}$	157/161	171/188	196/216
$N_{60}P_{60}$	151/169	145/151	176/178
$N_{60}P_{60}K_{60}$	189/228	196/228	205/246
$N_{60}P_{30}K_{60}$	177/207	187/213	199/230
$N_{60}P_{90}K_{60}$	191/239	200/240	212/235
$N_{60}P_{60}K_{30}$	170/193	167/193	193/220
$N_{60}P_{60}K_{90}$	190/230	205/238	214/255

Примечание. В числителе — при разбросном, в знаменателе — при ленточном внесении удобрений.

тех случаях, когда отсутствующий в удобрениях элемент содержался в достаточных количествах в почве. На фоне парных комбинаций действие любого элемента резко усиливалось при локальном внесении. Возрастающие дозы фосфора и калия на исходной и известкованной почвах при ленточном внесении оплачивались более высокими прибавками урожая, чем при разбросном. Повышался и эффект от локализации НРК. На фоне запасного внесения ( $P_{270}$ ) дополнительное применение фосфора разбросным способом в первые 2 года было неэффективным и только на третий год существенно повысило урожай картофеля. Локальное же внесение удобрений ежегодно обеспечивало положительное действие фосфора.

Эффективность способов внесения удобрений под сахарную свеклу изучали на выщелоченном черноземе Центрально-Черноземного филиала ВИУА. Удобрения вносили в дозе  $N_{135}P_{180}K_{135}$ . При всех способах внесения удобрений получен высокий эффект, однако абсолютная величина прибавок в значительной степени зависела от способов внесения. Наибольший урожай корней в среднем за 3 года получен при ленточном внесении НРК под свеклу: прибавка урожая составила 15—19 ц/га. Опыты показали, что эффективность удобрений выше при локализации только фосфорных и калийных компонентов, азот же лучше равномерно распределять по поверхности почвы. Максимальная прибавка урожая корней (153 ц/га) получена при размещении фосфорно-калийных удобрений лентой на глубине 30—32 см и внесении азотных под предпосевную культивацию. Благодаря локализации удобрений получено дополнительно 26 ц корней с 1 га. Применение удобрений, как правило, снижало сахаристость корней, но при локальном их внесении это снижение было меньшим.

Локальное внесение удобрений в условиях Северного Кавказа также способствовало получению более высоких прибавок урожая, чем разбросное.

Во ВНИИ масличных культур перспективность локальных способов внесения удобрений под подсолнечник была установлена еще в начале 30-х годов (Кувина, 1940). Из-за отсутствия технических средств способ внесения минеральных удобрений под подсолнечник не получил практического применения и дальнейшей разработки. Позднее в опытах (1965—1967 гг. и 1974—1976 гг., А. И. Лукашев и сотр.) удобрения вносили культиватором КРН-4,2 перед культивацией зяби или одновременно с ней лентами через 17—35 см на глубину 10—12 см. Опыты показали, что такой способ внесения туков под подсолнечник весной по эффективности не уступал осеннему внесению основного удобрения под вспашку зяби. Было замечено, что при попадании семян подсолнечника непосредственно в ленты удобрений всхожесть их частично снижалась, а взошедшие растения первое время испытывали некоторое угнетение и отставание в росте вследствие высокой местной концентрации солей в почвенном растворе.

Опыты, проведенные в 1975—1978 гг., показали, что более высокая и устойчивая эффективность локально-ленточного способа внесения удобрений получается при точной пространственной ориентации лент удобрений к рядкам семян. Самые высокие прибавки урожая подсолнечника (4,6 ц/га) были получены при послонном расположении удобрений четырьмя лентами, а также при внесении их двумя лентами сбоку рядка (3—3,6 ц/га); это значительно выше, чем при других способах заделки удобрений.

Многочисленными опытами установлено, что одним из основных путей повышения коэффициента использования фосфорно-калийных удобрений растениями табака является ленточный способ внесения основного удобрения. Почвы предгорий Кубани, где имеются большие площади этой культуры, обладают высокой способностью к поглощению фосфора и калия удобрений. Вследствие этого эффективность фосфорно-калийных удобрений при разбросном их внесении в почву низка и для обеспечения достаточно высокого урожая табака применяют повышенную норму азотных удобрений. Однако в этом случае из-за накопления в листьях избыточного количества белков качество табачного сырья снижается.

Опыты, проведенные во ВНИИ табака и махорки в 1974—1977 гг. на различных типах почв, показали, что локальное внесение туков под табак приводит к резкому повышению коэффициента использования минеральных удобрений. При внесении фосфорно-калийных удобрений лентами осенью под вспашку виноградным плугом ПРВН-53, а азотных культиватором-растениепитателем весной в слой 15—17 см эффективность туков заметно возрастает (табл. 63). Получение значительных прибавок урожая достигается без снижения качества табачного сырья.

### 63. Влияние способов внесения удобрений на урожайность табака

Вариант опыта	Урожай (в ц/га)		
	на слитом черноземе	на темно-серой лесостепной почве	на бурой лесной супесчаной почве
Вразброс: РК под вспашку, N под культивацию	43,7	35,7	33,3
Локально: РК в слой 25—30 см, N в слой 15—17 см	47,4	43,3	38,6
Локально: РК в слой 30—60 см, N в слой 15—17 см	49,6	40,5	36,8

Эффективность локального внесения минеральных удобрений изучали и в условиях Западной Сибири. В опытах СибНИИ кормов урожай зеленой массы кукурузы на малогумусном среднесуглинистом выщелоченном черноземе на контроле в среднем за 1977—1978 гг. составил 257 ц/га, или 36 ц/га сухого вещества. Внесение различных видов удобрений обычным способом (вразброс под культивацию) дало сравнительно небольшой эффект: прибавки урожая сухого вещества при внесении нитрофоса ( $N_{20}P_{20}$ ), нитрофоски ( $N_{20}P_{20}K_{20}$ ) и аммофоса ( $N_{12}P_{52}$ ) колебались в пределах 2,3—3,2 ц/га. Внесение двойного гранулированного суперфосфата не дало положительного результата.

Локальное внесение удобрений обеспечило резкое увеличение их эффективности. Прибавка урожая сухого вещества при внесении тех же доз удобрений от нитрофоса увеличилась в 3,1 раза, от нитрофоски — в 2,4 раза, от аммофоса — в 4,1 раза. Положительный эффект дало и локальное внесение суперфосфата.

Лучшие результаты дало применение нитрофоса (прибавка урожая сухого вещества 10—10,8 ц/га). Меньшие прибавки получены при внесении нитрофоски (6,5—7,3 ц/га), аммофоса (9,4—9,8 ц/га) и суперфосфата (1,7—4,8 ц/га).

Большое значение локальное внесение удобрений имеет в регионах, где широко внедрена почвозащитная система земледелия. Отвальный плуг при такой системе исключен из набора машин и орудий, поэтому разбросанные по поверхности почвы удобрения остаются незаделанными и слабо используются растениями.

Так, трехлетние опыты А. И. Барсукова и В. К. Зинченко показали, что лучшим способом внесения удобрений под яровую пшеницу при оптимальной обработке почвы в условиях северной лесостепи Приобья Новосибирской области является ленточный. Наибольшая прибавка урожая зерна (8,2 ц/га) получена при размещении туков лентой шириной 5 см на 3 см ниже семян.

Изучение разных способов и сроков внесения основного удобрения в Восточной Сибири проводилось Красноярским НИИСХ (Л. Е. Замяткина) в 1974—1977 гг. на выщелоченных тяжелосуглинистых черноземах Канской лесостепи. Удобрения (аммиачную селитру, двойной суперфосфат и хлористый калий) вносили в нор-

ме  $N_{90}P_{60}K_{30}$ . В среднем за три года более высокая прибавка урожая зерна озимой пшеницы получена при внесении удобрений плугом послойно на глубину 10 и 20 см и рядовой сеялкой весной и осенью. Урожай пшеницы в этих вариантах увеличился на 49—52% по сравнению с контролем и превысил урожай при поверхностном внесении на 11—12%.

Большое значение локальное внесение удобрений имеет при выращивании сои в основном районе ее возделывания — на Дальнем Востоке. Изучение ленточного способа внесения основного удобрения под сою на лугово-черноземовидной почве, отличающейся высоким плодородием, показало, что этот прием является более эффективным, чем разбросной. В опытах Г. К. Шелевого и И. П. Волоха во ВНИИ сои в среднем за три года наиболее высокий урожай был получен при заделке аммофоса ( $N_{22}P_{80}$ ) локальным способом; при урожае на контроле 16,6 ц/га прибавка составила 1,4 ц/га.

В производственных опытах 1977 г. при испытании агрегата для локального внесения удобрений конструкции ВНИИ сои прибавка урожая при внесении аммофоса ( $N_{26}P_{94}$ ) составила 1,4 ц/га. Достоверная прибавка получена и в 1978 г., когда аммофос ( $N_{17}P_{60}$ ) был внесен тем же агрегатом лентами шириной 5 см с расстоянием 25 см на глубину 17 см. Увеличение нормы удобрения вдвое не приводило к повышению урожая семян.

На маломощных, тяжелых по механическому составу подзолисто-бурых лесных глеевых почвах Приамурья эффективность удобрений выше, что связано с низким содержанием подвижного фосфора (0,8—1,5 мг/100 г почвы по Кирсанову) и высокими сорбционными свойствами этих почв.

В условиях центральной зоны Дальнего Востока при локальном внесении наиболее эффективен был аммофос ( $N_{34}P_{120}$ ) при заделке на глубину 15 см лентой 5 см. Урожай сои увеличивался на 4,8 ц/га по сравнению с контролем. Наиболее низкий урожай был получен при заделке удобрений под культивацию.

Наблюдения за поступлением фосфора в растения сои в зависимости от глубины заделки суперфосфата, меченного изотопом  $^{32}P$ , показали, что в фазе всходов наибольшее радиоактивное излучение в точке роста было при внесении суперфосфата с семенами. В фазе примордиальных листьев больше фосфора поступало при заделке удобрений на 5 см ниже семян; в период образования третьего тройчатого листа — на 10 см, а к началу цветения — на 15 см. Однако в целом за период вегетации наиболее высокое содержание фосфора отмечено при внесении удобрений на глубину 10 см.

Интересные данные по эффективности локального внесения удобрений получены на Украине. Многолетние исследования по эффективности локального внесения основного минерального удобрения под различные сельскохозяйственные культуры проведены А. И. Фатеевым в Украинском НИИ почвоведения и агрохимии



им. А. Н. Соколовского. В 1971—1974 гг. изучали эффективность локализации разных доз полного минерального удобрения на темно-серой оподзоленной почве.

Урожай зеленой массы кукурузы при локальном внесении  $N_{90}P_{45}K_{90}$  был на 29 ц/га выше, чем при разбросном, при локальном внесении  $N_{45}P_{45}K_{45}$  и  $N_{90}P_{90}K_{90}$  — соответственно на 12 и 16 ц/га.

Послойное внесение минеральных удобрений (перенесение части удобрений в рядки, а также в рядки и в подкормку из доз  $N_{90}P_{45}K_{90}$  и  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ) позволило получить самые высокие абсолютные приросты урожая зеленой массы кукурузы — 65—88 ц/га. Однако в сравнении с однократным локальным внесением указанных доз удобрений приросты урожая не превышали ошибку опыта — 10—13 ц/га. При послойном внесении дозы  $N_{45}P_{45}K_{45}$  приростов урожая не получено вообще.

При повышении дозы минеральных удобрений (с  $N_{45}P_{45}K_{45}$  —  $N_{90}P_{90}K_{90}$  до  $N_{360}P_{360}K_{360}$ ) эффективность локализации снижалась до уровня разбросного внесения. Урожай зеленой массы кукурузы в вариантах с разбросным и локальным внесением при высокой дозе был почти одинаковым.

Данные опытов Украинского НИИ почвоведения и агрохимии свидетельствуют о положительном действии локализации удобрений на урожай озимой пшеницы (табл. 64).

**64. Урожай озимой пшеницы при разных дозах и способах внесения минеральных удобрений на оподзоленном черноземе**

Дозы и способы внесения удобрений	Урожай озимой пшеницы (в ц/га)				Прибавка урожая (в ц/га)
	в 1975 г.	в 1976 г.	в 1977 г.	в сред- нем	
Без удобрений (контроль)	45,3	39,4	41,2	41,5	—
$N_{60}P_{60}K_{60}$ :					
вразброс	55,2	48,6	44,2	49,2	7,7
локально	58,5	57,4	48,5	54,6	13,1
$N_{180}P_{180}K_{180}$ :					
вразброс	42,7	54,6	41,3	46,2	4,7
локально	42,9	61,8	42,6	49,1	7,6

Из данных таблицы видно, что наибольшая прибавка урожая была при локальном внесении  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . Дальнейшее повышение дозы удобрений в 1975 и 1977 гг. привело к полеганию озимой пшеницы и в конечном итоге к снижению урожая. Урожай озимой пшеницы как при разбросном, так и при локальном внесении  $N_{180}P_{180}K_{180}$  в эти годы был ниже, чем при внесении  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . В 1976 г. полегания озимой пшеницы не было и урожай при локальном внесении  $N_{180}P_{180}K_{180}$  был самым высоким — 61,8 ц/га, что на 7,2 ц/га выше, чем при разбросном внесении этой же дозы.

Эффективность локального способа внесения основного удобрения под различные сельскохозяйственные культуры изучалась во ВНИИ кукурузы с 1939 г. Во все годы проведения исследований отзывчивость растений на локальный способ внесения туков была выше, чем на разбросной. В 1966—1971 гг. на обыкновенном среднемощном малогумусном черноземе Эрастовской опытной станции этого института (Н. Г. Лютый и И. Ф. Буряк) локальное внесение как фосфорного, так и полного минерального удобрения было эффективнее разбросного (табл. 65).

65. Эффективность минеральных удобрений в зависимости от сроков и способов их внесения под зерновые культуры и подсолнечник

Культура	Годы	Урожай зерна без удобрений (в ц/га)	Прибавка урожая (ц/га) от удобрений при внесении					
			фосфорного (Р <sub>60</sub> )			полного (N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub> )		
			вразброс		локально	вразброс		локально
			перед вспашкой	перед культивацией		перед вспашкой	перед культивацией	
Ячмень	1966—1968	15,1	1,8	1,5	2,5	5,1	6,1	7,9
Кукуруза	1966—1968	28,2	3,2	2,7	4,1	4,3	3,8	5,3
Подсолнечник	1966—1968	18,2	3,2	2,4	3,8	3,1	2,5	4,1
Озимая пшеница:								
по пару	1967—1969	31,3	4,1	4,2	5,7	7,4	7,6	10,4
после гороха	1967—1969	23,6	3,7	4,0	6,0	6,8	7,0	9,2
» кукурузы								
на силос	1967—1969	17,1	4,9	5,3	6,8	7,8	7,7	10,3
Просо	1969—1971	21,6	2,7	3,6	5,1	5,5	6,9	9,1

Результаты трехлетних опытов Жеребковской опытной станции, проведенных на мощном черноземе, показали, что при ленточном внесении нитрофоски, а также смеси односторонних туков урожай проса были на 2 ц/га выше, чем при заделке удобрений плугом или культиватором.

В опытах с кукурузой на мощном черноземе Красноградской опытной станции эффективность полного минерального удобрения, внесенного локальным способом, была выше, чем при разбросном. С увеличением нормы вносимого удобрения эффективность локализации не только не снижалась, но и существенно возрастала (табл. 66).

Представляют интерес обобщенные Ю. Г. Фищенко и П. И. Витриховским (Украинский НИИ земледелия) данные по влиянию различных способов внесения удобрений на урожай кукурузы (табл. 67).

Украинским НИИ земледелия изучение локального способа внесения основного минерального удобрения под сахарную свек-

лу в различных районах свеклосеяния Украины было начато в 50-х годах. Для этой цели применяли культиватор-растениепитатель, а затем разработанный Г. И. Фищенко специальный глубоководный сошник, который вносил удобрения на 16—18 см глубже и на 5—6 см сбоку от рядка семян. При такой заделке удобрений в дозе по 30—40 кг NPK на 1 га прибавка составила соответственно 30—40 и 60—70 ц корней с 1 га.

В Украинском научно-исследовательском институте картофельного хозяйства и на его опытных станциях сравнивали эффективность разбросного внесения удобрений и локального при посадке картофеля в борозду ниже клубней на 8—10 см и в междурядья ниже 5—7 см глубины посадки клубней. Опыты проводили на дерново-подзолистых супесчаных почвах института с сортом картофеля Боро-

#### 66. Влияние локального и разбросного способов внесения полного минерального удобрения на урожай зерна кукурузы

Вариант опыта	Урожай зерна кукурузы без удобрений и прибавки от удобрений при внесении	
	локально	вразброс
У р о ж а й (в ц/га)		
Без удобрений—контроль	39,8	39,4
П р и б а в к а у р о ж а я (в ц/га)		
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	4,5	3,0
N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	4,6	2,8
N <sub>90</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	4,9	3,2
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>30</sub>	5,5	3,4
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>30</sub>	5,9	3,4
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	6,5	3,5
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	6,8	3,8

#### 67. Влияние различных способов внесения основного удобрения на урожай зерна кукурузы

Доза удобрений	Урожай (в ц/га)				Прибавка урожая (в ц/га) от удобрений, внесенных		
	без удоб- рений	при внесении удобрений			вразброс		
		вразброс		весной локально			
		под зятьб	весной под куль- тивацию		весной локально	под зятьб	весной под куль- тивацию

Украинский институт физиологии растений (среднее по трем опытам)

N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> | 32,4 | 45,5 | — | 48,7 | 13,1 | — | 16,3

Львовский сельскохозяйственный институт, 1967—1969 гг.

N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> | 52,0 | — | 60,2 | 63,0 | — | 8,2 | 11,0

Сумская сельскохозяйственная опытная станция, 1955—1956 гг.

N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub> | 33,8 | — | 36,6 | 39,8 | — | 2,8 | 6,0

Драбовская опытная станция полеводства УкрНИИ земледелия, 1952—1953, 1958 гг.

N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub> | 44,0 | 53,0 | — | 57,7 | 9,0 | — | 13,7

Полтавский сельскохозяйственный институт, 1962—1969 гг.

N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> | 35,5 | 43,3 | 41,1 | 45,3 | 7,8 | 5,6 | 9,8

дьянский (1971—1973 гг.) и на серых оподзоленных супесчаных почвах Черниговской опытной станции по картофелю с сортом Огонек (1975—1977 гг.). Эффективность удобрений, внесенных в дозе  $N_{90}P_{90}K_{120}$  вразброс под вспашку и в половинной дозе ( $N_{45}P_{45}K_{60}$ ) локально в борозду под рядок, была практически одинаковой (265 и 268 ц/га).

Преимущество локального внесения половинной дозы удобрений ( $N_{45}P_{70}K_{70}$ ) в борозду под рядок картофеля отмечалось и на черноземах Драбовской опытной станции (Черкасская область). При разбросном внесении  $N_{90}P_{140}K_{140}$  прирост урожая клубней составил 60 ц/га, а при половинной дозе, внесенной локально, — 54 ц/га. Аналогичные результаты получены и в Житомирском сельскохозяйственном институте.

В Полтавском сельскохозяйственном институте (Л. Л. Омелянюк) в течение многих лет ведется изучение локального способа внесения основных минеральных удобрений одновременно с высевом ячменя и озимой пшеницы.

Опыты закладывали на выщелоченных и слабооподзоленных черноземах средне- и тяжелосуглинистого механического состава. Локально удобренные растения на два — четыре дня раньше выходили в трубку, колосились и созревали. Наблюдения показали, что если удобрения, внесенные вразброс, повышали наращивание вегетативной массы в зависимости от доз на 14—67%, то внесенные локально повышали ее на 39—123%, то есть прирост вегетативной массы увеличивался в 2—2,8 раза. При локальном внесении удобрений повышались масса 1000 зерен и масса зерна в колосе. Существенным фактором, влияющим на урожай ячменя, является коэффициент продуктивной кустистости. В этих опытах от удобрений, внесенных вразброс, он повысился на 23%, а от удобрений, внесенных локально, — на 49% по сравнению с контролем.

Урожай зерна ячменя в среднем за 12 лет (1967—1978 гг.) при внесении  $N_{30}P_{30}K_{30}$  разбросным способом составил 24 ц/га, а при внесении такой же дозы удобрений локально — 29,4 ц/га (при урожае на контроле 20,8 ц/га). Повышение дозы удобрений до  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и  $N_{120}P_{120}K_{120}$  способствовало дальнейшему повышению урожая зерна, однако и в этих случаях благодаря локальному расположению удобрений было получено дополнительно 4—4,5 ц/га (табл. 68).

Из данных таблицы видно, что прибавки урожая, полученные от вносимых доз удобрений разбросным способом, равны прибавкам, полученным от половинных доз удобрений, внесенных локально.

Опытами Львовского сельскохозяйственного института (А. И. Крылова) установлено, что локальное внесение под сахарную свеклу NPK по 110 и 220 кг/га на темно-серой оподзоленной почве эффективнее, чем разбросное. Урожай корней при меньшей дозе возрастал от локализации на 126 ц/га, при удвоенной — на 57 ц/га. При повышении дозы NPK до 330 кг/га разницы в уро-

# 68. Влияние способов внесения удобрений на урожай ячменя

Вариант опыта	Урожай ячменя (в ц/га) в среднем		Прибавка урожая	
	за 1967—1973 гг.	за 1974—1978 гг.	в ц/га	в %
Без удобрений — контроль	20,1	21,5	—	—
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> :				
вразброс	23,6	24,5	3,0	14,0
локально	29,9	28,1	6,6	30,6
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> :				
вразброс	—	27,5	6,0	27,9
локально	—	32,0	10,5	48,8
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> :				
вразброс	—	31,7	10,2	47,4
локально	—	35,6	14,1	65,6

жае при локальном и разбросном способах не было. Выявлено преимущество локального внесения удобрений и под ячмень. Локальное внесение NPK в дозе по 30—60 кг/га повышало урожай ячменя на 2—3,3 ц/га по сравнению с внесением вразброс.

Широкие исследования по изучению эффективности локальных способов внесения удобрений проведены в Белоруссии. В Белорусской сельскохозяйственной академии под руководством А. А. Каликинского в опытах с ячменем на слабо- и среднеобеспеченных подвижными формами фосфора и калия суглинистых почвах установлено, что при недостатке влаги эффективным является локальное внесение только фосфорного удобрения, а при удовлетворительной влагообеспеченности — полного минерального удобрения. Согласно многолетним данным, полученным за период 1965—1975 гг. в 29 опытах, средняя прибавка урожая ячменя сортов Винер и Московский 121 составила при локальном внесении: N<sub>40</sub>P<sub>43</sub>K<sub>38</sub>—2 ц/га, N<sub>62</sub>P<sub>62</sub>K<sub>62</sub>—3 ц и N<sub>90</sub>P<sub>87</sub>K<sub>87</sub>—1,9 ц/га по сравнению с внесением удобрений вразброс под культивацию, обеспечившим средний урожай соответственно 24,4; 28,4 и 33 ц/га.

Изучали эффективность ленточного внесения удобрений под ячмень в зависимости от генотипических свойств сортов Московский 121, Эльгина, Мами, Трumpf и Домен. Четырехлетними опытами А. Ф. Косьяненко установлено, что наиболее отзывчивым на внесение основного удобрения ленточным способом оказался сорт Мами, обеспечивший получение прибавки урожая в среднем за три года по сравнению с разбросным 6 ц/га (табл. 69).

В других двухлетних (1977—1978 гг.) опытах изучали несколько иной ассортимент сортов. Были дополнительно включены сорт Рупал, районированный в Латвийской ССР, и сорт Надя, районированный с 1978 г. в Белоруссии, которые оказались наиболее урожайными. Прибавка урожая благодаря локализации в зависимости от сорта колебалась от 3,9 (Московский 121) до 6,2 ц/га (Рупал). Безусловно, положительно сказалось и влияние осадков,

# 69. Влияние норм, способов внесения удобрений и сортов на урожай ячменя

Вариант опыта	Урожай ячменя (в ц/га) сортов					
	Московский 121	Эльгина	Мами	Надя	Рупал	Трумпф
P <sub>10</sub> — фон в рядки	17,1	16,7	16,8	16,2	20,0	16,4
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> вразброс	27,6	28,3	29,4	31,2	29,6	28,5
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> »	32,4	30,6	35,0	37,2	32,2	38,7
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> »	30,2	27,0	32,9	34,3	33,3	31,3
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> лентами	34,1	32,5	37,9	39,3	39,5	37,9

количество которых за период апрель—июль составило: в 1977 г. — 263 мм, в 1978 г. — 281 мм при среднем многолетнем за это время 248 мм.

В опытах с озимой пшеницей Мироновская 808 в 1968—1970 гг. (М. Н. Тверезовской) внесение N<sub>20</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> лентами перед посевом увеличило урожай в среднем на 3,9 ц/га.

В трехлетних опытах Белорусской сельскохозяйственной академии с локальным внесением удобрений под картофель наиболее высокий урожай был получен при внесении минеральных удобрений в борозду при посадке: прибавка урожая клубней составила 48—51 ц/га по сравнению с разбросным внесением под глубокую культивацию. Аналогичные данные были получены в производственных опытах.

Изучали также эффективность сочетания разбросного и локального внесения. Наиболее высокий сбор клубней получен при локальном (ленточном) внесении N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>150</sub> перед посадкой (237,4 ц/га) и N<sub>75</sub>P<sub>75</sub>K<sub>105</sub> вразброс под плуг в сочетании с внесением N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> лентами перед посадкой (236,2 ц/га). Внесение N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> под культивацию в сочетании с внесением N<sub>75</sub>P<sub>75</sub>K<sub>105</sub> под вспашку снизило урожайность до 203,6 ц/га, а внесение всей нормы удобрений (N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>150</sub>) вместе с клубнями — до 189 ц/га.

По данным девяти опытов со льном-долгунцом (1966—1968 гг.) ленточное внесение удобрений одновременно с предпосевной культивацией увеличивало урожай льносемян на 2,3 ц/га, соломки на 10,4 ц/га по сравнению с разбросным.

Эффективность локального внесения удобрений изучали и на легких почвах Белоруссии. В полевых опытах с ячменем на супесчаных почвах выявлено, что эффективность ленточного способа внесения удобрений на этих почвах ниже, чем на суглинистых, что обусловлено недостатком влаги, который на легких почвах наблюдается чаще. В связи с этим на таких почвах особо важное значение приобретает глубина расположения удобрений. При улучшении водного режима растений локальное внесение удобрений оказалось значительно эффективнее разбросного.

По данным восьми опытов, на супесях средняя прибавка урожая ячменя Московский 121 при ленточном внесении удобрений в среднем за 7 лет составила 2,3 ц/га по сравнению с разбросным.

В трехлетних опытах (1976—1978 гг.) В. М. Курилюк на тех же почвах изучал нормы азота 30, 60 и 90 кг/га на фоне  $P_{60}K_{60}$  и  $P_{90}K_{90}$ . Наиболее высокий урожай получен при локальном внесении  $N_{60}P_{60}K_{60}$ , который составил для ячменя сорта Эльгина 33,9 ц/га, овса Кондор 36,9 ц/га, или на 5,6 и 6,4 ц/га больше, чем при разбросном.

В опытах с озимыми культурами на супесчаных почвах действие локального внесения на урожайность оказалось неустойчивым. Очевидно, это связано с худшей влагообеспеченностью растений. При сравнительно хорошей влагообеспеченности локальное внесение удобрений имело преимущество перед разбросным. Например, в 1977 г. урожай озимой ржи при локальном внесении  $N_{60}P_{90}K_{120}$  составил 37,2 ц/га, что на 2,7 ц/га больше, чем при разбросном. При уменьшении нормы до  $N_{30}P_{60}K_{90}$  прибавка урожая ржи от локализации удобрений составила 1,2 ц/га по сравнению с разбросным способом, где получен урожай 33 ц/га.

По данным четырехлетних опытов с картофелем на супесчаных почвах, прибавка урожая клубней от удобрений при локальном внесении в борозду при посадке составила 54—71 ц/га, а при разбросном — 23—33 ц/га. Следует отметить, что в отличие от зерновых культур локальное внесение удобрений под картофель на легких почвах обеспечивает устойчивую прибавку урожая и в годы с недостатком влаги в течение вегетационного периода.

Положительное влияние локализации туков на урожай зерновых культур установлено и в Прибалтике. Локальное внесение основного удобрения под зерновые культуры изучали в Литовском НИИ земледелия на дерново-глебовых легких суглинках. Прибавка ячменя благодаря локализации нитрофоски составила 1,3—4,2 ц/га, или 2,9—8%. При локальном внесении удобрений растения быстрее развивались. Так, 27 июня 1978 г. в фазу колошения вступило растений ячменя: на делянках без удобрений — 14%, при разбросном внесении нитрофоски — 38%, при локальном на глубину 3—5 см — 47%, на глубину 8—10 см — 83%, на глубину 13—15 см — 78%.

В опытах с озимой пшеницей локальное внесение удобрений при посеве тоже значительно повышало их эффективность. Дополнительная прибавка урожая пшеницы в этом опыте составила в среднем 4,6 ц/га. Следует отметить, что почвы опытных участков отличались довольно высоким плодородием ( $pH_{KCl}$  — 7,0—7,5, гумуса — 2,8%,  $P_2O_5$  — 10,5 и  $K_2O$  — 12,6 мг/100 г почвы по Эгнеру—Риму—Доминго). Но и в этих условиях эффективность удобрений повышалась при их локализации.

Большое внимание изучению эффективности способов внесения удобрений уделяют при возделывании хлопчатника в Средней Азии. Эта культура является весьма требовательной к условиям питания. В различные периоды развития растения предъявляя неодинаковые требования к объему и качественному составу питательных веществ. Наибольшее количество азота, фосфора и ка-

лия обычно усваивается в стадиях цветения и плодообразования.

В течение длительного времени способы внесения удобрений под хлопчатник изучают во Всесоюзном НИИ хлопководства (Н. Н. Зеленин). Многочисленные исследования показали бесспорное преимущество послойного внесения удобрений при пахоте перед поверхностно-разбросным внесением с последующей запашкой их плугом с предплужником. Доказано также и положительное значение глубокой заделки удобрений при основной обработке почв (табл. 70).

**70. Влияние способов внесения фосфорных удобрений (150 кг  $P_2O_5$  на 1 га) под хлопчатник в допосевной период на урожай (в ц/га)**

Способ заделки удобрений	Старопашка		Пласт люцерны	
	урожай хлопка-сырца	прибавка благодаря локальному внесению	урожай хлопка-сырца	прибавка благодаря локальному внесению
Вразброс по поверхности почвы с запашкой плугом с предплужником	25,4	—	27,8	—
Вразброс по поверхности почвы и на глубину 50—60 см лентами шириной 7—10 см (расстояние между лентами 40—50 см) при вспашке с почвоуглублением	27,7	2,3	30,8	3,0
За лопой почвоуглубителя на глубину 50—60 см лентами шириной 7—10 см (расстояние между лентами 40—50 см) при вспашке с почвоуглублением	26,5	1,1	29,0	1,2
Вразброс по поверхности почвы с запашкой двухъярусным плугом	25,3	—	28,2	—
Лентой на глубину 28—30 см при вспашке двухъярусным плугом	26,5	1,2	29,4	1,6
В два слоя (0—15 и 15—30 см) при вспашке двухъярусным плугом	27,5	2,2	30,4	2,6

Эффективным приемом является предпосевное внесение туков культиватором-удобрителем с заделкой ножевидными сошниками на глубину 12—15 см с междуследиями 25—30 см.

Прием припосевного внесения азота и фосфора, как и предпосевное внесение удобрений, прошел широкую производственную проверку, получил общее одобрение хлопкоробов Узбекистана и других хлопкосеющих республик и широко внедрен в последние годы в практику колхозов и совхозов.

Припосевное или рядковое внесение удобрений осуществляют одновременно с посевом комбинированными сеялками, оборудованными туковыми приспособлениями.

Фосфор, внесенный под хлопчатник одновременно с посевом, начинает поступать в растения уже на 5—18-й день. Причем скорость его поступления во многом зависит от размещения удобре-



ний по отношению к линии семян. Так, при размещении удобрений рядками на 3—4 см ниже ложа семян фосфор в проростки поступал на 5—6-й день после всходов; при внесении сбоку рядка на 2—3 см и на глубину 8—10 см от поверхности почвы — на 9—10-й день; на 5—7 см и на глубину 13—15 см — на 18-й день и при внесении в середину междурядий — на 94-й день. Следовательно, удобрения лучше всего вносить одновременно с посевом и максимально приближать их к посевному рядку. Наибольшее повышение урожайности хлопчатника обеспечивается при заделке припосевого удобрения на 2—5 см ниже ложа семян (табл. 71).

**71. Урожай хлопка-сырца в зависимости от способа внесения суперфосфата перед посевом**

Вариант опыта	Урожай хлопка-сырца (в ц/га)	
	на сероземно-луговых почвах (8 опытов)	на луговых засоленных почвах (11 опытов)
Азотный фон	26,5	—
Фон+суперфосфат под вспашку	32,3	24,7
Фон+суперфосфат под вспашку+30 кг $P_2O_5$ под семена	37,0	27,0
Фон+суперфосфат под вспашку+30 кг $P_2O_5$ сбоку рядка на глубину 8—10 см	34,1	—

Примечание. Под вспашку внесено по 120 кг  $P_2O_5$  на 1 га.

Аналогичные данные по влиянию способов припосевого внесения удобрений на урожайность хлопчатника получены и Таджикским институтом земледелия.

В основу выбора способов внесения азотно-фосфорных удобрений в подкормки должно быть положено требование наиболее быстрого и полного использования их хлопчатником. Максимальная эффективность подкормки достигается приближением удобрений к рядкам хлопчатника, так как корневая система его в этот период развита очень слабо и охватывает небольшой объем почвы.

Существенным фактором, оказывающим влияние на эффективность локального внесения удобрений, является **пространственное размещение удобрений** по отношению к семенам. По данным многолетних исследований Белорусской сельскохозяйственной академии, наиболее высокий и устойчивый урожай зерновых культур обеспечивался при расположении лент удобрений в каждом междурядье (ширина их 15 см). Несколько ниже прибавки урожая получают при размещении лент в поперечном или диагональном направлении к рядкам семян. Размещение удобрений непосредственно под семенами часто приводит к угнетению растений и даже их гибели, в результате чего эффективность удобрений резко снижается.

Оптимальной глубиной заделки лент удобрений, как показали опыты в различных почвенно-климатических зонах, следует счи-

гать двойную глубину заделки семян; на легких почвах она должна быть увеличена примерно в полтора раза.

На эффективность локального внесения удобрений оказывает влияние и ширина ленты. Опятами лаборатории механизации и технологии применения удобрений на Центральной опытной станции ВИУА (1977—1978 гг.) установлено, что при норме питроаммофоски  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и ее заделке на 7 см лучшей была узкая лента (3 см). С повышением нормы удобрений вдвое увеличение урожая наблюдалось при более широких лентах (6 и 9 см). При заделке удобрений на большую глубину (12 см) ширина ленты при той и другой нормах не имела такого значения. В опытах Белорусской сельскохозяйственной академии наибольшие прибавки урожая при нормах  $N_{30}P_{30}K_{30}$ ,  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и  $N_{90}P_{90}K_{90}$  получены при размещении удобрений узкими лентами (2—3 см).

Результаты опыта с подсолнечником во ВНИИ масличных культур показали, что ленты удобрений следует располагать на расстоянии 2—10 см от рядка семян на глубину 10—15 см. При большем удалении лент удобрений от семян как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении эффективность их резко снижается.

Опытами ВНИИЗХ (Е. Д. Волков и сотр.) с применением  $^{32}P$  показано, что на усвоение фосфора суперфосфата яровой пшеницей оказывает влияние его позиционная доступность, зависящая от расстояния между семенами и гранулами удобрений. Определение радиоактивности растений в полевых условиях показало, что при заделке суперфосфата на глубину 5, 10, 15, 20 и 25 см начало поступления  $^{32}P$  в растения отмечено соответственно через 1, 3, 6, 8 и 12 дней после появления всходов. При глубокой заделке суперфосфата (на 20—25 см) длительная задержка поступления фосфора удобрений в растения (8—12 дней) в начале вегетации отрицательно сказывается на конечной его эффективности.

На эффективность удобрений, внесенных локальным способом, оказывают влияние и многие другие факторы: степень плодородия почвы, условия увлажнения, формы удобрений, нормы и соотношения питательных элементов. Выявление условий и зон эффективного применения локального внесения удобрений откроет большие возможности для рационального использования удобрений и дополнительного получения сельскохозяйственной продукции.

Одним из видов локального внесения удобрений является **корневая** (или прикорневая) **подкормка озимых культур**. До недавнего времени считалось, что лучше всего подкормку озимых проводить как можно раньше, по мерзло-талой почве («по черепку»). Это основывалось на том, что ослабленные за зиму и получившие рано весной азотную подкормку растения быстро восстанавливаются, так как внесенные на влажную почву удобрения легко проникают к корням и хорошо используются растениями.

Дальнейшие исследования показали, что начало отрастания после зимы, а следовательно, и активное потребление азота наступают не сразу после схода снега, а спустя 15—20 дней, то есть после прогревания почвы. Поэтому рано внесенные удобрения могут теряться в значительных количествах вследствие вымывания и в процессе денитрификации.

Корневая подкормка озимых нашла широкое применение в сельскохозяйственной практике. В 1978 г. на Украине таким способом были подкормлены озимые на площади 2,7 млн. га, в РСФСР — около 2,5 млн. га. Широко этот способ применяется и в других районах. Эффективность корневой подкормки существенно зависит от состояния посевов озимых. На плохо развитых посевах корневая подкормка может привести к отрицательным результатам.

В РСФСР корневая подкормка получила распространение как дополнительная к ранневесенней поверхностной подкормке. Она практикуется на тех полях озимых, где не вносили азотные удобрения с осени под основную обработку почвы и где опоздали их внести ранней весной поверхностно. Необходимость корневой азотной подкормки озимой пшеницы и озимой ржи диктуется в основном тем, что еще на значительных площадях в республике, достигающих 30—35%, а в отдельных областях и 50% общих посевов, поверхностная подкормка проводится с запозданием и не в оптимальные сроки, когда почва подсохнет и удобрения, внесенные поверхностно, малоэффективны или вовсе не увеличивают урожаев (Попов, 1980).

## 72. Эффективность способов подкормки озимой пшеницы аммиачной селитрой (Попов, 1980)

Область, край	Почва	Урожай зерна на контроле (в ц/га)	Прибавка урожая (в ц/га) при подкормке		Прибавка от прикорневой подкормки (в ц/га)
			ранней весной поверхностно	прикорневым способом	
Ставропольский	Чернозем обыкновенный	23,8	0,0	1,8	1,8
Ставропольский	» карбонатный	20,4	1,0	4,6	3,6
Краснодарский	» »	37,0	1,0	1,8	0,8
Ростовская	» южный	23,1	3,0	4,1	1,1
Саратовская	» обыкновенный	24,8	2,2	4,6	2,3
Курская	» »	30,8	3,0	4,8	1,8
Воронежская	» »	27,8	6,0	6,8	0,8
Орловская	Темно-серая лесная	18,1	5,3	5,0	0,3
Горьковская	Серая лесная	10,8	5,0	7,4	2,4
В среднем		—	2,9	4,5	1,6

В опытах, проведенных агрохимической службой в различных почвенно-климатических зонах РСФСР, изучали эффективность разных способов внесения азотных удобрений на урожай озимой пшеницы (табл. 72).

Испытания проводили как на удобренном, так и на удобренном фоне фосфорно-калийными удобрениями. На карбонатном и обыкновенном черноземах в зоне недостаточного увлажнения Ставропольского и Краснодарского краев лучшие результаты получены при внесении азотных удобрений прикорневым способом. Преимущество этого способа над ранневесенним поверхностным особенно заметно в менее увлажненных условиях Ставропольского края; на обыкновенном черноземе прибавка урожая зерна от прикорневого способа составила 1,8 ц/га, на карбонатном — 3,6 ц/га. Это, видимо, можно объяснить тем, что в районах с засушливыми условиями весной поверхностный слой почвы быстро пересыхает и удобрения не проникают в почву, остаются большей частью на поверхности и становятся малоэффективными или вовсе не дают никакого эффекта. Кроме того, в условиях Северного Кавказа из-за частых весенних пыльных бурь удобрения, внесенные поверхностно, сносятся вместе с мелкоземистой частью почвы в лесополосы, овраги, балки и на другие объекты несельскохозяйственного пользования. При выпадении летних осадков ливневого характера удобрения способствуют интенсивному произрастанию сорной растительности и загрязнению водоемов.

В направлении с юга на север, к районам с более благоприятным увлажнением, роль подкормок озимой пшеницы азотом как в ранневесенний период поверхностно, так и прикорневым способом возрастает и становится особенно высокой на обыкновенном черноземе Воронежской и на темно-серой и серой лесной почвах Орловской и Горьковской областей; прибавка урожая достигает 5 ц/га и более. Однако там, начиная с южного чернозема Ростовской и кончая серой лесной почвой Горьковской областей, некоторое преимущество остается за прикорневым способом внесения азотных удобрений.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТУКОСМЕСЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Многообразие почвенно-климатических и агроэкономических условий сельскохозяйственного производства нашей страны вызывает необходимость развития местного тукосмешения. Практика показала, что при использовании тукосмесей сокращаются расходы на внесение удобрений при одинаковой эффективности с раздельным внесением. По данным Кубанского СХИ (Симакин и др., 1977), в 1971—1975 гг. использование тукосмесей позволило сократить затраты на подготовку и внесение удобрений в расчете на 1 га пашни с 6,5 до 2,9 руб.

Научно-исследовательскими учреждениями страны (ВИУА, НИУИФ, ВНИПИагрохим, Кубанский СХИ и др.) выполнены разносторонние исследования по изучению агрохимических особенностей тукосмесей различного состава, а также по многим технологическим аспектам их приготовления.

В ряде районов страны накоплен практический опыт организации тукосмешения как на прирельсовых складах, так и непосредственно в хозяйствах. При складе Старожиловского отделения «Союзсельхозхимии» Рязанской области построена установка с сезонной производительностью 5 тыс. т удобрений. В производственных испытаниях установка выпускала за 1 ч сменной работы 10—12 т смесей при себестоимости смешивания 1,9 руб/т.

Заслуживает внимания организация тукосмешения в Краснодарском крае по разработанной Кубанским СХИ технологии подготовки тукосмесей непосредственно на складах агрохимцентров и хозяйств. Основными звеньями технологии являются тукосмесительные установки и специальные машины, позволяющие сочетать транспортировку тукосмесей в поле и их внесение. Эта технология позволяет полностью механизировать все операции, связанные с подготовкой и внесением смесей, вследствие чего хозяйства, применяющие 3—5 тыс. т туков, экономят 15—25 тыс. руб. и почти полностью гарантировано устранение потерь удобрений.

Примеры неплохой организации работ по тукосмешению имеются и в Московской области. Большую часть удобрений в хозяйствах обслуживаемой зоны вносит в виде тукосмесей Истринский агрохимцентр. Так, в 1978 г. в виде тукосмесей там внесено более 3 тыс. т удобрений. В том же году в совхозе «Искра» Солнечногорского района минеральные удобрения в виде тукосмесей были внесены на площади 1150 га. Это позволило увеличить производительность труда на внесении туков в 1,6 раза и сэкономить более 3,5 тыс. руб.

Однако, несмотря на имеющиеся теоретические разработки и успешный опыт их практического осуществления, местное туко-смешение в стране развивается все еще крайне недостаточно. Серьезным тормозом в организации тукосмешения является отсутствие необходимой материально-технической базы для приемки, хранения, смешивания и внесения удобрений в почву. За последние годы в колхозах, совхозах и объединениях «Союзсельхозхимия» для хранения удобрений построено складов на 636 тыс. т, а поставки их за это время возросли на 2586 тыс. т. Например, за три года десятой пятилетки поставка минеральных удобрений колхозам и совхозам Тульской области увеличилась более чем на 100 тыс. т в год, Рязанской области — на 147 тыс. т, а складов построено в Тульской области только на 7 тыс. т, а в Рязанской на 10,5 тыс. т.

В нашей стране действующие стандарты на поставляемые сельскому хозяйству минеральные удобрения гарантируют сохранность последними стабильного состояния в течение не менее 6 месяцев. Однако это возможно только при правильной организации хранения. Существующая организация применения минеральных удобрений предусматривает два типа складов, включая прирельсовые (пристанские) и глубинные хранилища. Прирельсовые склады работают с большим грузооборотом и рассчитаны на кратковременное хранение удобрений, выполняя роль перевалочных баз. Глубинные склады колхозов, совхозов, межхозяйственные склады и пункты химизации являются основным местом хранения и подготовки удобрений к внесению.

Неблагоприятные условия хранения удобрений в связи с недостаточной обеспеченностью хозяйств специализированными складами оказывают отрицательное влияние на их качество: теряются питательные вещества, удобрения становятся непригодными к смешиванию. Широкому развитию тукосмешения препятствует также недостаточная обеспеченность хозяйств современными тукосмесительными агрегатами.

Отечественная и зарубежная практика свидетельствуют о перспективности создания агрохимических центров в районах и пунктах химизации в хозяйствах. Оснащенные складами и современной техникой для подготовки, смешивания и внесения удобрений и других средств химизации пункты химизации призваны осуществлять квалифицированный контроль над поступлением и эффективным использованием удобрений.

Смешивание удобрений может быть осуществлено смесителями СЗУ-20 и УТС-30, к серийному выпуску которых приступила отечественная промышленность. Для складов вместимостью до 2 тыс. т предпочтительнее смеситель-загрузчик удобрений СЗУ-20 как более экономичный. С увеличением вместимости складов свыше 2 тыс. т для приготовления тукосмесей рациональнее использовать стационарный смеситель удобрений УТС-30 (Вахрамеев, 1980). По агротехническим требованиям неравномерность смеси-

вания удобрений не должна превышать  $\pm 10\%$ , а сыпучесть и рас-севаемость тукосмесей должны быть не ниже, чем у исходного компонента.

Важным фактором развития тукосмещения является улучшение физико-механических и физико-химических свойств минеральных удобрений.

#### ПРАВИЛА СМЕШИВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Тукосмеси должны быть сыпучими и однородными по своему составу. В процессе приготовления, транспортировки, внесения, а также хранения тукосмесей не должно быть потерь питательных веществ и их превращения в менее усвояемые растениями формы. Поэтому при смешивании туков нужно правильно подходить к выбору односторонних удобрений, учитывая их взаимодействие и смесимость между собой. Нельзя смешивать удобрения, если они при этом теряют питательные вещества или превращаются в плохую по физическим свойствам массу, не поддающуюся механизированному внесению.

Ввиду высокой гигроскопичности получающейся смеси не следует смешивать между собой, а также включать одновременно в смесь аммиачную селитру и мочевины. Нельзя смешивать аммиачные формы азотных удобрений (аммиачную селитру, сульфат аммония, фосфаты аммония — аммофос, диаммофос) с удобрениями, обладающими активными щелочными свойствами (например, с фосфатшлаками, термофосфатами, цианамидом кальция, цементной пылью, содержащей калий в карбонатной форме, поташом) во избежание потерь азота в виде аммиака.

Большое влияние на качество смесей оказывает содержание влаги в исходных удобрениях, так как от этого в значительной мере зависит скорость химических реакций между составляющими смесь компонентами. Однако следует отметить, что предусмотренная действующими стандартами влажность для некоторых видов удобрений не всегда обеспечивает получение на их основе тукосмесей с устойчивыми физическими свойствами. Например, исследования ВИУА показали, что смесь мочевины с двойным суперфосфатом (и хлористым калием) обладает удовлетворительными физическими свойствами только при использовании для ее приготовления подсушенных форм (табл. 73).

Увлажнение указанной смеси происходит вследствие химического взаимодействия мочевины с монокальцийфосфатом и вытеснения в свободное состояние кристаллизационной воды. Как видно из данных таблицы, подсушивание исходных компонентов позволило снизить количество выделившейся воды при  $4^{\circ}\text{C}$  в 1,3, а при  $35^{\circ}\text{C}$  в 9 раз по сравнению со смесью, приготовленной из удобрений стандартной влажности.

Следовательно, при смешивании подсушенных удобрений с содержанием влаги ниже предусмотренного стандартом уровня ис-

**73. Максимальное количество выделившейся в свободное состояние кристаллизационной воды при различных температурных условиях хранения тукосмесей**

Исходное содержание влаги (в %)		Количество кристаллизационной воды, высвободившейся в свободное состояние (в г на 1 кг смеси) при температуре		
в односторонних удобрениях	в тукомесях	4°C	18,1—23,5 °C	35°C
Стандарт	0,8	18,0	12,2	64,7
Ниже стандарта*	0,4	13,5	8,0	7,2

\* Содержание влаги в удобрениях составляло: в мочеvine 0,15%, в двойном суперфосфате 3,05%, в хлористом калии 0,3%.

ходные компоненты становятся химически малоактивными, вследствие чего отмечается незначительное выделение кристаллизационной воды в свободное состояние.

Влажность исходных компонентов оказывает отрицательное влияние и на прочность гранул. Например, в опытах ВИАУ при увеличении влажности простого гранулированного суперфосфата с 1,5 до 2,7% прочность его гранул снизилась вдвое (с 28,2 до 14,2 кгс/см<sup>2</sup>). При увеличении влажности хлористого калия с 0,9 до 1,3% прочность его гранул уменьшилась с 15,4 до 10,3 кгс/см<sup>2</sup>.

В опытах ВНИПИагрохим (1980 г.) гранулы нитрофоски, находившиеся в динамическом режиме, способствующем увлажнению (до 7%) и последующему подсыханию (до 2%), теряли до 40% исходной прочности. Потеря первоначальной прочности гранул отмечена при хранении нитроаммофоски насыпью в течение 6 месяцев. При изменении влажности нитроаммофоски в слое 0—1 см от 0,5 до 9% и затем до 1,3% потеря прочности гранул достигала 80%.

Результаты исследований, проведенных в ВИАУ, показали, что в тукомесях статическая прочность гранул составляющих их компонентов зависит от состава смеси, уровня насыщения атмосферы водяными парами, а также от температуры воздуха окружающей среды. Аммиачная селитра, как правило, сохраняла достаточно удовлетворительные прочностные свойства в смесях с двойным суперфосфатом (и хлористым калием) только при незначительном насыщении атмосферы водяными парами (20—40% относительной влажности воздуха). В смесях с аммофосом вполне удовлетворительные прочностные свойства этого продукта отмечены и при 60%-ной относительной влажности воздуха. При сильном насыщении окружающей среды водяными парами отмечалось снижение статической прочности гранул не только азотного, но и фосфорного компонентов.

Исследования ВИАУ и других учреждений показали, что ухудшение гранулометрического состава удобрений неизбежно вле-



чет за собой снижение рабочей ширины разбрасывателей и повышение неравномерности внесения туков.

Наличие влаги в удобрениях в значительной мере определяет слеживаемость туко-смесей (табл. 74).

Следовательно, для получения сухих малогигроскопичных смесей необходимо использовать высококачественные исходные компоненты, сохраняющие прочность гранул и рассыпчатость в течение не менее 6 месяцев.

Наряду с влажностью большое значение в тукосмешении имеет кислотность или щелочность удобрений. Удобрения, содержащие свободную кислоту или с щелочной реакцией, химически активно взаимодействуют как между собой, так и при смешивании с другими удобрениями.

Из азотных удобрений, как правило, наиболее высокую активность в смесях проявляет мочевины. С повышением температуры воздуха и увеличением концентрации водяных паров в окружающей среде активность мочевины в смесях с другими удобрениями возрастает. Исследования ВИАУ показали, что такое поведение мочевины объясняется тем, что она в отличие от других крупнотоннажных традиционных форм удобрений обладает щелочными свойствами.

Как показали исследования, на качество смесей в значительной мере влияет форма фосфорного компонента. Свойства его и в первую очередь наличие в составе свободной фосфорной кислоты в значительной мере определяют степень устойчивости физических свойств смесей. При смешивании азотных или азотно-калийных удобрений с кислыми формами фосфатов получают смеси, быстро теряющие способность к механизированному внесению.

Исследования ВИАУ и ВНИПИАгрохим показали, что суперфосфаты (простой и двойной), предназначенные для тукосмешения, должны содержать не более 1% свободной фосфорной кислоты (Синдяшкина, 1971; Дубовая, 1975). По данным НИУИФ, этот показатель может быть в пределах 1,5% (Кононов, 1979).

Результаты проведенных исследований, а также практика применения тукосмесей свидетельствуют, что поставляемый в настоящее время сельскому хозяйству двойной суперфосфат практически непригоден для приготовления на его основе азотсодержащих тукосмесей, так как последние быстро теряют устойчивое физическое состояние, особенно при повышенных температуре и влажности окружающей среды (табл. 75).

**74. Слеживаемость тукосмеси в зависимости от влажности исходных компонентов (данные ВНИПИАгрохим)**

Влажность (в %)		Слеживаемость тукосмеси—усилие на раздавливание (в кгс/см <sup>2</sup> )
нитроаммофоса	хлористого калия	
0,85	0,50	—
1,57	0,50	0,48
2,90	0,50	1,28
1,57	1,13	0,93
2,90	1,13	2,26

Примечание. Тукосмеси приготовлены с соотношением питательных веществ 1 : 1 : 1.

75. Содержание влаги в тукосях в зависимости от состава и условий хранения  
(средние данные ВИА за 1976—1980 гг.)

Состав тукося	исходное содержание влаги (%)	Содержание влаги (в %) при температуре									
		4°С				18—23°С				35°С	
		на 5-й день хранения	на 10-й день хранения	на 20-й день хранения	на 5-й день хранения	на 10-й день хранения	на 20-й день хранения	на 3-й день хранения	на 5-й день хранения	на 10-й день хранения	на 20-й день хранения
При 40%-ной относительной влажности воздуха											
Наа+Рсдв+Кх	2,85	2,45	2,80	2,0	3,05	2,78	1,95	—	2,45	2,75	3,85
Наа+Рам+Кх	0,65	0,60	0,80	0,30	0,85	0,50	0,85	—	0,65	0,50	0,85
Нм+Рсдв+Кх	2,20	1,15	1,90	0,60	1,85	1,35	1,10	—	2,0	3,20	6,40
Нм+Рам+Кх	0,85	0,30	0,85	0	0,3	0,4	0,3	—	0,5	0	0,80
При 60%-ной относительной влажности воздуха											
Наа+Рсдв+Кх	2,52	2,75	1,95	4,0	2,95	2,49	4,48	7,60	3,80	4,78	11,05
Наа+Рам+Кх	0,59	0,75	0,45	0,75	0,6	0,53	0,52	0,85	0,75	0,78	1,50
Нм+Рсдв+Кх	1,26	—	1,15	1,35	1,6	2,29	4,34	6,85	1,20	6,0	9,05
Нм+Рам+Кх	0,32	0,42	0,32	0,12	0,3	0,5	0,92	1,4	3,25	2,65	4,30
При 80%-ной относительной влажности воздуха											
Наа+Рсдв+Кх	2,01	3,3	3,48	—	4,2	5,85	8,92	14,9	—	12,3*	20,1
Наа+Рам+Кх	0,55	0,75	0,88	2,35	0,9	1,06	1,35	6,3	3,2	5,60	11,1
Нм+Рсдв+Кх	1,58	2,90	2,60	4,40	2,50	4,13	6,65	8,35	7,1	8,75	14,2
Нм+Рам+Кх	0,52	0,65	0,55	1,45	0,8	2,0	3,35	5,05	3,4	5,2	12,2

\* На 12-й день.

Как видно из приведенных в таблице 75 данных, хорошим компонентом смесей является аммофос, смеси на котором даже при повышенных температуре и влажности значительно менее гигроскопичны, чем на двойном суперфосфате.

В опытах НИУИФ, проведенных в складских условиях, смеси на аммофосе до 10 месяцев сохраняли устойчивое физическое состояние. Благодаря слабой гигроскопичности таких смесей в них отмечается и слабое нарушение прочности гранул исходных компонентов. Даже после десяти месяцев хранения смесей прочность гранул мочевины в них снижалась всего лишь на 11—20%, а аммофоса — на 15—33%.

В перспективе тройные тукосмеси должны производиться на основе аммофоса, который обладает физико-химическими свойствами, удовлетворяющими требованиям тукосмешения и бестарных перевозок. Он хорошо совместим со всеми формами азотных и калийных компонентов тукосмеси. Однако и такие смеси в условиях сильного насыщения воздуха влагой и повышения температуры могут сильно увлажняться. В связи с этим при изготовлении тукосмесей необходимо учитывать складывающиеся погодные условия (температуру и влажность воздуха), в значительной мере определяющие их сыпучесть.

Основным калийным компонентом смесей является хлористый калий. Для некоторых культур, чувствительных к хлору (картофель, табак, виноград и др.), рекомендуется применять бесхлорные калийные формы. Опытами ВИАУ установлено, что смеси с хлористым калием более гигроскопичны, чем с сернокислым или калийной селитрой (табл. 76). Некоторые авторы объясняют это образованием  $\text{CaCl}_2$  более гигроскопичного продукта, чем мочевины. Наличие в составе смеси хлористого калия иногда приводит к потерям азота. В исследованиях ВИАУ в смесях мочевины с суперфосфатом и хлористым калием отмечались потери азота, достигавшие 1,18—1,35%, или 9,7—11,1% первоначального содержания.

Результаты исследований показали, что качество тукосмесей в значительной мере определяется соотношением в их составе питательных веществ. Смеси с преобладанием фосфора и калия (или одного из этих элементов) над азотом, как правило, более сухие и сыпучие, чем смеси аналогичного состава с выравненным соотношением питательных веществ или с преобладанием азота над фосфором и калием.

76. Поглощение влаги тукосмесями в зависимости от формы калийного компонента

Состав смеси	Содержание влаги (в % абсолютно сухого вещества)	
	в день приготовления	после трех месяцев хранения
$\text{Nm} + \text{Pcgr} + \text{Kx}$	2,3	4,0
$\text{Nm} + \text{Pcgr} + \text{Kc}$	1,3	1,6
$\text{Nm} + \text{Pcgr} + \text{Nck}$	2,2	3,2

Примечание. Смеси готовили с соотношением питательных веществ 1:1:1 и хранили при 60%-ной относительной влажности воздуха.

В опытах ВИУА смесь, составленная из аммиачной селитры, суперфосфата и хлористого калия с соотношением питательных веществ 1:1:1, после 60 дней хранения содержала 8,4% влаги, а такая же смесь, но с соотношением питательных веществ 1:1,5:1,5—5,5% влаги; она меньше слеживалась и лучше рассевалась.

Тукосмеси с нужным соотношением питательных веществ применительно к конкретным условиям хозяйств и возделываемой культуре можно готовить и на основе тройных (NPK) марок сложных удобрений (нитрофоска, нитроаммофоска), так как представленное в них соотношение питательных веществ (1:1:1) не всегда удовлетворяет конкретным требованиям хозяйства.

В условиях Нечерноземной зоны, где под зябь вносят преимущественно фосфорно-калийные удобрения, такие смеси можно приготовить из простого или двойного гранулированного суперфосфата и крупнозернистого хлористого калия. Порошковидный суперфосфат целесообразно смешивать с мелкокристаллическим хлористым калием. Особого внимания заслуживают смеси с фосфоритной мукой. Эффективность смесей, приготовленных на суперфосфате и фосфоритной муке в соотношении 1:1 и внесенных в занятом пару или под зябь на кислых дерново-подзолистых почвах и выщелоченных черноземах, не уступает эффективности смесей, приготовленных на чистом суперфосфате. Это позволяет увеличить ресурсы усвояемых фосфатов для земледелия. Для кислых почв целесообразно готовить смесь калийных удобрений с фосфоритной мукой.

Если под вспашку необходимо внести азотное и фосфорное удобрения, можно готовить удобрительную смесь из аммиачной селитры и фосфоритной муки. Такая смесь не слеживается и сохраняет сыпучесть продолжительное время. Содержание лимонно-растворимой  $P_2O_5$  в удобрении повышается в 1,5 раза. В одном из опытов, проведенных в США, также установлено, что присутствие  $NH_4NO_3$  и  $KCl$  способствует повышению растворимости  $P_2O_5$  фосфоритной муки.

В опытах НИУИФ для предотвращения распыляемости фосфоритной муки была использована повышенная гигроскопичность смеси аммиачной селитры с мочевиной. При добавлении к фосфоритной муке 10% смеси указанных азотных удобрений отмечалось резкое снижение распыляемости фосфоритной муки при сохранении стабильной работы разбрасывателя.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что, хотя в настоящее время имеются определенные успехи в повышении качества минеральных удобрений и в целом качество отечественных минеральных удобрений не уступает мировым стандартам, они еще не в полной мере удовлетворяют требованиям сельского хозяйства в отношении их пригодности к тукосмешению. Азотные удобрения и в первую очередь аммиачная селитра и карбамид не всегда характеризуются удовлетворительной статической прочностью гранул.

Не может в полной мере удовлетворить сельское хозяйство как компонент тукосмесей и хлористый калий, поставляемый в основном в мелкокристаллической форме. Его можно смешивать лишь с фосфоритной мукой или порошковидным суперфосфатом. Мероприятия по улучшению качества калийных удобрений должны быть направлены на увеличение объема производства хлористого калия в гранулированном и крупнозернистом виде:

#### СЕГРЕГАЦИЯ ТУКОСМЕСЕЙ И РАВНОМЕРНОСТЬ ИХ ВНЕСЕНИЯ В ПОЧВУ

Одно из важных условий успешного применения тукосмесей — сохранение однородности их состава на всех этапах подготовки, транспортировки, погрузочно-разгрузочных работ и внесения. Как показали исследования ВИУА (Сендряков, Главацкий, 1970), получение высококачественных тукосмесей возможно лишь при использовании выравненных по гранулометрическому составу исходных компонентов. Из компонентов с различным размером частиц не удается получить смеси удовлетворительного качества независимо от продолжительности процесса перемешивания. Например, при смешивании мелкокристаллического хлористого калия с фракцией нитрофоски 2—3 мм неравномерность смешивания составляла 16%, с фракцией 4—4,5 мм она удвоилась и достигла 33%. В смесях, составленных из фракций 1—2 и 2—3 мм с фракцией 4—4,5 мм, неравномерность достигала соответственно 30 и 24%.

Качество тукосмесей зависит также от соотношения в самом компоненте различных фракций. Например, нитрофоска и аммиачная селитра, несмотря на одинаковые предельные (максимальные и минимальные) размеры частиц (1—3 мм), при смешивании не давали качественных тукосмесей, так как содержание фракции 1—2 мм в нитрофоске составляло 21%, а в аммиачной селитре — 88%.

В ВНИПИАгрохим (Глезер, Дубовая, 1975) в зависимости от гранулометрического состава исследована сегрегация при насыпании конусов на отдельных этапах переработки смесей (загрузка в вагон, склад, автомашину и т. д.). Результаты опытов показали, что в смесях более равномерно распределяются гранулы размером 2—3 мм и очень неравномерно — частицы менее 1 мм и более 3 мм (табл. 77).

Результаты этих исследований показали, что, кроме размера гранул, на сегрегацию тукосмесей оказывает влияние содержание отдельных фракций. В смесях удобрений с размерами гранул 1—3 мм наименьшая сегрегация наблюдается при содержании 50—60% гранул фракции —3, +2 мм (табл. 78).

В НИУИФ (Малonosов и др., 1971) исследовали сегрегацию тукосмесей при образовании конусов естественного осыпания и непосредственно после смешивания. В пробах тукосмеси марки 15:

# 77. Неравномерность распределения гранул тукосмесей при образовании конусов

Тукосмеси		Размеры гранул (в мм)							
		-4, +3		-3, +2		-2, +1		-1	
		x	u	x	u	x	u	x	u
Naa+Pcdв+Kx	крупнозернистый	20,9	40,7	21,1	16,5	48,8	29,6	9,2	53,9
Nm+Pcгр+Kx	»	39,9	37,4	27,8	14,9	27,2	33,6	5,0	52,6
Naa+Pcdв+Kx	прессованный	22,3	34,4	31,9	21,0	42,3	21,4	3,8	108,1
Naa+Pcdв+Kx	»	22,9	54,5	28,6	13,7	41,9	33,7	6,4	102,5
Pcгр+Kx	крупнозернистый	28,4	17,2	26,3	9,2	35,5	13,8	10,1	25,6
Нитроаммофос+Kx	»	6,4	20,5	13,8	11,7	69,1	7,9	10,4	68,9
Среднее		—	34,1	—	14,5	—	23,3	—	68,6

Примечание. x — среднеарифметическое содержание гранул в смеси (в %); u — неравномерность (в %).

: 15:15, отобранных по высоте конуса, соотношение питательных элементов изменилось от 1,07—0,78—1,15 до 0,64—2,20—0,64.

Выравненность гранулометрического состава оказывает существенное влияние и на качество внесения удобрений. Так, в полевых опытах НИУИФ (Останин, 1973) при изучении эффективности рядкового внесения двойного суперфосфата установлено, что удобрение наиболее эффективно, когда размер гранул составлял 1—3 мм. При увеличении размера гранул до 3—4 мм эффективность суперфосфата снижалась. Выравненность гранулометрического состава имеет еще большее значение при внесении тукосмесей, так как в этом случае сегрегация отдельных компонентов может привести к созданию очаговости питания отдельными элементами.

В опытах Э. Ф. Филиппова (ВИУА), проведенных с использованием разбрасывателя РУМ-3 при внесении смеси NPK в соотношении питательных веществ 1:1:1 (по массе аммиачной селитры 35%, суперфосфата 50%, калия хлористого 15%), в полосе 6—9 м от оси машины было найдено 2—21% аммиачной селитры, а в полосе 3—5 м — 52—56% этого удобрения.

При внесении удобрений центробежными разбрасывателями отмечается неравномерное распределение их по полю и вследствие этого недобор урожая. Исследованиями ЦИНАО установлено, что неравномерность внесе-

## 78. Сегрегация тукосмесей в зависимости от гранулометрического состава удобрений (Глезер, Дубовая, 1975)

Содержание гранул (в %) размером (в мм)		Неоднородность смесей (в %)
-3, +2	-2, +1	
10	90	29,6
20	80	26,0
30	70	24,8
40	60	23,0
50	50	5,9
60	40	13,6

ния удобрений центробежными разбрасывателями составляет 50—75% (допустимый же действующими агротребованиями показатель неравномерности внесения не должен превышать 25%). Неравномерность внесения снижает эффективность действия удобрений на 13% и более, ведет к пестроте почвенного плодородия и полеганию части посевов, что ухудшает качество урожая и затрудняет уборку.

Для разбрасывателей минеральных удобрений с центробежными рабочими органами рабочей шириной захвата считают ту, при которой неравномерность распределения удобрений по поверхности почвы не превышает заданной агротребованиями ( $\pm 25\%$ ). Она зависит прежде всего от гранулометрического состава туков. Удобрения с крупными гранулами (суперфосфат и сложные) распределяются с указанной неравномерностью при ширине захвата до 10 м, по аммиачной селитре с гранулами размером 1—2 мм неравномерность не превышает 25% при рабочем захвате 5—7 м, а для мелкокристаллического хлористого калия она достигается лишь при 4—5 м (Вахрамеев, 1980).

Установлено, что для центробежных разбрасывателей кривые распределения компонентов смеси почти совпадают с кривыми распределения их в отдельности. Поэтому рабочая ширина разбрасывания тукосмеси должна быть близкой к рабочей ширине рассеивания компонента, имеющего наименьшую дальность полета частиц.

На качество рассева тукосмесей оказывает влияние и фракционный состав исходных компонентов (Сендряков, Главацкий, 1970). При полной выравненности исходных компонентов смеси по содержанию отдельных фракций, а также в тех случаях, когда средние размеры частиц смешиваемых фракций не превышают 1 мм, оба компонента распределяются по поверхности почвы с требуемой равномерностью при достаточно большой ширине захвата машины (около 10 м). При разбрасывании смеси двух фракций с разницей среднего размера частиц больше 2 мм ширина рабочего захвата снижалась на 16—27% по сравнению с внесением выравненных компонентов. Некоторое снижение наибольшей ширины рабочего захвата происходило и в том случае, если удобрения, например прессованный сульфат аммония и гранулированный суперфосфат, были выравнены по предельным размерам частиц (1—4 мм), но отличались по содержанию отдельных фракций. Поэтому важно, чтобы химическая промышленность выпускала удобрения с выравненным гранулометрическим составом (не менее 90% гранул размером 1—3 мм).

Успешное тукосмешение возможно только при правильном хранении минеральных удобрений, обеспечивающем устойчивость туков к химическому взаимодействию, а также к разрушению гранул при длительном хранении и воздействию рабочих органов машин. Особенно нежелательны крупные комки в концентрированных удобрениях. Они ухудшают работу туковысевающих машин

и аппаратов. Однако чрезмерное распыление удобрений также недопустимо. Измельченная до мелкокристаллического состояния аммиачная селитра приобретает высокую поверхностную активность и становится непригодной для смешивания с суперфосфатом.

Хранят удобрения в специальных складах с водонепроницаемым полом. Каждый вид удобрений хранят в отдельных отсеках, образуемых переносными деревянными щитами. Затаренные и незатаренные удобрения хранят отдельно. Затаренные удобрения размещают на поддонах, соблюдая осторожность при штабелировании для обеспечения сохранности мешков. При разрыве мешков удобрения следует немедленно перезатарить. Потери при хранении удобрений происходят вследствие прилипания их к полу, стенам склада, мешкотаре, просыпания при разрыве мешков, попадания на удобрения осадков. Кроме того, удобрения растаскиваются колесами машин, погрузчиков, выдуваются ветром при погрузочно-разгрузочных работах. Лучше всего удобрения хранить в типовых хранилищах. Расчеты показывают, что капиталовложения на строительство складов окупаются за 2—3 года. Опыты, проведенные в Воронежской области, показали, что потери незатаренных удобрений за 6 месяцев хранения в типовом складе составили 0,7—1%, в приспособленном помещении — 1,4—1,5%, на необорудованной площадке — до 15%.

Для полной сохранности удобрений в складах необходимо создать микроклимат, исключающий сквозняки и приток влажного воздуха. Относительная влажность воздуха в складе должна быть всегда ниже критической относительной влажности наиболее гигроскопичных удобрений (азотных и сложных). В сухие дни помещение проветривают, а в сырую погоду закрывают двери и окна. Не допускается передвижение в складе погрузочно-разгрузочных машин по рассыпаным минеральным удобрениям. Чтобы удобрения не слеживались, их складывают в определенном порядке. Удобрения, хранящиеся навалом (каждое в своем отсеке), сгребают в кучи; у стенок и передвижных щитов их засыпают слоем не выше 1,5 м. Согласно «Рекомендациям по снижению потерь и повышению эффективности использования минеральных удобрений» (М., «Колос», 1978), высота насыпей незатаренных удобрений в прирельсовых складах допускается до 10 м, а на перспективу (при улучшении качества минеральных удобрений) — до 15 м. Высота штабелей затаренных удобрений (кроме аммиачной и других селитр) на плоских поддонах — три яруса по пять рядов мешков на каждом поддоне, на стоечных поддонах — согласно технологии, предусмотренной в типовом проекте склада. Все работы с аммиачной и другими селитрами рекомендуется проводить в соответствии с действующей инструкцией.\* Удобрения снабжают эти-

---

\* Инструкция по транспортированию, погрузочно-разгрузочным работам и хранению аммиачной селитры на складах системы, М., «Сельхозтехника», 1969.



кетками с указанием наименования и содержания в них питательных веществ и влаги.

Нельзя хранить удобрения в одном помещении с сельскохозяйственными машинами. Для работы с удобрениями следует иметь защитные очки, резиновые перчатки или рукавицы и резиновую обувь. При смешивании туков необходимо принимать меры предосторожности от выделяющихся газов.

Аммиачная, калийная и натриевая селитры взрывоопасны, поэтому при работе с ними надо соблюдать противопожарные правила. Возникший пожар следует тушить только водой, пользуясь противопогазом.

Результаты обследования условий хранения удобрений в колхозах и совхозах Московской области показали, что размер потерь различных видов удобрений при транспортировке, хранении и внесении в почву достигает 15—20% туков (Гладкова, 1978). Обеспечив сохранность минеральных удобрений, можно ежегодно собирать дополнительно 4—4,5 млн. т зерна (Кондратенко и др., 1979).

#### ТУКОСМЕШЕНИЕ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

В высокоразвитых странах уже несколько десятилетий применяют смешанные удобрения. Особенно широко производят и используют эти удобрения в США, Канаде. Значительная часть смешанных удобрений США приходится на гранулированные сухие тукосмеси, так как рассчитано, что на приготовление таких удобрений требуется наименьшее количество энергии (Davic et al., 1977). Метод сухого механического смешивания гранулированных удобрений (система «балк-блендинг») получил широкое распространение в США, начиная с 50-х годов.

Тукосмешение осуществляют на небольших заводах со средней производительностью 2—3 тыс. т тукосмесей в год. Значительно меньше заводов с производительностью до 10 тыс. т тукосмесей в год. В 1965 г. в США действовало 2,5 тыс. заводов, производящих тукосмеси по системе «балк-блендинг», в 1972 г. их стало уже более 5 тыс. Число таких заводов продолжает расти. Смеси, как правило, не хранят. Владелец тукосмесительного завода выступает как продавец удобрений и организует их доставку на фермы и внесение на поля. Таким образом, тукосмесительный завод выполняет четыре операции: хранение удобрений, тукосмешение, доставку удобрений и их рассев. Кроме того, значительно экономятся средства на относительно дорогой таре. Поэтому объем тукосмешения по системе «балк-блендинг» непрерывно растет.

Заводы смешанных удобрений различаются между собой по размерам, сложности и способам производства. Но все они расположены между предприятиями, поставляющими основное сырье для производства тукосмесей, и районами потребления смешанных удобрений. Радиус обслуживания 14—30 км.

## 79. Применение минеральных удобрений в США (в тыс. т питательных веществ)

Год	Основные питательные элементы (N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O) в односторонних удобрениях	Микроэлементы и второстепенные питательные вещества	Смешанные удобрения	Всего удобрений	Смешанные (в % от всех удобрений)
1975	20,0	1,9	20,6	42,5	48,6
1976	23,9	2,3	23,0	49,2	46,7
1977	25,0	2,5	24,1	51,6	46,7
1978	23,5	1,9	22,1	47,5	46,6
1979	25,3	2,1	23,6	51,0	46,3

На большинстве заводов используют смесители барабанного типа. Компоненты смешивают путем медленного вращения барабана в течение 1—5 мин., емкость барабана 0,5—2,5 т. Внутри барабана на его оси имеются ножи, разбивающие смесь и осуществляющие дополнительное перемешивание.

Применяют и шнековые смесители. Они состоят из нескольких саморазгружающихся вагонеток, установленных на весах (для взвешивания каждого компонента). Компоненты из вагонеток поступают в бункер, а затем в шнековый смеситель, по которому смесь отгружается в грузовик.

Основным фактором, обуславливающим широкое применение бестарной перевозки тукосмесей, является производство односторонних и смешанных удобрений с хорошими физико-химическими и физико-механическими свойствами (неслеживаемость, высокая прочность гранул, повышенное содержание питательных веществ).

В 1975—1979 гг. в США на долю смешанных удобрений приходилось около 49—46% всех применяемых удобрений (табл. 79).

Смешанные удобрения по составу распределялись следующим образом (табл. 80).

Смешанные удобрения в США очень разнообразны по своему составу. Наибольшее распространение получили 150 различных смесей, на долю которых приходилось: в 1978 г. — 78,5%; в 1979 г. — 78,6% общего объема смешанных удобрений. Среди 150 марок смешанных удобрений довольно большой удельный вес занимает марка с выравненным соотношением питательных веществ (1:1:1). На долю таких удобрений приходилось: в 1978 г. —

## 80. Состав смешанных удобрений

Состав смеси	1978 г.		1979 г.	
	в тыс. т питательных веществ	в %	в тыс. т питательных веществ	в %
НРК	15 518,7	70,2	16 224,6	68,6
NP	4 700,7	21,3	5 262,2	22,3
NK	482,5	2,2	516,4	2,2
PK	1 408,0	6,4	1 635,6	6,9
Всего	22 109,9	100	23 638,8	100

13,6%, в 1979 г. — 13%. Смеси с пониженным или повышенным содержанием азота в 1978 г. составляли 14%, в 1979 г. — 15,9%. В эти же годы удельный вес удобрений с преобладанием фосфора над азотом и калием составил 2,7—2,6%, а с пониженным содержанием фосфора — всего лишь 0,42—0,43%.

В Канаде в 1975—1976 гг. из общего количества комплексных удобрений в объеме 832 тыс. т NPK на долю смешанных приходилось 405 тыс. т, или 48,7%.

В отличие от США и Канады в ряде стран Европы, например в ФРГ, основным направлением в производстве комплексных удобрений является производство сложных удобрений, тукосмешение же имеет подчиненное значение. В 1976 г. в этой стране при общем потреблении комплексных удобрений 1613 тыс. т NPK на сложные приходилось 1030 тыс. т (63,9%), а на смешанные — только 583 тыс. т (36,1%). Во Франции в 1978 г. из общего количества комплексных удобрений в объеме 3288 тыс. т NPK на смешанные приходилось 1176 тыс. т (35,8%).

Тукосмеси находят применение и в ряде стран Азии. В Индии за период с 1972 по 1976 г. (Унанянц, 1977) применение смешанных удобрений увеличилось со 163 тыс. до 271,3 тыс. т питательных веществ.

В настоящее время весьма успешно ведутся исследования по изучению системы «балк-блендинг» в Польской Народной Республике. Разработаны проекты установок по смешиванию удобрений, предназначенных для крупных государственных сельских хозяйств и сельскохозяйственных комбинатов площадью около 5 тыс. га и для агрохимических центров, обслуживающих площади до 20—30 тыс. га. На основании проведенных исследований установлено, что стоимость 1 т NPK в форме тукосмесей на 10—15% дешевле, чем соответствующее количество NPK, внесенного в форме сложных удобрений. По-видимому, на эти показатели оказывает влияние значительно более высокая стоимость сложных удобрений по сравнению с односторонними туками.

В ГДР значительный объем работ, связанных с транспортировкой, хранением, подготовкой и внесением удобрений, послужил одной из причин создания специализированной агрохимической службы, материальную и производственную основу которой составляют агрохимические центры (АХЦ). В них имеются склады минеральных удобрений, гаражи и стоянки для техники, в ряде случаев ангары для самолетов, небольшие ремонтные мастерские и пр. В распоряжении АХЦ имеются современные самоходные тукооразбрасыватели и сельскохозяйственная авиация. В среднем каждый АХЦ обслуживает площадь 20—25 тыс. га сельскохозяйственных угодий (в зависимости от конкретных условий она колеблется от 10 до 40 тыс. га). Средний радиус доставки удобрений от склада до поля составляет примерно 10—15 км. Сухие фосфорно-калийные тукосмеси готовят внутри склада, азотные удобрения вносят отдельно.

Для тукосмешения используют изготовленные на местах смесители с объемным дозированием компонентов на базе сменных кузовов разбрасывателей Д-032. Удобрения в смеситель загружают фронтальным погрузчиком. Один из серьезных вопросов, возникающих при изготовлении смешанных удобрений по системе «балк-блендинг», заключается в расслоении туков по размерам составляющих частиц, что приводит к неоднородности состава по содержанию питательных веществ.

Исследования, проведенные в США, показали, что самые большие различия в удельном весе и форме гранул меньше влияют на сегрегацию, чем размер частиц. Получение высококачественных, однородных по гранулометрическому и химическому составу тукосмесей возможно только при использовании компонентов, близких по гранулометрическому составу. Поэтому на туко-смесительных заводах США исходные компоненты предварительно просеивают и используют для приготовления смесей гранулы размером 0,83—3,33 мм. Гранул, отклоняющихся от стандартизированного гранулометрического состава, должно быть не более 10% (Achohn et al., 1976; Mc Vickar, 1978).

Результаты исследований, проведенных в Индии, подтверждают необходимость использования удобрений с выравненным гранулометрическим составом при изготовлении гранулированных смесей (Panwar K. S. et al., 1972).

Исследовательский центр администрации долины Теннесси (TVA) изучал вопросы расслоения смешанных удобрений при их бестарной перевозке и перегрузке. Установлено, что низкоконцентрированные смеси, содержащие около 10% действующих веществ, практически не изменяют состав при сегрегации, а удобрительные смеси с содержанием более 20% резко изменяют его. Даже небольшие различия в размере частиц исходных компонентов могут привести к сильной сегрегации тукосмесей. В связи с этим для предотвращения расслоения удобрительных смесей желательно составлять их из гранулированных удобрений, имеющих одинаковый гранулометрический состав (удельный вес и форму гранул). При настоящем уровне производства удобрений это практически невыполнимо. Поэтому исследовательский центр TVA в перегрузочных и накопительных бункерах, где идет основное расслоение удобрений, предложил устанавливать разделители квадратного сечения 30×30 см, которые всю площадь бункера в его средней части разбивают на отдельные секторы и позволяют избежать образование конуса. Введение разделителей в бункере с четырехскатным дном при уклоне дна 45° снизило колебание концентрации каждого отдельного элемента до  $\pm 0,5$ —1%.

Исследованиями Института агротехники в Бонне (Balg J. und et al., 1979) установлено, что при содержании в тукосмесях 32,2% частиц менее 2 мм максимальное отклонение от исходного гранулометрического состава превышает 100%, а при 2,8% мелких частиц составляет только 35%. Чем выше скорость подачи удобре-

ний в кучи, тем меньше расслоение тукосмесей; при замедленной скорости она увеличивается на 5—10%. Самое сильное изменение состава наблюдается у основания конуса и на его вершине, поэтому при хранении туков следует избегать ссыпания их конусами. При равномерном передвижении транспортера, подающего удобрения, расслоение тукосмесей значительно снижается. Хранить тукосмеси лучше в хранилищах, имеющих частые разграничительные перегородки; заполнять их надо равномерно при большой скорости подачи удобрений.

Для избежания сегрегации в ФРГ мелкокристаллические калийные удобрения рекомендуют смешивать только с порошковидными (или мелкокристаллическими) азотными и фосфорными. Крупнокристаллические и гранулированные калийные удобрения смешивают с другими видами удобрений с таким же размером гранул (Rodewyk, 1977).

Учитывая механическое воздействие рабочих органов машин на гранулированные смеси при их складировании и транспортировке, необходимо добиваться как можно большей прочности гранул, что обеспечивается трех-четырёхразовой их обработкой при грануляции (Lafon, 1979). Хотя это удорожает удобрения, но окупается равномерностью их распределения.

Наилучшей сохранностью отличаются двойные азотно-фосфорные смеси. Содержание нитратов и хлоридов, приводящее к большой гигроскопичности удобрений, снижает прочность гранул. Повышенная влажность является крайне нежелательным фактором как при хранении, так и при внесении гранулированных смесей, поэтому надо избегать внесения их в сырую погоду, а также длительного хранения насыпью.

Размер и выравненность гранул влияют на равномерность распределения удобрений в поле и тем самым на их эффективность, так как равномерное распределение туков обуславливает высокие прибавки урожая.

В 1975 г. в СССР потери от неравномерного распределения удобрений (40% неравномерности внесения) составляли 406 тыс. т зерновых и 573 тыс. т сахарной свеклы (Тгоjan V., 1979).

В ФРГ установлено, что неравномерность внесения удобрений, в большинстве своем связанная с невыравненным гранулометрическим составом, достигает 30—50%, в результате чего теряется до 12 ц урожая озимой пшеницы с 1 га и значительно снижается урожай сахарной свеклы и ее качество (Kessel, 1978).

Вопросы ослабления сегрегации удобрений при их внесении в отдельных странах решают по-разному. Так, в ГДР считают, что даже однородные смеси при внесении их центробежными разбрасывателями значительно расслаиваются (табл. 81).

В ГДР рекомендуется так называемое прерванное внесение фосфора и калия (один раз в 2—3 года). Этот способ экономичен, начиная с доз от 3—4 ц/га и радиуса транспортировки туков 4 км (Janicke, 1975).

**81. Расслоение фосфорно-калийной смеси (1:1,9) при внесении центробежным разбрасывателем Д-032 (Janicke, 1975)**

Расстояние от центра разброса (в м)	Фактическое соотношение Р:К	Отклонение (в %)
0,5	1:2,1	+11
1	1:2,1	+11
2	1:4,7	+147
3	1:2,7	+42
4	1:0,8	-59
5	1:0,4	-79
6	1:0,2	-89

волакивает гранулу калия (Ruckebauer, 1978). В последнее время в ФРГ для повышения равномерности внесения минеральных удобрений совершенствовали центробежные разбрасыватели, при использовании которых расслоения удобрений почти не происходит (Hoffman, 1979).

Неравномерность распределения удобрений в поле зависит как от качества рассеиваемых удобрений, так и от конструктивных особенностей разбрасывателей. По французским данным (1979 г.), наилучшим составом гранулированных удобрений, обеспечивающим наиболее равномерное их внесение по площади поля, является содержание 80% гранул размером 2,80—3,55 м.

На Небрасской опытной станции (США) разработана программа для ЭВМ с целью определения возможных размеров потерь урожая и экономических потерь вследствие неравномерного распределения удобрений при использовании центробежных разбрасывателей сухих тукосмесей в зависимости от характера распределения удобрений, уровня плодородия почв, дозы удобрений, степени перекрытия полос при внесении удобрения и их месторасположения. Установлено, что потери наиболее велики на почвах с низким содержанием питательных веществ; с увеличением доз удобрений до определенного уровня они возрастают, а выше этого уровня несколько снижаются (Sorensen et al., 1977).

При внесении различными разбрасывателями гранулированных удобрений рабочая ширина рассева составляет 7—13 м, а для мелкокристаллических — 4—6 м (Rodewyk, 1977).

Наряду с пневматическими разбрасывателями для внесения удобрений изучают машины с маятникообразным рабочим органом (Spreelman, 1979). Результаты исследований, проведенных в Нидерландах, показали, что маятникообразные разбрасыватели в отличие от центробежных обеспечивают лучшую равномерность распределения удобрений по ширине захвата при разном размере гранул.

В ФРГ практикуется внесение нескольких питательных элементов за один прием (Heege, 1979; Ruckebauer, 1978). Для внесения порошковидных смесей центробежные разбрасыватели оснащают специальными чехлами, надетыми на раму. Этот прием ограничивает рабочую ширину до 4—6 м. Образование пыли избегают добавлением к каждому 100 кг смеси калия порошковидного и томасшлака 3 л воды. При добавлении воды можно смешивать также гранулированный калий с томасшлаком, который об-

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПО ЗОНАМ СССР

Разнообразие природных условий в нашей стране определяет различную эффективность минеральных удобрений. Средние прибавки урожаев важнейших сельскохозяйственных культур, по данным научно-исследовательских и опытных учреждений и учреждений агрохимслужбы, следующие (табл. 82).

82. Эффективность минеральных удобрений

Культура	Урожай (в ц/га)		Прибавка от NPK (в ц/га)	Оплата 1 ц NPK прибав- кой урожая (в кг)	Доза (в кг/га)				Количество опытов
	без удоб- рений	по NPK			всего	в том числе			
						N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Зерновые	19,3	25,2	5,9	4,1	145	50	60	35	8570
Хлопчатник сред- неволокнистый	23,8	39,7	15,9	3,3	480	245	150	83	333
Лен-долгунец	6,2	8,8	2,6	1,3	205	45	80	80	500
Сахарная свекла	274	378	104	25	410	130	140	140	360
Подсолнечник	19,4	22,3	2,9	2,0	145	50	65	30	390
Картофель	157	223	66	26	260	85	85	90	1670
Овощи	361	543	182	53	345	140	115	90	545
Кукуруза на силос	211	277	66	32	210	75	70	65	637
Однолетние травы (сено)	31,9	44,0	12,1	9,4	130	40	50	40	138
Многолетние »	37,9	56,8	18,9	9,2	205	65	65	75	210
»	19,5	46,5	27,0	11,9	230	95	65	70	395
Сенокосы									

Эти средние показатели эффективности удобрений подвержены значительным колебаниям, подчиняющимся определенным географическим закономерностям.

### ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕЙСТВИЯ УДОБРЕНИЙ

На основании многолетних исследований Почвенного института, НИУИФ, ВИУА районирование территории СССР по эффективности удобрений осуществлялось в крупном зональном плане. Основная часть сельскохозяйственной территории СССР разделена на шесть крупных почвенно-агрохимических зон: зона дерново-подзолистых и подзолистых почв (лесолуговая, или Нечерноземная зона); зона серых лесных почв, оподзоленных и выщелоченных черноземов (лесостепная зона); зона типичных, обыкновенных и южных черноземов (степная черноземная зона); зона каштановых почв (сухостепная зона); зона сероземов, бурых, коричне-

вых и светло-каштановых почв (полупустынная и пустынная зоны); зона красноземов и желтоземов (зона субтропиков).

Ниже рассмотрена эффективность удобрений в зональном плане (за исключением последних двух зон) с конкретизацией применительно к отдельным республикам и природно-экономическим районам. Вместе с тем отметим, что природное разнообразие наблюдается не только в пределах каждой зоны, но и в каждой провинции, округе. Это делает необходимым дальнейшее дифференцированное изучение эффективности удобрений и подразделение территории страны на меньшие почвенно-агрохимические единицы.

Основной географической особенностью зонального действия удобрений является уменьшение их влияния на урожай при переходе из Нечерноземной зоны в лесостепную и далее в черноземную степную и сухостепную. Причина уменьшения действия удобрений в указанном направлении заключается как в изменении климата, ведущего к ухудшению условий влагообеспеченности растений, так и в изменении плодородия почвы. Ведущую роль, на наш взгляд, играет климатический фактор, так как при достаточном обеспечении растений влагой (при орошении) эффективность удобрений значительно возрастает даже в черноземной степи, а тем более в сухостепной и полупустынной зонах.

Климатические условия меняются не только при переходе из одной зоны в другую, но и в пределах каждой зоны с запада на восток. Это налагает свой отпечаток на действие удобрений. Еще в сводке Л. Л. Балашева (1932) указывалось на уменьшение действия удобрений в восточных, более континентальных районах каждой зоны по сравнению с западными. Аналогичный вывод был сделан в ВИУА в результате агрохимического обследования 25 млн. га земель (Баранов, Кореньков, Найдин, 1967). Результаты опытов последних лет подтвердили наличие такой закономерности.

Отзывчивость озимой пшеницы на полное минеральное удобрение в различных агропочвенных районах северной степи УССР заметно отличается, уменьшаясь с запада на восток. Так, по сводке Украинского НИИ почвоведения и агрохимии, при посеве озимой пшеницы на обыкновенных черноземах в 1965—1971 гг. были получены следующие прибавки урожая: в юго-западной степи 11,2 ц/га ( $N_{60}P_{40}K_{40}$ ); в правобережно-днепровской степи 6,3 ц/га ( $N_{40}P_{40}K_{40}$ ); в левобережно-днепровской степи 5,4 ц/га ( $N_{40}P_{60}K_{40}$ ); в северо-заднедонецкой степи 4,9 ц/га ( $N_{60}P_{40}K_{40}$ ).

В лесостепной зоне европейской части РСФСР отмечается некоторое снижение эффективности полного минерального удобрения в восточных районах по сравнению с западными. Так, на выщелоченных черноземах Центрально-Черноземной зоны средняя прибавка урожая зерна яровой пшеницы, по данным 12 опытов различных научно-исследовательских и опытных учреждений, при внесении  $NPK$  по 40 кг/га составила 4,6 ц/га (при урожае на конт-



роле 19,8 ц/га), а на таких же почвах в Поволжье и Предуралье, по данным 31 опыта, — 3,5 ц/га (урожай на контроле 22,2 ц/га).

Наряду с усилением континентальности климата, ведущего, в частности, к ухудшению условий влагообеспеченности растений, в центральных и восточных районах каждой зоны почвы нередко бывают богаче элементами пищи (например, запасами азота в гумусе, калием, а иногда и фосфором), чем в западных. Это также играет определенную роль в снижении действия удобрений с запада на восток.

Таковы самые общие географические закономерности действия удобрений. Однако в силу большого разнообразия природных условий в нашей стране указанные закономерности не проявляются столь отчетливо повсеместно. Наоборот, часто на значительных площадях наблюдаются явно выраженные отклонения от изложенной схемы, связанные с особенностями климата и почв. На этих территориях отмечается своеобразие действия и полного минерального удобрения и в еще большей степени отдельных элементов питания.

К примеру, в РСФСР выделяется такой крупный сельскохозяйственный район, как Кубань. Относится он к Северо-Кавказскому природно-экономическому району, расположен в целом в степной зоне. Тем не менее в значительной части он характеризуется хорошими условиями увлажнения, обусловленными близостью Кавказских гор. В предгорной части распространены выщелоченные черноземы, переходящие в слабовыщелоченные и карбонатные при движении с юга к центру и северу Краснодарского края. На выщелоченных и слабовыщелоченных черноземах эффективность удобрений весьма высока: средняя прибавка урожая озимой пшеницы на выщелоченных черноземах около 10 ц/га (то есть близкая к эффективности в Нечерноземной зоне); на слабовыщелоченных и карбонатных 5—7 ц/га. На выщелоченных черноземах исключительно сильно действует азот, на карбонатных — фосфор в сочетании с небольшим количеством азота.

Азиатская часть страны при ярко выраженной континентальности климата характеризуется также большой неоднородностью почвенно-климатических условий. Считалось, что эффективность удобрений на территории азиатской части уменьшается от Дальнего Востока к Уралу. Исследования последнего десятилетия и там выявили значительные колебания в действии удобрений, связанные с пестротой природных условий.

В общем в азиатской части страны, так же как и в европейской, наблюдается уменьшение действия удобрений при переходе от Нечерноземной зоны к лесостепной и степной (табл. 83).

При рассмотрении действия удобрений на территории азиатской части страны в направлении с запада на восток также можно видеть чередование районов с высокой и невысокой эффективностью удобрений. Так, в пределах лесостепной зоны с серыми лесными почвами и выщелоченными черноземами высокие при-

**83. Эффективность азотных удобрений по зонам Западной Сибири  
(Гамзиков, 1975)**

Почвенно-климатическая зона	Яровая пшеница			Кукуруза (зеленая масса)		
	количество опытов	урожай без удобрений (в ц/га)	прибавка от азота (в ц/га)	количество опытов	урожай без удобрений (в ц/га)	прибавка от азота (в ц/га)
Тайга, подтайга и северная лесостепь	113	16,3	2,6	18	202	64,0
Центральная и южная лесостепь	245	16,2	1,1	55	281	13,2
Степь	104	14,4	0,3	21	211	3,0

бавки урожая яровой пшеницы от полного минерального удобрения в Зауралье сменяются низкими в Западной Сибири, затем снова повышаются в Восточной Сибири, достигая 13,8 ц/га на серых лесных землях (табл. 84).

**84. Действие минеральных удобрений на урожай яровой пшеницы в лесостепной зоне азиатской части СССР (Аникст, 1978)**

Почвы, природно-экономический район	Урожай без удобрений (в ц/га)	Прибавка от удобрений (в ц/га)	Дозы			Число опытов/лет
			N	P	K	
Выщелоченные черноземы, Зауралье	20,2	7,7	60	40	40	31/9
Выщелоченные черноземы, Западная Сибирь	18,0	2,0	40	40	40	17/11
Выщелоченные черноземы, Восточная Сибирь	21,9	6,8	60	40	40	13/8
Серые лесные почвы, Восточная Сибирь	14,5	13,8	60	40	40	12/6

На Дальнем Востоке отзывчивость яровой пшеницы на удобрения достаточно высока: на бурых лесных, лугово-бурых и лугово-черноземовидных почвах прибавка урожая зерна от внесения НРК по 45—60 кг/га составляла 6—9 ц/га.

Рассмотрим теперь подробнее географические закономерности действия отдельных видов удобрений (азотных, фосфорных, калийных), во многом определяющих эффективность полного минерального удобрения.

#### АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Действие азотных удобрений наиболее сильно и устойчиво проявляется в лесолуговой (Нечерноземной) зоне на бедных гумусом дерново-подзолистых и серых лесных почвах в условиях достаточного обеспечения растений влагой (табл. 85, 86).

Как правило, высок эффект действия азотных удобрений и в лесостепной зоне на оподзоленных и выщелоченных черноземах, причем действие туков увеличивается по мере возрастания степени выщелоченности почв.

**85. Действие минеральных удобрений на урожай озимой пшеницы**  
(по данным опытов Географической сети ВИУА за 1965—1978 гг.,  
обобщенных М. М. Ивлевым и Е. А. Зверевой)

Район, почва	Урожай без удоб- рений (в ц/га)	Прибавка урожая (в ц/га) на фоне парных сочетаний элементов питания от внесения удобрений			Доза NPK	Число опытов
		азот- ных	фос- форных	калий- ных		

**Нечерноземная зона**

Прибалтийские республики, дерново-подзолистые и глее- вые	28,6	6,8	2,7	2,4	80—65—60	40
Белорусская ССР, дерново- подзолистые	19,4	8,0	2,5	1,5	65—65—50	39
Украинская ССР, дерново-под- золистые и серые лесные По- лесья	27,1	6,0	3,0	3,2	60—55—45	30

**Лесостепная зона**

РСФСР, Северный Кавказ, чер- ноземы выщелоченные	36,7	5,4	3,8	1,7	85—60—55	33
РСФСР, ЦЧО, черноземы вы- щелоченные типичные	32,1	5,3	2,3	1,7	60—50—50	39
Украинская ССР, черноземы оподзоленные и мощные вы- щелоченные	31,8	3,2	2,6	1,5	50—50—50	155

**Степная зона**

РСФСР, Северный Кавказ, чер- ноземы карбонатные	31,1	2,4	4,6	0,9	50—60—40	84
РСФСР, Поволжье, черноземы обыкновенные, южные	29,3	0,9	3,8	1,0	40—45—40	17
Украинская ССР, черноземы обыкновенные и южные	32,6	4,0	4,0	1,3	50—60—40	69

**Степная зона (при орошении)**

РСФСР, Северный Кавказ, чер- ноземы предкавказские кар- бонатные	37,4	6,5	9,5	—	90—90—0	10
РСФСР, Поволжье, темно-каш- тановые	28,1	16,2	4,3	—	90—60—0	4
РСФСР, Поволжье, светло- каштановые	32,8	15,0	7,4	—	90—60—0	6
Украинская ССР, черноземы южные	37,1	13,8	0,9	0,1	90—60—60	7

**86. Действие минеральных удобрений на урожай яровой пшеницы**  
(по данным опытов Географической сети ВИУА за 1963—1978 гг.,  
сводка Д. М. Аникст)

Район, почвы	Урожай без удоб- рений (в ц/га)	Прибавка урожая (в ц/га) на фоне парных сочетаний элементов питания от внесения удобре- ний			Доза NPK	Число опытов
		азот- ных	фос- форных	калий- ных		
Нечерноземная зона						
Европейская часть СССР, дер- ново-подзолистые	15,1	8,5	2,2	0,7	65—60—40	30/25
Лесостепная зона						
Европейская часть СССР, чер- ноземы выщелоченные	22,7	3,0	0,8	1,3	60—40—40	45/33
Зауралье, черноземы выщело- ченные	20,0	5,8	3,2	—	60—60—0	32/38
Западная Сибирь, черноземы выщелоченные	16,6	2,0	2,0	0,8	40—40—40	19/33
Восточная Сибирь, черноземы выщелоченные	24,0	6,4	1,7	0,9	60—60—40	11
Степная зона						
Поволжье, черноземы обыкно- венные	21,1	1,3	1,9	0,4	40—60—40	20
Северный Казахстан, чернозе- мы обыкновенные и южные	13	0,5	2,0	—	40—60—0	6/66

Примечание. В числителе число опытов с азотными удобрениями, в знаменателе — с фосфорными.

В степной зоне с увеличением засушливости климата действие азотных удобрений сильно ослабевает и становится неустойчивым. В годы с достаточным увлажнением эффект от азотных удобрений весьма значителен, в годы засушливые отсутствует.

Связь эффективности азотных удобрений с условиями увлажнения отчетливо выявляется в опытах с орошением. В огромном большинстве случаев на разных типах почв степной зоны азотные удобрения в условиях орошения дают высокий устойчивый эффект.

В Нечерноземной зоне, по обобщенным данным опытов Географической сети, каждый килограмм азота при средних оптимальных дозах дает следующие прибавки урожая (в кг/га): зерна озимой ржи, пшеницы и яровых зерновых 8—15, льна-долгунца (волокна) 3,5, картофеля 50—70, силосной кукурузы 70—100.

В пределах зоны по отдельным районам нет значительных колебаний в эффективности азотных туков, эффективны дозы азота от средних до высоких (табл. 87). Так, под зерновые культуры азот целесообразно вносить по 60—90 кг/га, под картофель — 90—

**87. Действие доз азотных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур в Нечерноземной зоне (по данным опытов Географической сети за 1960—1977 гг.)**

Культура	Почва	Урожай (в ц/га)		Прибавка урожая (в ц/га) от доз азота (в кг/га)				Количество опытов
		без удоб- рений	по РК	20—40	60	80—90	120 и более	
Озимая рожь	Дерново-подзо- листая суглини- стая	16,6	18,5	3,8	6,1	—	—	69
		23,8	24,8	—	6,1	6,7	—	16
	Дерново-подзо- листая супесча- ная	16,1	17,3	3,5	5,7	—	—	37
		—	13,4	—	4,8	6,9	—	7
Озимая пшени- ца	Дерново-подзо- листая суглини- стая	23,7	27,0	4,2	7,1	—	—	40
		30,8	34,0	—	6,2	6,6	6,0	17
	Дерново-подзо- листая супесча- ная	21,9	23,9	3,7	6,4	—	—	39
		14,2	15,4	—	6,0	7,5	7,9	7
Ячмень	Дерново-подзо- листая разного механического состава	21,1	22,6	5,2	8,1	8,4	—	19
		—	23,2	—	8,0	8,5	—	27
Овес	То же	—	25,1	5,0	5,8	6,6	—	18
Картофель (на- возный и без- навозный фо- ны)	Дерново-подзо- листая суглини- стая	222	241	—	35	41	—	61
		164	—	—	—	66*	90*	57
	Дерново-подзо- листая супесча- ная и песчаная	201	217	—	32	40	—	48
Лен (солома)	Дерново-подзо- листая суглини- стая	33,3	36,7	4,5	8,5	—	—	65
		29,7	33,9	3,3	6,9	6,4	—	29
Кукуруза (зе- леная масса, навозный фон)	Дерново-подзо- листая суглини- стая	372	402	—	32	53	34	12
	Дерново-подзо- листая супесча- ная	—	445	—	46	52	61	13
Сенокосы есте- ственные су- ходольные	Дерново-подзо- листая	18,5	19,7	—	22,2	—	43,9	21
Сенокосы есте- ственные пой- менные	Дерново-луговая	27,0	31,7	—	17,0	—	30,0	21
				N <sub>60</sub>	N <sub>120</sub>	N <sub>180</sub>	N <sub>240</sub>	
Пастбища не- орошаемые	Дерново-подзо- листая и луговая	30,9	34,4	13,4	21,1	37,0	40,0	13

\* Прибавка от НРК при постоянных дозах РК-удобрений на фоне.

120, под лен-долгунец — 30—45, под силосную кукурузу — 90—120 и более, на сенокосах — 120, на пастбищах — 180 кг/га (до 240).

Значение азота особенно велико на супесчаных и песчаных почвах, где этот элемент питания почти всегда находится в первом минимуме. На этих почвах (а также на легких суглинках) в условиях промывного водного режима при осеннем внесении азотных туков отмечаются большие потери азота за осень, зиму и весну. Поэтому внесение азотных удобрений весной (под культиватор перед посевом яровых культур и ранневесенняя азотная подкормка озимых зерновых) имеет значительное преимущество перед осенним внесением. Так, в опытах Географической сети (сводка П. Д. Музыкантова) прибавка урожая озимых зерновых от внесения азота по 30—60 кг/га до посева и весной в подкормку составила соответственно 4,3 и 7,3 ц/га на супесчаных почвах (среднее из 13 опытов) и 3,4 и 5,5 ц/га на легкосуглинистых почвах (среднее из 15 опытов).

По данным ЦОС ВИУА (В. П. Золотарев, Г. И. Ваулина) за 1969—1971 гг., на тяжелом суглинке внесение азотных удобрений под озимую пшеницу рано весной (по снегу глубиной 5—8 см) приводило к резкому снижению их эффективности по сравнению с внесением после таяния снега (прибавка урожая составила 3,9 и 12,4 ц/га).

В Нечерноземной зоне на почвах легкого механического состава приближение срока внесения легкоподвижных азотных удобрений ко времени потребления их культурами имеет большое значение для повышения эффективности туков.

Опыты на суходольных сенокосах, временно избыточно увлажненных (почвы легкого механического состава), показали, что внесение азотных удобрений через 20—30 дней после таяния снега в несколько раз повышает их эффективность по сравнению с внесением сразу после снеготаяния (прибавки урожая сена от  $N_{90}$  составили соответственно 45,5 и 11,5 ц/га при урожае по фону РК 13,4 ц/га (Филимонов, 1975)).

На осушенных торфяно-болотных почвах в первом минимуме, как правило, находятся калийные и фосфорные удобрения. Однако действие азотных удобрений проявляется также весьма заметно в центральных и северо-западных районах, особенно в первые годы освоения этих почв (табл. 88).

В исследованиях ВИУА, проведенных в 1971—1974 гг. на вновь осваиваемых низинных торфяниках Рязанской области, от внесения  $N_{60}$  на фоне фосфорно-калийных удобрений были получены прибавки урожая: сена многолетних трав 22 ц/га, зерна овса 6,9 ц/га, картофеля 33 ц/га, зеленой массы подсолнечника 21 ц/га (Масляная, 1976).

В лесостепной зоне при высокой эффективности азотных удобрений в целом проявляются различия в величине действия азота на урожай сельскохозяйственных культур в отдельных районах.

**88. Эффективность азотных, фосфорных и калийных удобрений  
на осваиваемых низинных торфяных почвах Северо-Западного района  
(данные СевНИИГиМа)**

Место проведения опытов	Культура	Урожай (в ц/га) по NPK	Прибавка урожая (в %)		
			от N	от P	от K
Архангельская опытно-мелиоративная станция	Многолетние травы (се- но)	50,1	40,0	130,5	25,0
	Вико-овсяная смесь (зе- леная масса)	198,5	23,0	115,0	31,5
	Кормовая брюква (кор- неплоды)	472,0	39,0	353,0	—
	Картофель	201,5	21,0	—	31,5
Корзинская низина Ка- рельской АССР	Многолетние травы (се- но)	51,0	53,0	91,0	—
	Кормовая брюква (кор- неплоды)	329,0	25,0	98,0	—
	Овес (зерно)	26,8	25,0	62,0	—
	Многолетние травы (се- но)	52,7	32,0	79,0	36,0
Вологодская опытно-ме- лиоративная станция	Горохо-овсяная смесь (зеленая масса)	188,0	18,0	62,0	21,0
	Кормовая брюква (кор- неплоды)	730,0	12,0	20,0	46,0
	Картофель	267,0	12,0	45,0	38,0
	Озимая пшеница (зерно)	41,0	17,0	64,0	32,0
	Ячмень (зерно)	27,0	—	80,0	28,0
	Многолетние травы (се- но)	55,9	27,5	46,5	23,0
Новгородская опытно-ме- лиоративная станция	Овес (зерно)	28,0	16,0	33,0	33,0

В лесостепных районах Молдавской ССР получают большие прибавки урожая озимой пшеницы, сахарной свеклы, кукурузы, подсолнечника и других культур от азотных удобрений (табл. 89). На каждый килограмм азота получают там 7—12 кг зерна озимой пшеницы, 11—12 кг зерна кукурузы, 60—90 кг корней сахарной свеклы, 3—5 кг семян подсолнечника.

В лесостепной зоне Украинской ССР действие азотных удобрений ослабевает по мере уменьшения выщелоченности почв — от серых и темно-серых почв к оподзоленным и выщелоченным (мощным) черноземам (табл. 90). Оплата 1 кг азота прибавками урожая в лесостепи УССР составила 6,7—8,8 кг зерна озимой пшеницы (при дозах N—40—60 кг/га), 7,5—12,3 кг зерна кукурузы (при дозах N—60 кг/га), 47—48 кг корней сахарной свеклы (при дозах N—60—120 кг/га) и 27—36 кг клубней картофеля (при дозах N—60—90 кг/га).

На оподзоленных и выщелоченных черноземах Украинской ССР озимая пшеница лучше реагирует на азотные удобрения в правобережной лесостепи и меньше — в левобережной (Носко и др., 1973).

То же самое можно отметить для сахарной свеклы, кукурузы и других культур. Так, по данным Украинского НИИ растениеводства

**89. Прибавка урожая сельскохозяйственных культур от азотных удобрений на выщелоченных черноземах лесостепи Молдавской ССР**

Культура	Урожай на фоне РК (в ц/га)	Прибавка урожая (в ц/га) от доз азота (в кг/га)				Источник данных
		30	60	90	120	
Озимая пшеница	24,7	3,1	7,6	—	—	Вайнберг, 1972
Кукуруза (зерно)	23,0	6,5*	8,6*	10,5*	—	Сводка М. М. Ивлева (отчет ВИУА, 1970)
	49,5	2,5	7,0	—	—	
Сахарная свекла	44,1	2,3	7,3	10,4	—	Вайнберг, 1972
	333	—	52	58	75	Сводка Ю. Г. Карцева (отчет ВИУА, 1972)
Подсолнечник	18,5	1,5	1,9	3,3	3,4	То же

\* Прибавка от доз азота совместно с  $P_{60}K_{60}$ .

ва, селекции и генетики, Полтавской, Драбовской опытных станций (левобережная лесостепь), прирост урожая зерна кукурузы от азота в дозе 60—90 кг/га составлял 2—4 ц/га. В опытах Мироновской, Тернопольской, Черкасской опытных станций (правобережная лесостепь) прибавка урожая от таких же доз азота равнялась 8—15 ц/га.

Различия в эффективности азотных удобрений в посевах сахарной свеклы в правобережной и левобережной Лесостепи УССР, по данным стационарных опытов Уладово-Люлинецкой, Черкасской, Драбовской опытных станций и Украинского НИИ растениеводства, селекции и генетики, составили 11 ц корней (прибавка урожая от  $N_{60}$  составила соответственно 32 и 21 ц/га, оплата 1 кг азота 53 и 35 кг корней).

**90. Действие азотных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур на почвах лесостепи УССР (по данным опытов Географической сети в Украинской ССР за 1963—1970 гг., сведенных Украинским НИИ почвоведения и агрохимии)**

Культура	Серые оподзоленные почвы		Черноземы оподзоленные		Черноземы мощные выщелоченные		Оплата 1 кг N прибавкой урожая (в кг)		
	урожай по фону РК	прибавка урожая от N	урожай по фону РК	прибавка урожая от N	урожай по фону РК	прибавка урожая от N	на серых оподзоленных почвах	на черноземах оподзоленных	на черноземах выщелоченных мощных
в ц/га									
Озимая пшеница	31,0	5,3	27,5	4,8	30,8	2,7	8,8	8,0	6,7
Кукуруза (зерно)	46,3	7,4	49,0	5,0	51,1	4,5	12,3	8,3	7,5
Сахарная свекла	286	46	356	47	361	28	77	78	47
Картофель	179	32	143	26	129	16	36	29	27



**91. Действие азотных удобрений в лесостепной зоне европейской части РСФСР на урожай сельскохозяйственных культур (по данным опытов Географической сети за 1960—1978 гг.)**

Культура	Показатель	Центрально-Черноземная зона	Северный Кавказ	Поволжье	Оплата 1 кг N прибавкой урожая (в кг)		
					в Центрально-Черноземной зоне	на Северном Кавказе	в Поволжье
Озимая пшеница	Урожай по фону РК (в ц/га)	30,6	34,1	19,8			
	Прибавка от N (в ц/га)	5,3	5,4	3,7	9	6	6
Яровая пшеница	Урожай по фону РК (в ц/га)	29,5	—	28,2			
	Прибавка от N (в ц/га)	2,3	—	1,9	6	—	5
Сахарная свекла	Урожай по фону РК (в ц/га)	290	428	303			
	Прибавка от N (в ц/га)	46	53	28	77	88	31

На выщелоченных черноземах европейской части РСФСР несколько меньшей эффективностью азотных удобрений отличаются районы Поволжья по сравнению с Центрально-Черноземной зоной и Северным Кавказом (табл. 91).

Хотя оплата 1 кг азота прибавкой урожая озимой пшеницы оказалась одинаковой в лесостепи Северного Кавказа и Поволжья, однако на Северном Кавказе эффективнее были дозы азота 90—120 кг/га, в Центрально-Черноземной зоне — 60—90 кг, в Поволжье — 40—60 кг.

В азиатской части РСФСР на яровой пшенице более высокая эффективность азотных удобрений отмечается в лесостепи Зауралья, Восточной Сибири и меньшая — в лесостепи Западной Сибири; 1 кг азота дает дополнительно зерна яровой пшеницы в Зауралье 10 кг, в Восточной Сибири 11 кг, в Западной Сибири 5 кг.

Таким образом, азотные удобрения в азиатской части лесостепной зоны РСФСР в посевах яровых зерновых не менее эффективны, чем в европейской части, что необходимо учитывать при распределении удобрений.

В степных районах страны действие азотных удобрений, как уже отмечалось, в общем снижается и становится неустойчивым. Однако в разных частях степной зоны эффективность азотных туков неодинакова.

В степи Молдавской ССР наиболее высокие прибавки урожая возделываемых культур при внесении азотных удобрений получа-

## 92. Эффективные дозы азота в степи Молдавской ССР

Почва	Доза азота (в кг/га)			
	под озимую пшеницу	под кукурузу	под подсолнечник	под сахарную свеклу
Чернозем типичный	40—60	60—90	30—40	90—120
» обыкновенный	30—40	40—60	30—40	90
» карбонатный	30	30—60	30—40	60—90

ют на типичных черноземах, меньшие — на обыкновенных и карбонатных черноземах (табл. 92).

На каждый килограмм азота получают до 6 кг зерна озимой пшеницы, до 7 кг зерна кукурузы, 2,5—3 кг семян подсолнечника, 40—60 кг корней сахарной свеклы.

В степных районах УССР на обыкновенных черноземах азотные удобрения эффективны на посевах озимой пшеницы, кукурузы, сахарной свеклы, в меньшей мере на подсолнечнике. Действие азотных удобрений ослабляется в направлении от западной к восточной части зоны (табл. 93).

## 93. Действие азотных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур в различных районах степной зоны Украинской ССР (по данным опытов Географической сети, обобщенным ВИУА и УНИИПА)

Культура	Юго-западная часть степи		Центральная часть степи		Восточная часть степи		Окупаемость 1 кг N прибавкой урожая (в кг)		
	уро-жай по фо-ну РК	при-бавка от N	уро-жай по фо-ну РК	при-бавка от N	уро-жай по фо-ну РК	при-бавка от N	в юго-запад-ной части	в цент-ральной части	в восточ-ной части
	в ц/га								
Озимая пшеница	30,8	8,6	28,8	2,8	32,8	1,1	21,5	7,0	2,8
Сахарная свекла	—	—	335	25	223	4	—	42	9
Кукуруза (зерно)	44,8	3,7	34,8	2,7	27,4	1,5	8,2	6,7	2,5
Подсолнечник	—	—	23,8	0,8	22,4	0,6	—	1,8	2,0

Примечание. Юго-западная часть степи представлена данными Измаильской опытной станции; центральная часть — Одесской, Кировоградской, Эрастовской, Розовской, Запорожской опытными станциями и Украинским НИИ растениеводства, селекции и генетики; восточная часть — Донецкой и Ворошиловградской опытными станциями.

В степи европейской части РСФСР, по данным опытов Географической сети, наиболее значительные прибавки урожая зерна непаровой озимой пшеницы от азотных удобрений (2,2 ц/га при дозе N 45—60 кг/га) получены на обыкновенных и карбонатных черноземах Северного Кавказа (в пределах Краснодарского края, Кабардино-Балкарской АССР, Дагестанской АССР и Чечено-Ингушской АССР), а также на северо-приазовских черноземах. На карбонатных черноземах Ростовской области и обыкновенных черно-

земах Поволжья прибавки составляли 1—1,4 ц/га (при дозе N 60—40 кг/га). Невысокая прибавка (1,2 ц/га) была получена в опытах с яровой пшеницей на обыкновенных черноземах Поволжья (доза N<sub>40</sub>).

Каштановые почвы характеризуются меньшим содержанием гумуса по сравнению с черноземными почвами. Это обстоятельство, по-видимому, является причиной того, что в ряде районов страны на каштановых почвах действие азотных удобрений проявляется довольно сильно (Украинская ССР, горные районы Северного Кавказа и Закавказья). Вместе с тем на обширных равнинных территориях Северного Кавказа (Ставропольский край, Ростовская область), Поволжья и Северного Казахстана в условиях сильной засушливости действие азотных удобрений на каштановых почвах бывает, как правило, очень слабым, особенно при посеве озимых или яровых зерновых по парам. Так, по данным Камышинской опытной станции и Волгоградского СХИ (1965—1966 гг.), прибавка паровой озимой пшеницы от внесения РК составила 2—4 ц/га. Добавление азотных удобрений либо не влияло на высоту урожая, либо снижало эффект от РК. То же самое отмечается на каштановых почвах Ставропольского края и Калмыцкой АССР.

Несколько иные результаты дает применение азотных удобрений на каштановых почвах Украины и Закавказья. По данным Николаевской зональной агрохимической лаборатории, в среднем за 1966—1971 гг. в опытах с озимой пшеницей по непаровым предшественникам прибавка урожая от внесения азота в дозах 30 и 60 кг/га составила соответственно 4,8 и 7,1 ц/га при урожае без удобрений 17,1 ц/га, по фону P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> — 19,6 ц/га.

Аналогичные результаты получены в опытах на темно-каштановой остаточно-солонцеватой легкосуглинистой почве Присивашской агролесомелиоративной опытной станции (Генический район Херсонской области) с озимой пшеницей и яровым ячменем.

По данным 22 опытов, проведенных научно-исследовательскими и опытными учреждениями Азербайджана, Армении, Дагестана и Северной Осетии, озимая пшеница на каштановых почвах, высевавшаяся по различным предшественникам (в том числе и по чистому пару в 5 опытах), повысила урожай от внесения азота в средней дозе N<sub>50</sub> на 4,1 ц/га (в том числе на паровых полях на 3,4 ц/га при средней дозе N<sub>70</sub>).

В азиатской равнинной части страны азотные удобрения на обыкновенных, южных черноземах и каштановых почвах действуют, как правило, очень слабо и неустойчиво. Так, в Казахской ССР на обыкновенных черноземах и темно-каштановых почвах, по данным Северо-Казахстанской опытной станции (1966—1968 гг.) и Целиноградского СХИ (1968—1970 гг.), при посеве пшеницы по пшенице прибавка от азота равнялась 0,6—0,7 ц/га (доза N<sub>40</sub>), а на паровой пшенице урожай снизился на 0,4 ц/га.

По сводке Г. П. Гамзикова (1975 г.) эффективность азотных удобрений в степной зоне Западной Сибири характеризовалась

следующими прибавками урожая сельскохозяйственных культур: яровой пшеницы 0,3 ц/га, кукурузы (зеленая масса) 3 ц/га, сахарной свеклы 3 ц/га; на картофеле азотные удобрения были неэффективны.

Высокая эффективность азотных удобрений отмечается на каштановых почвах в Бурятской АССР. По данным Бурятской опытной станции, в среднем за 4 года дозы азота 40 и 60 кг/га повысили урожай яровой пшеницы (по яровой пшенице) соответственно на 5,7 и 7,7 ц/га при урожае на контроле 8,1 ц/га, а по фону РК — 8,9 ц/га.

По данным, обобщенным Н. В. Максимовым и Ф. Н. Максимовой, на обыкновенных черноземах Читинской области яровая пшеница, идущая по пару, повышала урожай от азотных удобрений ( $N_{40}$ ) в среднем по 8 опытам на 0,5 ц/га при урожае на контроле 15,4 ц/га и по фону  $R_{40}$  или  $R_{40}K_{40}$  — 18,3 ц/га. При посеве пшеницы по зерновым предшественникам прибавка урожая от внесения  $N_{30-45}$  составила 1,9 ц/га (урожай на контроле 9 ц/га, по фону  $R$  или РК — 11,2 ц/га).

На каштановых почвах, по данным опытов Читинской ЗАЛ, пшеница повысила урожай от  $N_{40}$  по фону  $R_{40-60}$  на 0,5 ц/га (урожай без удобрений 4,3 ц/га, по  $R_{40}$  — 6,8 ц/га, по  $R_{60}$  — 8,3 ц/га).

#### ФОСФОРНЫЕ И КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Действие фосфорных и калийных удобрений в большой мере зависит от содержания в почве доступных растениям соединений фосфора и калия. Обследование пахотных земель колхозов и совхозов зональными агрохимическими лабораториями в последние годы показало, что во всех зонах страны имеются громадные площади пашни, характеризующиеся очень низким и низким содержанием подвижных форм фосфора и калия. В соответствии с этим почти повсюду отмечается значительное положительное действие фосфорных удобрений. Действие калийных удобрений наиболее устойчиво проявляется в Нечерноземной зоне. В лесостепной и степной зонах оно становится слабым и неустойчивым. Вследствие снижения эффективности азотных и калийных удобрений в степной и сухостепной зонах на первое место по воздействию на урожай выходят фосфорные удобрения.

В обеспеченности почв фосфором и калием в пределах каждой зоны нередко наблюдаются значительные различия, вызываемые природными особенностями и сельскохозяйственной деятельностью человека. Это обуславливает соответствующую разницу в действии фосфорных и калийных удобрений, что необходимо учитывать при оценке опытных данных, установлении географических закономерностей и разработке рекомендаций по применению удобрений.

**В Нечерноземной зоне** около 50% почв отличается очень низким и низким содержанием подвижных фосфатов и около 40% —

низким содержанием обменного калия. В соответствии с этим ряд опытов свидетельствует о высокой эффективности фосфорных и калийных удобрений на слабо окультуренных почвах.

В стационарном четырехлетнем опыте на ЦОС ВИУА на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве, содержащей малое количество подвижного фосфора (2,8 мг/100 г почвы по Кирсанову) и среднее количество обменного калия (12 мг на 100 г почвы по Масловой), действие фосфорных удобрений было более сильным, чем азотных (табл. 94).

94. Действие азота, фосфора и калия на урожай культур севооборота (по Карпинскому, 1972)

Действующий элемент (фон)	Прибавка урожая (в ц/га)						
	вино-овсяной смеси	озимой пшеницы	клевера 1-го года пользования	озимой пшеницы	картофеля	гороха	ячменя
N(PK+Ca)	1,9	4,6	-0,5	4,2	14	-0,9	0,9
P(NK+Ca)	2,5	12,4	3,0	8,6	20	2,6	3,5
K(NP+Ca)	1,1	1,5	0,3	3,0	9	0,9	2,2

В сводке Н. П. Карпинского приводятся аналогичные результаты ряда других опытов, проведенных на слабо окультуренных почвах. Во всех этих опытах действие фосфорных удобрений было высоким.

Массовые опыты, проведенные Географической сетью опытов с различными культурами, не выявили столь высокой эффективности фосфорных удобрений. В большинстве опытов в различных районах Нечерноземной зоны прибавки урожая от фосфорных удобрений были равны или меньше по сравнению с прибавками от азотных туков.

Весьма умеренная эффективность фосфорных удобрений в опытах Географической сети объясняется тем, что эти опыты проводили на полях научно-исследовательских и опытных учреждений с достаточно окультуренными почвами.

В опытах зональных агрохимических лабораторий, которые проводятся на более бедных, менее окультуренных землях колхозов и совхозов, эффект от фосфорных удобрений в ряде случаев был выше. Так, в 33 опытах с картофелем, проведенных Московской областной агрохимической лабораторией на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, прибавки урожая от внесения  $P_{60}$  и  $P_{90}$  составили соответственно 20 и 39 ц/га при урожае на контроле 166 ц/га, по фону НК — 191 ц/га.

Учитывая, что в Нечерноземной зоне  $1/2$  почв имеют очень низкое и низкое содержание подвижных фосфатов, можно считать, что в целом эффективность фосфорных удобрений в этой зоне достаточно высока и близка к эффективности азотных удобрений (а в ряде случаев и превосходит ее). Дозы фосфорных удобрений дол-

жны приближаться к дозам азотных удобрений так, чтобы соотношение N:P составляло не менее 1:0,7, а лучше 1:1 или 1:1,1. Для обогащения почв подвижными фосфатами целесообразно единовременное внесение фосфоритной муки в количестве около 10 ц/га.

Действие калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах, как правило, выражается умеренно средними прибавками урожая, уступающими прибавкам от азота и равными или также несколько уступающими прибавкам от фосфора.

При средних дозах калия 40—60 кг/га под зерновые и 60—120 кг/га под пропашные культуры прибавки урожая составляют 1,5—3,2 ц/га озимой пшеницы, около 1 ц/га яровой пшеницы, 10—40 ц/га картофеля, 20—40 ц/га зеленой массы кукурузы, 0,5 ц/га льноволокна.

Однако нередко калийные удобрения дают и более высокие прибавки урожая. Так, в Уральском районе РСФСР на дерново-подзолистых супесчаных почвах прибавка урожая картофеля от калийных удобрений составила 30—40 ц/га (табл. 95). В Северо-Западном и Центральном районах РСФСР кукуруза повышала урожай зеленой массы от внесения калия 60, 90 и 120 кг/га на 24, 31 и 81 ц/га (табл. 96).

Отмечаются случаи высокого действия калийных удобрений, превосходящего действие азотных и фосфорных удобрений. Так, в стационарном опыте Смоленской опытной станции ВИУА на дерново-подзолистой среднесуглинистой глееватой почве с содержанием подвижной  $P_2O_5$  9 мг/100 г почвы и обменного калия 8,2 мг/100 г почвы были получены следующие прибавки урожая возделываемых культур (табл. 97).

Как видно из данных таблицы, калийные удобрения значительно превосходили по эффективности азотные и фосфорные туки при внесении их под клеверо-тимофеевичную смесь и следующие затем озимую пшеницу, картофель и овес.

Как правило, высокая эффективность калийных удобрений наблюдается на торфяно-болотных почвах. Как отмечает Т. Н. Кулаковская, на абсолютном большинстве болотных массивов Белоруссии общие валовые запасы калия составляют 120—160 кг/га, увеличиваясь лишь на отдельных массивах до 350—450 кг/га. По обобщенным данным полевых опытов, проведенных в Белорусской ССР, прибавка урожая озимой ржи от внесения калийных удобрений в дозе 90 и 120 кг/га на торфяно-болотных почвах составила 3,4—5,3 ц/га зерна, в то время как на минеральных почвах — 1,3—2,6 ц/га.

По сводке Института кормов на суходольных лугах прибавка урожая сена от внесения калийных удобрений составила 3,3 ц/га, на заливных лугах — 2,7—3,4 ц/га, на низинных лугах и торфяниках — 11,6—14,1 ц/га.

Потребность в калийных удобрениях возрастает при известковании кислых почв в силу большего закрепления калия производ-

95. Влияние минеральных удобрений на урожай картофеля (в ц/га) в Нечерноземной зоне (по данным опытов Г.ю.графичекой сели ВИА за 1960—1975 г. сводка П. Г. Куделя)

Республика, район	Почва	Фон	Уро- жай по фону	Уро- жай по РК	Прибавка урожая от доз N			Уро- жай по НК	Прибавка урожая от доз P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			Уро- жай по NP	Прибавка урожая от доз K <sub>2</sub> O			Число опы- тов
					60	90	120		60	90	120		60	90	120	
РСФСР, Северо- Западный район	Дерново-подзолистая суглинистая	Начоз »	260	290	20	17	—	306	11	18	—	312	2	8	10	17
			195	206	—	58	73	—	—	—	—	—	—	—	—	4
			205	209	30	39	—	177	10	20	—	197	9	18	13	10
			221	235	46	56	—	279	6	—3	—	275	12	12	10	12
РСФСР, Цент- ральный район	Дерново-подзолистая песчаная и супесча- ная	»	153	171	44	45	—	212	12	2	—	211	14	6	4	11
			183	—	—	—	207	26	—	18	207	27	—	22	6	
РСФСР, Волго- Вятский район	Дерново-подзолистая и серая лесная	»	110	127	28	46	—	131	25	33	—	150	5	0	30	4
			116	143	12	—	14	129	10	—	138	4	—	17	7	
РСФСР, Уральский район	Дерново-подзолистая супесчаная	»	207	223	35	36	—	250	17	14	—	248	20	10	7	8
			195	212	38	39	—	238	9	13	—	243	13	13	7	10
Украинская ССР, Голосее	Дерново-подзолистая и серая лесная	»	218	236	32	45	—	260	9	12	—	260	11	11	5	13
			214	229	28	39	40	222	13	12	15	238	14	—	28	16
Белорусская ССР	Дерново-подзолистая песчаная и супесча- ная	»	283	297	18	36	—	308	8	16	—	307	—13	3	17	5
			283	297	18	36	—	308	8	16	—	307	—13	3	17	5
Белорусская ССР	Дерново-подзолистая суглинистая	»	218	236	32	45	—	260	9	12	—	260	11	11	5	13
			214	229	28	39	40	222	13	12	15	238	14	—	28	16
Республика При- балтики	Дерново-подзолистая песчаная и супесча- ная	»	283	297	18	36	—	308	8	16	—	307	—13	3	17	5
			283	297	18	36	—	308	8	16	—	307	—13	3	17	5

Примечание. В таблице дозы удобрений (в кг/га).

96. Влияние минеральных удобрений на урожай зеленой массы кукурузы (в ц/га) в Нечерноземной зоне (по данным опытов Географической сети ВИУА за 1964—1972 гг., сводка Ю. Г. Карцева)

Республика, район	Почва	Урожай		Прибавка урожайности от доз N			Урожай по фону NK			Прибавка урожая от доз P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				Прибавка урожайности от K <sub>2</sub> O			Дозы NPK	Число опытов
		без удобрений	по фону PK	60	90	120	60	90	120	40	60	90	120	60	90	120		
Республики Прибалтики	Дерново-подзолистая суглинистая и супесчаная То же » »	449	464	91	107	120	497	18	15	5	—	469	38	25	43	135	120—60—60	4
		321	349	48	58	59	366	—	30	31	—	368	22	24	—	75	90—60—60	33
		381	410	53	71	64	435	—	24	47	—	435	24	31	81	135	60—60—120	35
		142	164	34	59	53	169	—	30	43	50	187	11	22	23	101	120—120—120	6
Волго-Вятский район РСФСР	Серая лесная	273	294	24	45	—	307	—	16	34	42	329	—	22	5	78	60—60—90	3
		256	286	34	46	65	304	—	13	18	20	305	15	23	27	95	120—60—60	8
Полесье УССР	Дерново-подзолистая супесчаная	256	286	34	46	65	304	—	13	18	20	305	15	23	27	95	120—60—60	8
В среднем по районам Нечерноземной зоны		316	342	47	63	69	362	—	21	33	—	364	19	26	48	96	100—60—60	89
																		17



**97. Влияние удобрений на урожай культур севооборота  
на Смоленской опытной станции ВИУА (данные П. П. Семченко)**

Вариант опыта	Озимая пшеница, 1966— 1969 гг.	Клевер+ тимофе- евка, 1966— 1969 гг.	Озимая пшеница, 1964— 1966 гг.	Карто- фель, 1965— 1967 гг.	Овес, 1966— 1967 гг.	Вика+ овес (зеленая масса), 1967— 1969 гг.
Известь по 0,5 г. к. — фон	15,9	71,4	15,2	108	26,3	32,7
Прибавка:						
от N	6,0	—1,3	2,7	5	3,0	7,4
> P	1,0	6,6	1,6	5	1,2	—3,0
> K	3,8	19,1	5,3	78	7,2	5,4

Примечание. Прибавки от N, P, K на фоне парных сочетаний двух других элемен-  
тов питания. Дозы удобрений: под первую озимую пшеницу  $N_{50}P_{60}K_{40}$ , под вторую  $N_{50}P_{60}K_{40}$ ,  
под картофель  $N_{60}P_{90}K_{90}$ , под овес  $N_{30}P_{30}K_{30}$ , под вико-овес  $N_{30}P_{30}K_{30}$ .

кованной почвой и нарушения благоприятного для растений соотношения между калием и кальцием. Ряд длительных стационарных опытов подтверждает наличие указанной закономерности.

Что касается связи действия калийных удобрений с обеспеченностью почв обменным калием, то, по данным Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии, прослеживается тенденция ослабления эффективности калийных удобрений при увеличении содержания в почве обменного калия (табл. 98).

Лесостепная зона характеризуется более выравненным соотношением площадей пашни с очень низким и низким содержанием фосфатов в почве, с одной стороны, и средним и повышенным содержанием, с другой. В целом для этой зоны отмечается умеренно средняя эффективность фосфорных удобрений. По данным Географической сети опытов ВИУА, внесение средних доз фосфорных удобрений (40—60 кг/га под зерновые и подсолнечник и 60—120 кг/га под сахарную свеклу, картофель и кукурузу на силос) обеспечивало следующие прибавки урожая сельскохозяйственных культур (в ц/га): озимой пшеницы 2,3—3,8, яровой пшеницы 0,8—3,2, ячменя 2,1—2,9, кукурузы (зерна) 0,4—2,0, сахарной свеклы

**98. Зависимость урожая ячменя от содержания обменного калия  
в дерново-подзолистых почвах (Богдевич, Васильев, Шаталова, 1977)**

Содержа- ние $K_2O$ (в мг/100 г почвы)	Число опытов	Урожай на су- песках (в ц/га)		Оплата 1 кг $K_2O$ зерном (в кг)	Число опытов	Урожай на су- глинках (в ц/га)		Оплата 1 кг $K_2O$ зерном (в кг)
		без удоб- рений	по (NPK) <sub>180</sub>			без удоб- рений	по (NPK) <sub>180</sub>	
До 4	5	14,0	20,2	3,5	6	19,9	30,8	6,9
4,1—8	26	13,9	23,6	5,1	5	23,1	31,5	5,6
8,1—14	63	17,0	24,8	4,2	68	21,7	28,3	5,4
14,1—20	8	18,3	29,0	3,7	26	25,1	30,0	2,9
20,1—30	2	20,4	26,4	—	9	26,2	34,5	3,3

27—43, подсолнечника 1,9—3,7, кукурузы (силос) 14—37, картофеля 20—25.

В отдельных районах действие фосфорных удобрений неодинаково, что связано в значительной мере с обеспеченностью почвы доступными фосфатами.

В Молдавской ССР около 80% почв огличается низким содержанием подвижных фосфатов; эффективность фосфорных удобрений там высокая. Каждый килограмм  $P_2O_5$  дает прирост урожая зерна озимой пшеницы 4—8 кг (при дозе 40—60 кг/га), корней сахарной свеклы 40—47 кг (при дозе 60—120 кг/га), 3—6 кг семян подсолнечника (при дозе 60 кг/га).

Лесостепь Украинской ССР характеризуется преобладанием (52,6%) почв со средним содержанием подвижных фосфатов. Однако почв с низким содержанием также немало (27%). По данным опытов Географической сети, средняя прибавка урожая озимой пшеницы в этой зоне от дозы  $P_2O_5$  40 кг/га составляет около 2,6 ц/га, а сахарной свеклы — 21—29 ц/га (доза  $P_2O_5$  — 60—120 кг/га). По данным агрохимических зональных лабораторий, отзывчивость сахарной свеклы на фосфорные удобрения в тех же дозах (60—120 кг/га) составила 24—42 ц/га.

В пределах УССР наиболее слабая обеспеченность почв подвижным фосфором отмечается в Прикарпатье, Закарпатье и в полесских районах, где почвы с низким содержанием фосфора составляют 90—92%. В соответствии с этим наиболее сильное действие фосфорных удобрений проявляется на серых оподзоленных почвах, оподзоленных и выщелоченных мощных черноземах Закарпатья, Полесья и части западной лесостепи. Так, по данным НИИ земледелия и животноводства западных районов УССР, Тернопольской и Черниговской опытных станций, от внесения фосфорных удобрений в дозах 20, 40 и 60 кг/га были получены средние прибавки урожая зерна озимой пшеницы в размере 3—5 ц/га. В правобережной лесостепи прибавка от фосфорных удобрений составила 1—2 ц/га, в левобережной лесостепи — 1,6—2,4 ц/га.

Аналогичная картина наблюдается и на посевах сахарной свеклы. По данным НИИ земледелия и животноводства западных районов УССР и Черновицкой опытной станции, средние прибавки урожая от возрастающих доз фосфорных удобрений (60—120 кг/га) составляли 30—50 ц/га, в правобережной лесостепи — 15—21 ц/га, в левобережной лесостепи, по данным Драбовской опытной станции Харьковского СХИ, — 21—29 ц/га, и только на Сумской опытной станции в 1964—1966 гг. были получены очень высокие прибавки от фосфорных удобрений — 83—94 ц/га.

По данным зональных агрохимических лабораторий, в большинстве опытов на территории Лесостепи УССР (в Донецко-Приднепровском и юго-западном районах) отмечается примерно одинаковая эффективность фосфорных удобрений (прибавка урожая корней сахарной свеклы 21—44 ц/га от внесения фосфора в дозах 60—120 кг/га). И лишь в немногих опытах на выщелоченных чер-

ноземах юго-западного района проявляется повышенная эффективность фосфатов: прибавки урожая корней 47—63 ц/га.

В Центрально-Черноземной зоне РСФСР площади почв с низким содержанием подвижного фосфора составляют 25,5% площади пашни с колебаниями от 8% в Курской области и до 57% в Липецкой области.

По данным опытов Географической сети ВИА, отзывчивость сельскохозяйственных культур на фосфорные удобрения в этой зоне характеризуется в среднем сравнительно невысокими прибавками урожая: 2,3 ц зерна озимой пшеницы, 20—30 (до 43) ц корня сахарной свеклы (см. табл. 85 и 99).

По данным зональных агрохимических лабораторий, прибавки урожая озимой пшеницы от фосфорных удобрений (40—60 кг/га) составили 2,1—3,5 ц/га при урожае 22 ц/га, сахарной свеклы (доза  $P_2O_5$  60—120 кг/га) — 20—40 ц/га при урожае 205 ц/га.

Следует отметить, что прежние опыты научно-исследовательских и опытных учреждений Центрально-Черноземной зоны свидетельствовали о более высокой эффективности фосфорных удобрений под озимую пшеницу; по сводке П. Г. Найдина (до 1963 г.) прибавка составляла 3—4,3 ц/га. По-видимому, опыты в последние годы проводились на более культурных почвах, что подтверждается довольно высокими урожаями без удобрений.

В лесостепи Поволжья преобладают почвы (55%) со средним и выше среднего содержанием подвижного фосфора, почв с низким содержанием подвижного фосфора 40%. В связи с этим во многих опытах эффективность фосфорных удобрений невысокая. По сводке В. Г. Минеева и М. М. Ивлева на оподзоленных и выщелоченных черноземах прибавка урожая озимой пшеницы от внесения  $P_{40}$  составила лишь 0,6 ц/га (урожай на контроле 25,8 ц/га, в варианте  $N_{40}K_{40}$  — 29,6 ц/га). В среднем из 18 опытов, проведенных на выщелоченных черноземах Мордовским университетом, Ульяновской опытной станцией, Уфимским опытным хозяйством Башкирского НИИСХ, яровая пшеница при внесении  $P_{60}$  повысила урожай на 1,4 ц/га (урожай на контроле 29,5 ц/га, по  $NK$  — 32,2 ц/га).

Вместе с тем в ряде опытов от фосфорных удобрений были получены значительно более высокие приросты урожаев. Так, на выщелоченном черноземе в опытах Мордовского университета (1967—1968 гг.) озимая рожь повысила урожай на 3,9 ц/га от внесения  $P_{45}$  на фоне  $N_{45}K_{45}$  (урожай на контроле 20,9 ц/га, по фону  $NK$  — 24,6 ц/га).

На темно-серых среднеоккультуренных почвах Чувашской опытной станции в среднем за 3 года яровой ячмень при внесении  $P_2O_5$  в дозе 60 и 90 кг/га, повышал урожай на 2,8 и 5 ц/га (урожай без удобрений 12,4 ц/га, по фону  $N_{60}K_{60}$  — 14,8 ц/га). В Пензенской области, по данным Петровской опытно-селекционной станции и Пензенского СХИ, прибавка озимой пшеницы Мироновская 808 от внесения фосфорных и фосфорно-калийных удобрений состави-

99. Действие минеральных удобрений на урожай сахарной свеклы (в ц/га) в лесостепной зоне (по данным опытов Географической сети за 1960—1978 гг., сводка Ю. Г. Карцева)

Республика, район, почва	Урожай		Прибавка от доз N (в кг/га)			Уро- жай по НК	Прибавка от доз Р, О <sub>2</sub> (в кг/га)			Уро- жай по НК	Прибавка от доз К (в кг/га)			При- бавка от NP	Дозы (в кг/га)			Число опытов
	на конт- роле	по РК	60	90	120		60	90	120		60	90	120		N	P	K	
Украинская ССР Чернозем оподзоленный вы- щелоченный	300	330	23	31	35	341	21	24	29	356	7	9	10	70	90	120	90	43
	294	338	52	58	75	361	28	—	—	358	30	—	—	119	120	60	60	10
	221	—	—	—	—	—	282*	295*	307*	—	—	—	—	86	60	120	60	7
	280	—	—	—	—	—	—	—	—	—	388*	377*	377*	108	100	60	60	9
РСФСР																		
Центрально-Черноземная зона Чернозем оподзоленный вы- щелоченный Чернозем типичный обыкно- венный	250	270	51	53	—	305	20	25	—	313	19	17	—	72	60	60	60	32
	260	287	—	59	77	364	—	26	29	365	—	22	22	104	120	90	90	13
	285	317	15	23	—	315	16	21	—	323	9	12	—	47	60	60	60	29
	270	298	19	30	34	297	17	32	43	307	10	16	17	70	90	120	90	9
Северный Кавказ Чернозем выщелоченный	380	409	39	32	44	422	27	14	15	435	14	—	—	69	60	60	60	10
	224	250	11	—	—	240	22	27	—	253	7	10	—	43	60	90	60	13

\* Абсолютные урожаи при неизменном фоне НК или NP.

ла в среднем за 6 лет 2,6 ц/га. По данным Пензенской опытной станции, в среднем за 3 года яровая пшеница Харьковская 46 повысила урожай на 2 ц/га от внесения  $P_{60}$  на фоне  $N_{60}$ .

В опытах агрохимических лабораторий Башкирской АССР на оподзоленных и выщелоченных черноземах прибавка озимой ржи при внесении 40—60 кг  $P_2O_5$  составила 2,2—3,8 ц/га и яровой пшеницы при внесении 40 кг  $P_2O_5$  — 1,9—2,4 ц/га.

Сахарная свекла, по данным географических опытов, проведенных на выщелоченных черноземах, при внесении 90 и 120 кг  $P_2O_5$  на 1 га повышала урожай на 21 и 34 ц/га (урожай по фону НК — 304 ц/га, на контроле без удобрений 278 ц/га).

Кукуруза на Чувашской опытной станции в среднем за 2 года дала прирост урожая зеленой массы при внесении 60 кг  $P_2O_5$  — 53 ц/га, 90 кг — 77 ц/га, 120 кг — 62 ц/га (урожай без удобрений 230 ц/га, по фону НК — 273 ц/га).

Очень высокая отзывчивость культур на фосфорные удобрения отмечена в северо-восточной части лесостепи Башкирской АССР, где более 95% почв характеризуется низким содержанием подвижных фосфатов. Прибавка урожая яровой пшеницы при рядковом внесении 30 кг  $P_2O_5$  на 1 га составляла 8 ц/га.

На выщелоченных черноземах Северного Кавказа действие фосфорных удобрений значительное. По данным опытов Географической сети ВИА, внесение фосфорных удобрений на фоне НК повышало урожай озимой пшеницы на 3,8 ц/га, сахарной свеклы на 27 ц/га. По сводке А. И. Симакина внесение одного фосфорного удобрения под озимую пшеницу урожай не увеличивало. На фоне азота прибавка от фосфора составляла 2,7 ц/га.

По данным Гулькевичской ЗАЛ, в предгорной зоне Краснодарского края на выщелоченных, слитых черноземах и серых лесных почвах прибавки озимой пшеницы от фосфорных удобрений в дозах 40—60 кг  $P_2O_5$  составили 1,5—2,5 ц/га. По данным агрохимического обследования, эти почвы лучше обеспечены подвижным фосфором, чем слабовыщелоченные и карбонатные черноземы (3—5 мг  $P_2O_5$  на 100 г почвы, по Мачигину, в предгорной зоне против 1—3 мг в восточной зоне на слабовыщелоченных и карбонатных черноземах, где прибавки от фосфора возрастают до 3—5 ц/га).

Лесостепь азиатской части СССР характеризуется различной обеспеченностью почв доступными фосфатами и, следовательно, различной эффективностью фосфорных удобрений.

В Зауралье преобладают почвы с низким содержанием подвижного фосфора (70% пахотных почв содержат менее 5 мг  $P_2O_5$  на 100 г почвы). В связи с этим на выщелоченных черноземах Челябинской и Курганской областей прибавка урожая яровой пшеницы от внесения 40—60 кг  $P_2O_5$  на 1 га колеблется от 2,5 до 4,8 ц/га (табл. 100).

Такие же прибавки урожая яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири при внесении 60 кг  $P_2O_5$  на 1 га указаны в сводке О. В. Сдобниковой.

**100. Действие фосфорных удобрений на урожай яровой пшеницы на выщелоченных черноземах Зауралья и Западной Сибири**  
(по данным Географической сети опытов с удобрениями, сводка Д. М. Аникст за 1963—1971 гг.)

Район	Предшественник	Урожай (в ц/га)		Прибавка (в ц/га) от доз $P_2O_5$ (в кг/га)	
		без удобрений	по NPK	40	60
Зауралье	Зерновые	14,3	19,9	3,3	4,8
	Пропашные	22,3	25,4	2,5	3,5
Западная Сибирь	Зерновые	13,6	14,6	2,8	2,9
	Пропашные	19,8	22,0	1,4	0,9

Большая часть почв лесостепи Среднесибирской провинции характеризуется низким и средним содержанием подвижных фосфатов, обуславливающим существенную эффективность фосфорных удобрений. Так, по данным Л. П. Антипиной, в среднем за 3 года на выщелоченных черноземах Ачинско-Боготольской лесостепи прибавки урожая яровой пшеницы от внесения  $P_{45}$  составили: при содержании  $P_2O_5$  менее 5 мг на 100 г почвы по Труогу, 5—10 мг и более 10 мг — соответственно 3,2; 1,9 и 0,4 ц/га без азотно-калийного фона и 4,6; 4,8 и 1,1 ц/га по азотно-калийному фону.

Несколько меньшие прибавки урожая обеспечивает внесение фосфорных удобрений на выщелоченных черноземах Канской лесостепи (более богатых кислоторастворимыми формами фосфатов, чем в Ачинско-Боготольской лесостепи). Так, по данным Красноярского НИИСХ (Крупкин, Крыжановский, 1976), прибавка яровой пшеницы от внесения  $P_{60}$  (на фоне  $N_{30}$ ) составила: по чистому пару 1,3 ц/га, по пропашным 1,3 н/га, по зерновым 0,5 ц/га. По данным 17 опытов Солянской ЗАЛ за 6 лет, на выщелоченных черноземах при возделывании пшеницы по кукурузе и по пшенице прибавка урожая от внесения  $P_{45}$  составила соответственно 1,5 и 1,9 ц/га без азотно-калийного фона и 1,8—2,6 ц/га по  $N_{45}K_{45}$ .

Исследования Иркутской ЗАЛ на дерново-карбонатных почвах Лено-Ангарской лесостепи выявили высокую степень обратной корреляции между содержанием подвижных фосфатов (по Мачигину) и действием фосфорных удобрений. При содержании подвижных фосфатов более 2,6 мг на 100 г почвы фосфорные удобрения были неэффективны; при содержании менее 1,6 мг прибавка урожая яровой пшеницы от внесения  $P_{40-60}$  составила 2,3—2,7 ц/га, при содержании 1,6—2,6 мг — 1,3—2 ц/га.

Поскольку среднее содержание подвижной  $P_2O_5$  в дерново-карбонатных почвах колеблется от 2 до 2,6 мг на 100 г почвы, то эффективность фосфорных удобрений там невысокая. По сводке Н. Н. Михайлова и В. А. Буянова прибавки от фосфорных удобрений колебались от 0,2 до 2,6 ц/га.

Почвы лесостепной части Забайкалья (серые лесные, черноземы выщелоченные) резко различаются по обеспеченности подвижными фосфатами. Если в Бурятской АССР почв с низким содержанием подвижного фосфора всего 13,6%, то в Читинской области их 84%.

По данным 9 опытов Бурятской республиканской агрохимической лаборатории за 1971—1973 гг., на серых лесных почвах при возделывании яровой пшеницы по чистому пару прибавка урожая от внесения  $P_{60}$  (на фоне  $N_{30}K_{30}$ ) составила 2,4 ц/га, а по зерновым предшественникам — 0,9 ц/га.

На выщелоченных черноземах Читинской области в опытах Забайкальского научно-исследовательского и технологического института овцеводства и мясного скотоводства (Максимов, Максимова, 1977) в среднем за 3 года при посеве яровой пшеницы по пару прибавки урожая от внесения возрастающих доз фосфора составили (в ц/га): от  $P_{30}$  — 2,2;  $P_{50}$  — 2,9;  $P_{90}$  — 3,8;  $P_{120}$  — 4,2;  $P_{150}$  — 4,3 (фон без удобрений); по фону  $N_{60}$  прибавки от этих же доз были соответственно 2,4; 4,3; 4,7; 4,6; 5,2 (урожай на обоих фонах 8,7 ц/га).

В лесостепной зоне преобладают почвы со средним, повышенным и высоким содержанием обменного калия. Из 40 млн. га обследованной пашни только 7 млн. га имели низкое содержание обменного калия. Действие калийных удобрений на почвах лесостепной зоны уступает действию азотных и фосфорных удобрений и слабее действия калийных удобрений в Нечерноземной зоне.

По данным Географической сети опытов с удобрениями, средние прибавки сельскохозяйственных культур от калийных удобрений выражались следующими величинами (в ц/га): озимая пшеница — 1,5—2,3, яровая пшеница — 0,5—1,3, сахарная свекла — 10—30, кукуруза (силос) — 10—25, картофель — 5—20. В связи с различной обеспеченностью почв отдельных районов подвижным калием отмечается неодинаковая эффективность калийных удобрений.

В Украинской ССР наименее обеспечены калием почвы Полесья и западных районов, там почвы с низким содержанием обменного калия достигают 70—90%. В этих районах отмечена высокая эффективность калийных удобрений (табл. 101).

101. Эффективность калийных удобрений (данные Украинского НИИПА)

Опытная станция	Почва	Урожай (в ц/га)		Прибавка (в ц/га) от доз калия (в кг/га)		
		без удобрений	по фону НР	20	40	60
Волынская Черниговская Ровенская	Чернозем оподзоленный	—	40,5	1,2	3,1	3,8
	Чернозем выщелоченный	24,9	30,8	3,4	5,7	6,4
	Чернозем маломощный малогумусный	33,3	36,4	2,2	3,1	2,3

В среднем же на почвах Лесостепи УССР, по данным 155 географических опытов, калийные удобрения повышали урожай озимой пшеницы на 1,5 ц/га. Сахарная свекла по усредненным данным опытов Географической сети ВИУА, при внесении калийных удобрений повышала урожай в Лесостепи УССР на 7—10 ц/га (см. табл. 99).

В опытах НИИ земледелия и животноводства западных районов УССР, Тернопольской опытной станции при внесении 60—90 кг  $K_2O$  на 1 га были получены более высокие прибавки урожая — 25—46 ц/га.

В опытах зональных агрохимических лабораторий в Донецко-Приднепровском районе на мощных и выщелоченных черноземах прибавки урожая сахарной свеклы от внесения калийных удобрений в дозах 60—90 кг/га составили 15—23 ц/га (урожай на контроле 310 ц/га, по фону  $NP$  — 344 ц/га); в юго-западном районе на оподзоленных черноземах прибавки от доз 60, 90 и 120 кг/га составили соответственно 19, 27 и 37 ц/га при урожае без удобрений 285 ц/га, а по фону  $NP$  — 347 ц/га.

В Центрально-Черноземной зоне РСФСР почв с низким содержанием обменного калия лишь немногим больше 6% и более 70% с повышенным и высоким содержанием. Действие калийных удобрений в этой зоне не сильное. По данным опытов Географической сети ВИУА, озимая пшеница при внесении 40—60 кг  $K_2O$  на 1 га на фоне  $N_{60}P_{40-90}$  (39 опытов) повышала урожай на 1,7 ц/га. Близкая к этому прибавка урожаев от калия приводится в сводке профессора П. Г. Найдина. В опытах зональных агрохимических лабораторий в среднем за 5 лет прибавки урожая озимой пшеницы при внесении 40—80 кг  $K_2O$  составили от 0,4—0,8 ц/га на черноземах типичных до 1,8—2,3 ц/га на оподзоленных выщелоченных черноземах.

Сахарная свекла повышала урожай от калия (60—90 кг  $K_2O$ ) на 9—22 ц/га (см. табл. 99).

В опытах зональных агрохимических лабораторий на черноземах выщелоченных и типичных прибавки урожая корней составили соответственно: при внесении 60 кг  $K_2O$  — 13 ц/га, 90 кг — 21—30 ц/га, 120 кг — 23—26 ц/га.

Кукуруза на силос в Центрально-Черноземной зоне хорошо отзывалась на внесение калийных удобрений. По данным опытных учреждений, при дозе  $K_2O$ —95 кг/га урожай силосной массы кукурузы повышался на 25 ц/га.

Почвы Поволжского района также хорошо обеспечены подвижным калием (низкое содержание характерно только для 8% почв). В связи с этим, а также с большей засушливостью климата действие калийных удобрений там слабее, чем в Лесостепи УССР и в Центрально-Черноземной зоне. В среднем по 25 опытам, проведенным в 1961—1969 гг. на выщелоченных черноземах Мордовской опытной станции, Мордовского университета, Петровской селекционно-опытной станции, Ульяновской опытной станции, Баш-



кирского НИИСХ и Ишимбайской ЗАЛ Башкирской АССР, прибавки урожая озимых хлебов от калийных удобрений составили 0,7—0,8 ц/га (при урожае на контроле 22 ц/га). По сводке П. Г. Найдина прибавки урожая озимых от калийных удобрений составляли около 0,2 ц/га.

Урожай яровой пшеницы, по данным 29 опытов Географической сети, при внесении 40—60 кг  $K_2O$  повышался на 0,9 ц/га при урожае на неудобренном контроле 23,4 ц/га.

Сахарная свекла, по данным пяти географических опытов на выщелоченных черноземах Волго-Вятского и Поволжского районов, дала прибавку урожая 19 и 27 ц/га при внесении 90 и 120 кг  $K_2O$  на фоне  $N_{60}P_{60}$  (урожай на контроле 396 ц/га, по фону  $NP$  — 330 ц/га).

Силосная кукуруза от дозы  $K_2O$  — 60 кг/га увеличила урожай на 6 ц/га. Однако в Волго-Вятском районе на темно-серых почвах и выщелоченных черноземах на безнавозном фоне были получены значительные прибавки урожая зеленой массы при внесении калийных удобрений (данные Чувашской и Мордовской опытных станций): в среднем за 3 года по дозам калийных удобрений 60, 90 и 120 кг  $K_2O$  на 1 га было получено дополнительно 11, 30 и 26 ц силосной массы с 1 га. На фоне навоза положительного эффекта от калийных удобрений не получено.

В почвах Северного Кавказа содержится большое количество обменного калия, почв с низким содержанием калия только 4%. Действие калийных удобрений там не сильное. По озимой пшенице в опытах Географической сети за 1965—1978 гг. была получена прибавка урожая 1,7 ц/га. В опытах Гулькевичской ЗАЛ (Краснодарский край) на выщелоченных и слитых черноземах от калийных удобрений были получены прибавки урожая озимой пшеницы 1 ц/га, на серых лесостепных почвах — 1,5 ц/га.

Опыты Ставропольского СХИ на выщелоченных черноземах в 1962—1965 гг. показали, что роль калийных удобрений усиливается при посеве пшеницы после бобовых культур и подсолнечника. Если по предшественникам пар черный и озимая пшеница прибавка урожая от внесения  $K_{40}$  составила соответственно 0,6 и 0,5 ц/га, то после силосной кукурузы — 1,1 ц/га, после гороха на зерно — 3,6 ц/га, после подсолнечника — 4,3 ц/га.

Прибавка урожая сахарной свеклы при внесении  $K_{60}$  составила 14 ц/га. По данным 10 опытов Географической сети, увеличение дозы  $K_2O$  с 60 до 120 кг/га не привело к росту урожайности.

Подсолнечник при добавлении к азотно-фосфорным удобрениям калийных либо незначительно повышал урожай, либо даже снижал его.

В Зауралье и Западной Сибири, где почв с низким содержанием обменного калия 1—3%, в большинстве опытов действие калийных удобрений было слабое. Так, в Зауралье, по данным 11 опытов Географической сети (Челябинская, Курганская и Шадринская опытные станции, 1965—1978 гг.), прибавка урожая яровой пше-

ницы от калийных удобрений в дозе  $K_{40}$  составила 0,3 ц/га (урожай без удобрений 25,2 ц/га, по фону  $N_{40}P_{40}$  — 28,8 ц/га).

На выщелоченных черноземах Западной Сибири, по данным опытов Географической сети за 1963—1978 гг., прибавка урожая яровой пшеницы от калия составила в среднем 0,8 ц/га, однако в ряде опытов, проведенных в Предалтайской провинции, она повышалась до 1—2 ц/га.

В Восточной Сибири, в Красноярском крае почв с низким содержанием обменного калия около 8%; больше (до 37%) таких почв на остальной территории этого природно-экономического района. Поэтому в Восточной Сибири действие калийных удобрений проявляется несколько сильнее.

По данным 78 опытов Географической сети и агрохимслужбы за 1965—1973 гг., на выщелоченных черноземах Красноярского края прибавка урожая яровой пшеницы от внесения 40 кг  $K_2O$  составила 1 ц/га. Еще большая прибавка урожая (2,2 ц/га) от той же дозы калия получена на серых лесных почвах Иркутской области (урожай без удобрений 19,9 ц/га, по фону  $NP$  — 26,7 ц/га).

Эффективность калийных удобрений под яровую пшеницу связана с предшествующей культурой. По данным Красноярского НИИСХ, в среднем за 3 года прибавка урожая яровой пшеницы, идущей по пшенице, при внесении 40 кг  $K_2O$  на 1 га составила 0,4 ц/га, при посеве пшеницы по кукурузе — 1,9 ц/га.

На выщелоченных черноземах Читинской области, по данным Забайкальского НИИ овцеводства и мясного скотоводства, действие калийных удобрений на яровую пшеницу было очень слабым (прибавка урожая 0,2—0,3 ц/га), а в некоторых опытах совсем не проявлялась.

**Степная зона** характеризуется почвами с низким, средним и повышенным содержанием подвижных фосфатов.

Действие фосфорных удобрений в степной зоне проявляется вполне отчетливо; во многих крупных районах оно значительно сильнее, чем в лесостепной зоне. Вследствие того что действие азотных удобрений в степной зоне заметно ослабевает, потребность в фосфоре выдвигается на первое место.

В Молдавской ССР 64—74% черноземов обыкновенных и карбонатных плохо обеспечены подвижным фосфором. По данным Молдавского НИИ почвоведения и агрохимии за 1966—1967 гг., на карбонатном черноземе урожай озимой пшеницы при внесении  $P_{60}$  и  $P_{120}$  (без азотно-калийного фона) повышался на 10,8 и 14,5 ц/га при урожае на контроле 11,3 ц/га.

Высокие прибавки урожая озимой пшеницы (4,4; 6,4 и 9 ц/га от доз  $P_2O_5$  — 30, 60 и 90 кг/га при урожае без удобрений 9,2 ц/га, а по фону  $N_{60}K_{30}$  — 10,8 ц/га) были получены также в опытах Центральной агрохимической лаборатории Молдавской ССР (в среднем за 5 лет) на обыкновенном черноземе. По данным того же учреждения, в среднем за 4 года кукуруза на обыкновенном черноземе повысила урожай на 4,2 и 5,3 ц/га, а на карбонатном — на 6,1

и 9,4 ц/га при внесении 60 и 90 кг  $P_2O_5$  (урожай без удобрений на этих почвах составлял соответственно 42 и 30,3 ц/га, а по фону  $N_{60}K_{60}$  — 47,4 и 30 ц/га).

Сахарная свекла, по данным Географической сети опытов, при внесении 60 кг  $P_2O_5$  повышала урожай на обыкновенном черноземе на 30—40 ц/га, на карбонатном на 40—50 ц/га, на выщелоченном на 28 ц/га. При увеличении дозы  $P_2O_5$  с 60 до 120 кг/га урожай свеклы на карбонатном черноземе повышался еще на 20 ц/га.

Подсолнечник, по данным опытов Географической сети и Центральной агрохимической лаборатории Молдавской ССР, увеличивал урожай от внесения одного фосфорного удобрения в дозе  $P_{60}$  на 3,4—3,7 ц/га. При увеличении дозы фосфора в полном минеральном удобрении с 30 до 60 и 90 кг/га прибавки урожая составляли 3,1; 4,8 и 6 ц/га (Н. Л. Вайнберг).

В степи Украины действие фосфорных удобрений проявляется сильнее, чем в лесостепи. В целом это согласуется с меньшей обеспеченностью почв степной зоны УССР подвижным фосфором по сравнению с лесостепной зоной (Н. К. Крупский и др.).

По данным 69 опытов Географической сети за 1965—1978 гг., прибавка урожая озимой пшеницы от внесения  $P_{60}$  на фоне  $N_{40-60}K_{40}$  составила 4 ц/га (в Лесостепи УССР средняя прибавка от оптимальной дозы  $P_{40}$  равнялась 2,6 ц/га). Внесение под озимую пшеницу навоза (10 т/га) несколько снижало эффективность фосфорных удобрений, однако она оставалась достаточно высокой — 3—5 ц/га.

Отзывчивость кукурузы на фосфорные удобрения (как и на полное минеральное удобрение) зависит от климатических условий. Так, наименьшие прибавки урожая зерна от фосфатов (0,6—1,7 ц/га) были получены в более засушливой донецкой и в южной степи, тогда как в северной правобережной и левобережной днепроградской степи от дозы  $P_{30-60}$  урожай повышался на 3,7—4,6 ц/га (Г. Г. Дуда и М. Г. Носальский).

Сахарная свекла, по данным опытов Географической сети за 1964—1969 гг., в степной зоне УССР повышала урожай корней на 38—42 ц/га при внесении  $P_{60-90}$ . Опыты зональных агрохимических лабораторий 1965—1972 гг. показали, что на обыкновенных черноземах северной степи УССР прибавки урожая корней от внесения на 1 га 60, 90 и 120 кг  $P_2O_5$ , составили 25, 26 и 29 ц/га; урожай без удобрений — 280 ц/га, по фону НК — 308 ц/га (Б. С. Носко и др.); на обыкновенных черноземах южного района прибавки урожая равнялись 15—19 ц/га (Н. Н. Михайлов и В. Е. Явтушенко).

Подсолнечник, по данным опытных станций степной зоны УССР (Кировоградская, Эрастовская, Розовская, Запорожская, Донецкая, Ворошиловградская, Одесская, Николаевская), повышал урожай семян от внесения  $P_{60}$  на 1,1—2,2 ц/га. На фоне азота прибавки урожая от внесения  $P_{60-90}$ , по данным опытов за 1967—1972 гг., составили 1—1,5 ц/га (при урожае на контроле 19,8 ц/га, по фону  $N_{30}$  — 21,5 ц/га).

На Северном Кавказе предкавказские и приазовские карбонатные черноземы, обыкновенные и южные черноземы, как правило, слабо обеспечены подвижным фосфором. Основная зерновая культура в этих районах — озимая пшеница хорошо отзывается на внесение фосфорных удобрений. По данным 84 опытов Географической сети за 1965—1978 гг. прибавка урожая озимой пшеницы от внесения  $P_{60}$  составила 4,6 ц/га.

В ряде опытов прибавки от фосфатов были значительно выше. Так, в опытах Донского НИИСХ они составляли 5—6 ц/га, а в опытах Ставропольского НИИСХ — 7,5—8,5 ц/га при дозе  $P_{60}$  (В. Г. Минеев и М. М. Ивлев).

В рассматриваемых районах отмечается высокое последствие фосфорных удобрений. Так, по данным Донского НИИСХ, в среднем за 3 года озимая пшеница повысила урожай на 4,1—5,8 ц/га при внесении  $P_2O_5$  — 30 и 60 кг/га под предшествовавшую паровую озимь на фоне азотно-калийных удобрений.

Действие удобрений на урожай зерна кукурузы сильно зависит, помимо обеспеченности почв фосфатами, от осадков летних месяцев, особенно июля. Поэтому в опытах были получены различные прибавки урожая от фосфорных удобрений.

В двухлетних опытах Ставропольского НИИСХ на предкавказском карбонатном черноземе при внесении  $P_{60}$  была получена прибавка урожая зерна 5,7 ц/га (М. М. Ивлев и П. Я. Тадеосян); в трехлетних опытах Ставропольской опытной станции ВНИИ кукурузы прибавки урожая зерна составляли 3,9—2,1 ц/га при дозе  $P_{30-60}$  (А. Т. Булай и Ю. К. Кудзин); в трехлетних опытах Зерноградской селекционной станции на карбонатном черноземе фосфаты не повысили урожая силосной массы.

Сахарная свекла на карбонатных черноземах значительно увеличивает урожай при внесении фосфорных удобрений. По сводке А. И. Симакина на карбонатных черноземах Краснодарского края прибавка урожая корней от внесения  $P_{45}$  колебалась в разных опытах от 20 до 57 ц/га.

По данным агрохимических лабораторий Краснодарского края за 1966—1976 гг., на слабовыщелоченных и карбонатных черноземах средняя прибавка урожая сахарной свеклы при внесении  $P_{45-60}$  на фоне  $N_{45}K_{50}$  равнялась 27 ц/га (урожай на фоне НК — 358 ц/га). Повышение доз фосфора до 90—135 кг/га увеличивало урожай еще на 12 ц/га.

Подсолнечник, по данным Б. К. Игнатьева, на слабовыщелоченных и карбонатных черноземах Краснодарского края повышал урожай от фосфорных удобрений на 0,9—2,5 ц/га. По данным опытов Географической сети за 1967—1972 гг. (Ставропольский НИИСХ и Ставропольская опытная станция ВНИИ кукурузы), внесение  $P_{60}$  на фоне  $N_{45}$  на обыкновенных и карбонатных черноземах повысило урожай семян подсолнечника на 4,5 ц/га.

Черноземные степи Поволжья (обыкновенные и южные черноземы) в сравнении с Северным Кавказом лучше обеспечены по-

движными (кислоторастворимыми) формами фосфора. Там более 50% почв характеризуется средним и повышенным содержанием подвижных фосфатов. Это обстоятельство в сочетании с засушливостью климата, по-видимому, обуславливает умеренно среднюю эффективность фосфорных удобрений.

В среднем из 17 опытов Географической сети за 1965—1978 гг. прибавка урожая озимых хлебов на обыкновенных и южных черноземах от внесения  $P_{40-60}$  на фоне НК составила 3,8 ц/га (урожай на контроле 29,3 ц/га). Яровая пшеница по результатам 20 опытов Географической сети за те же годы повышала урожай на 1,9 ц/га при внесении  $P_{60}$  на фоне  $N_{40}P_{40}$  (урожай без удобрений 21,1 ц/га).

Опыты, проведенные в 1968—1970 гг. Куйбышевской ЗАЛ (А. Г. Марковский и В. Ф. Федоров) на обыкновенных и южных черноземах, показали, что при внесении  $P_{30}$  на фоне  $N_{30}K_{30}$  была получена прибавка урожая яровой пшеницы 1,2 ц/га (урожай без удобрений 17,3 ц/га, по фону НК — 18,4 ц/га) и ячменя 1,4 ц/га (урожай без удобрений 20,3 ц/га, по фону НК — 22,5 ц/га).

В более обширной сводке результатов опытов агрохимических лабораторий степных районов Поволжья и Урала (Н. Н. Михайлов) на черноземах обыкновенных и южных прибавка урожая яровой пшеницы от внесения  $P_{40-60}$  в среднем за 2 года составила 1,8—2,4 ц/га (при урожае без удобрений 14,3—17,4 ц/га).

Действие фосфорных удобрений на урожай сахарной свеклы на обыкновенных черноземах Поволжья характеризуется устойчивым положительным эффектом. В среднем из пяти географических опытов (Балашовская опытная станция, Оренбургская опытная станция) в среднем за 2 года были получены следующие результаты: урожай без удобрений — 162 ц/га, по фону  $N_{60}K_{60}$  — 182 ц/га, прибавки от  $P_{60}$  — 19 ц/га, от  $P_{90}$  — 29 ц/га, от  $P_{120}$  — 30 ц/га. На обыкновенных и карбонатных черноземах Куйбышевской области (А. Г. Марковский) прибавки урожая корней от внесения  $P_{60}$  равны 20—26 ц/га.

В четырехлетних опытах Башкирской республиканской агрохимлаборатории на типичном черноземе Чишминского района при внесении фосфора в дозе 60, 90 и 120 кг/га на фоне  $N_{60}K_{60}$  урожай свеклы повысился на 40, 57 и 60 ц/га (урожай по фону НК — 203 ц/га, на контроле 166 ц/га). Увеличение дозы фосфора до 150 кг/га не приводило к дальнейшему росту урожая.

Подсолнечник в трехлетних опытах Волгоградского СХИ на обыкновенном черноземе повысил урожай на 2,4 ц/га при внесении  $P_{60}K_{60}$ . Добавление к ним азота положительного результата не дало.

Для обыкновенных и южных черноземов Поволжья установлено заметное последствие фосфатов в течение 2—3 лет. Так, в стационарном опыте Куйбышевского СХИ на обыкновенном черноземе последствие в первый, второй и третий годы составляло примерно 70, 60 и 35% прямого действия.

В черноземной степи азиатской части СССР отзывчивость культур на фосфорные удобрения достаточно высока. Так, в Северном Казахстане на обыкновенных и южных черноземах, по данным опытов Географической сети за 1963—1978 гг., яровая пшеница повышала урожай на 2 ц/га при внесении  $P_{60}$  (урожай на неудобренном контроле 12,7 ц/га).

По сводке О. В. Сдобниковой за 1937—1968 гг. в степи Северного Казахстана и Западной Сибири при внесении  $P_{60}$  прибавка урожая яровой пшеницы составила 2,5 ц/га. На такую же прибавку урожая яровой пшеницы указывает Н. Н. Михайлов, основываясь на трехлетних данных опытов зональных агрохимических лабораторий на обыкновенных черноземах Западной и Восточной Сибири.

По данным опытных учреждений Северного Казахстана и Западной Сибири за 1947—1969 гг. (О. В. Сдобникова), в степной зоне при возрастании дозы фосфорных удобрений прибавка урожая яровой пшеницы медленно растет, но оплата каждого килограмма  $P_2O_5$  снижается.

	$P_{20}$	$P_{30}$	$P_{40}$	$P_{60}$	$P_{80}$	$P_{120}$
Прибавка урожая (в ц/га)	1,4	1,9	1,7	2,3	3,0	3,5
Оплата 1 кг $P_2O_5$ (в кг зерна)	7,0	6,3	4,2	3,8	3,7	2,9

В описываемой зоне отмечается длительное последствие фосфорных удобрений. Так, в опытах ВНИИ зернового хозяйства (О. В. Сдобникова) внесение в 1964 г. фосфорных удобрений и их последствие в течение четырех последующих лет дали следующие результаты (табл. 102); ежегодное внесение новых количеств фосфатов на фоне уже внесенных фосфорных удобрений не дает достаточно удовлетворительного роста урожая.

В степной зоне, особенно в восточных районах, большое значение имеет внесение фосфорных удобрений в рядки при посеве зерновых. Во многих случаях этот прием является единственным при-

**102. Действие и последствие фосфорных удобрений на урожай яровой пшеницы (в ц/га)**

Дозы и время внесения	Урожай по годам					Среднее за 5 лет	
	1964	1965	1966	1967	1968	урожай	прибавка
Без удобрений	20,9	5,3	14,7	3,3	8,3	10,5	—
$P_{40}$ в 1964 г.	23,6	5,3	16,8	3,8	10,1	11,9	1,4
$P_{40}$ ежегодно	23,6	5,3	17,0	4,3	11,0	12,2	1,7
$P_{80}$ в 1964 г.	24,6	5,5	18,2	4,5	9,5	12,5	2,0
$P_{80}$ в 1964 г. и по $P_{40}$ ежегодно	24,6	5,0	19,3	5,3	10,1	12,9	2,4
$P_{120}$ в 1964 г.	25,5	5,0	17,9	4,0	9,6	12,4	1,9
$P_{120}$ в 1964 г. и по $P_{40}$ ежегодно	25,5	5,0	18,0	4,2	10,9	12,7	2,2

емом удобрения, имеющим широкое практическое применение, вследствие пока еще ограниченных ресурсов фосфорных удобрений. Эффективность рядкового внесения фосфатов в дозе  $P_2O_5$  — 10—12 кг/га при посеве озимых выражается средней прибавкой урожая 2,6—3 ц/га (102 опыта за 1958—1970 гг.); при внесении 10—20 кг/га в рядки при посеве яровых зерновых в степной зоне прибавка урожая составляла 1—2 ц/га (158 опытов за 1958—1970 гг.).

Обеспеченность почв степной зоны обменным калием довольно высока: только примерно пятая часть почв имеет низкое содержание обменного калия. В силу этого эффективность калийных удобрений в степной зоне слабая.

В Молдавской ССР на обыкновенных и карбонатных черноземах, по данным Кишиневской республиканской агрохимической лаборатории за 1966—1969 гг. (Н. Л. Вайнберг), калийные удобрения не влияли на урожай озимой пшеницы (колебания в урожае —  $0,1 \pm 0,1$  ц/га в среднем из 15 опытов) и слабо повышали урожай подсолнечника (на 0,8 ц/га от  $K_{60}$  на обыкновенном черноземе). Действие калия было более сильным в посевах кукурузы и сахарной свеклы. При внесении  $K_{60}$  урожай зерна кукурузы возрос на 2,8—2,9 ц/га, сахарной свеклы — на 36 ц/га на обыкновенном черноземе и на 52 ц/га на карбонатном.

В краткосрочных опытах Географической сети (1960—1972 гг.) сахарная свекла на типичных и обыкновенных черноземах повысила урожай от внесения  $K_{60}$  на 22 ц/га (урожай по  $N_{60}P_{60}$  — 374 ц/га), а на карбонатных черноземах — на 29 ц/га (урожай по  $N_{60}P_{60}$  — 220 ц/га). Подсолнечник на типичных черноземах повысил урожай на 0,7 ц/га при внесении  $K_{60}$  (урожай по  $N_{60}P_{60}$  — 21,7 ц/га).

В степной зоне УССР озимая пшеница, по данным 69 опытов Географической сети за 1965—1978 гг., повышала урожай на 1,3 ц/га при внесении  $K_{40}$  на фоне  $N_{50}P_{60}$  (урожай без удобрений 32,6 ц/га). По данным Украинского НИИ почвоведения и агрохимии, в северной правобережной и левобережной днепровской степи эффективность калия несколько выше (прибавки урожая озимой пшеницы 1,2—1,8 ц/га), чем в других провинциях степи УССР (прибавки урожая в юго-западной, крымской, северной донецкой степи колебались от 0 до 0,6 ц/га).

По данным Эрастовской и Розовской опытных станций (северная днепровская степь), ячмень при внесении  $K_{40}$  повысил урожай на 2,6 ц/га (при урожае по фону  $N_{40}P_{40}$  — 28,9 ц/га). Кукуруза на зерно по сводке Украинского НИИП также лучше отзывалась на калийные удобрения в северной правобережной и левобережной днепровской степи: прибавки от  $K_{40-60}$  составляли 1,7—0,6 ц/га, в других провинциях степи — 0,1—0,5 ц/га.

Сахарная свекла в северной степи УССР, по данным географических опытов за 1960—1972 гг., повысила урожай на 17 ц/га при внесении  $K_{50}$  (урожай на фоне  $N_{50}P_{60}$  — 267 ц/га, без удобрений

246 ц/га). По данным опытов зональных агрохимических лабораторий за 1967—1970 гг., на обыкновенных черноземах Донецко-Приднепровского района прибавки корней от внесения  $K_{60, 90, 120}$  составили 13, 15 и 13 ц/га (урожай по фону  $NP$  — 326 ц/га, без удобрений 290 ц/га).

Подсолнечник на внесение калийных удобрений в северной степи в подавляющей большей части опытов не отзывался. Только на южных черноземах причерноморской и крымской степей от калийных удобрений ( $K_{30-60}$ ) была получена средняя прибавка — 1,1 — 2,1 ц/га (урожай по фону  $N_{60}P_{60}$  — 23,2—13,1 ц/га).

На Северном Кавказе почвы хорошо обеспечены подвижными формами калия. Эффект от калийных удобрений там невысок. Озимая пшеница на карбонатных черноземах в 84 географических опытах повысила урожай на 0,9 ц/га при внесении  $K_{40}$  на фоне  $N_{40}P_{60}$  (урожай на контроле без удобрений 31,1 ц/га). Ничтожный эффект от калийных удобрений (0,2 ц/га при урожае 39,4 ц/га по  $NP$ ) приводится и в сводке А. И. Симакина по северной зоне Краснодарского края. По данным Гулькевичской ЗАЛ Краснодарского края, прибавка урожая озимой пшеницы при внесении  $K_{40}$  на фоне  $N_{40-60}P_{60}$  на слабовыщелоченных и карбонатных черноземах составила 0,8 ц/га.

Сахарная свекла на слабовыщелоченных и карбонатных черноземах Северного Кавказа заметно повышала урожай от калийных удобрений. Так, по данным Северо-Кавказского филиала ВНИС, прибавка урожая корней от внесения калийных удобрений составляла 21—45 ц/га (А. И. Симакин).

В среднем из 28 опытов, проведенных зональными агрохимическими лабораториями в 1966—1976 гг. на слабовыщелоченных и карбонатных черноземах Краснодарского края, прибавка урожая корней сахарной свеклы от внесения  $K_{50}$  составила 15 ц/га (урожай по  $N_{45}P_{50}$  — 373 ц/га, урожай без удобрений 326 ц/га). Увеличение дозы калия до 100 кг/га положительного эффекта не давало.

На обыкновенных и карбонатных черноземах Ставропольского края получено дополнительно 1,6 ц подсолнечника с 1 га при внесении  $K_{60}$  на фоне  $N_{56}P_{60}$  (урожай без удобрений 20,4 ц/га, по фону  $NP$  — 23,2 ц/га).

Калий на фоне азотно-фосфорных удобрений не оказывал положительного влияния на урожай зерна и силосной массы кукурузы, но в парных комбинациях, особенно с азотом, положительное действие его проявлялось. По данным В. В. Касаткина, прибавки урожая зерна кукурузы на карбонатном черноземе Павловского опорного пункта при внесении на 1 га 45 кг каждого из действующих веществ в среднем за 2 года составили: от  $P$  — 1,5 ц/га, от  $N$  — 2,5 ц/га, от  $K$  — 2,5 ц/га, от  $NK$  — 4,5 ц/га, от  $PK$  — 2,3 ц/га, от  $NP$  — 4,8 ц/га, от  $NPK$  — 3 ц/га (Симакин, 1969).

Обыкновенные и южные черноземы Поволжья хорошо обеспечены обменным калием. Так, в Куйбышевской области только 7% обыкновенных черноземов характеризуются средним и малым со-



держанием обменного калия, в Саратовской области 5%, в Волгоградской 11% почв с низким содержанием обменного калия. Это обстоятельство в сочетании с засушливостью климата определяет слабую эффективность калийных удобрений. Так, озимая пшеница в опытах Географической сети (1965—1978 гг.) повысила урожай от внесения  $K_{40}$  на 1 ц/га (урожай без удобрений 29,3 ц/га). Озимая рожь в опытах Куйбышевского СХИ и Куйбышевской опытной станции в среднем за 3 года повысила урожай на 1,6 ц/га от внесения  $K_{60}$  (урожай без удобрений 26,3 ц/га, по  $N_{40-60}P_{40-60}$  — 28,7 ц/га). Яровая пшеница в среднем за 1963—1978 гг. повысила урожай от  $K_{40}$  на 0,4 ц/га (урожай по фону  $N_{40}P_{40}$  — 23,5 ц/га, без удобрения 21,1 ц/га). В опытах Куйбышевской зональной агрохимической лаборатории яровая пшеница в среднем за 3 года на обыкновенных и южных черноземах повысила урожай от калия на 0,6 ц/га на фоне  $NP$  (урожай без удобрений 17,3 ц/га). Урожай ячменя повысился от  $K_{30}$  на 0,5 ц/га (урожай без удобрений 20,3 ц/га).

Подсолнечник в опытах Волгоградского СХИ в среднем за 3 года на обыкновенном черноземе положительно реагировал на внесение фосфорно-калийных удобрений (в дозах по 60 кг/га) и не отзывался на азотные туки. Прибавка в среднем за 3 года составила 2,4 ц/га (урожай без удобрений 10 ц/га).

Сахарная свекла на Балашовской и Оренбургской опытных станциях при внесении  $K_{90}$  дала прибавку урожая корней 10 ц/га (урожай без удобрений 162 ц/га; по фону  $N_{60}P_{60}$  — 200 ц/га). В опытах Куйбышевского СХИ и Куйбышевской опытной станции прибавка урожая корней от внесения калийных удобрений составила 6—12 ц/га.

Кукуруза в среднем за 7 лет при внесении  $K_{30-60}$  повысила урожай силосной массы на 9 ц/га (урожай без удобрений 148 ц/га; по фону  $N_{40-60}P_{40-60}$  — 220 ц/га).

По сводке О. В. Сдобниковой в южной лесостепи и степи Западной Сибири и Северного Казахстана прибавка урожая яровой пшеницы при дозе  $K_{30-45}$  в среднем из 42 опытов составила 0,3 ц/га. В среднем за 8 лет в Северном Казахстане кукуруза на силос повысила урожай от внесения калийных удобрений (45 кг/га) на 24 ц/га.

Обстоятельное обобщение И. И. Синягиным и Н. Я. Кузнецовым результатов опытов в Сибири (в основном за 1965—1976 гг.) показало (табл. 103), что на обыкновенных черноземах дозы калия 30—60 кг/га дают прирост урожая яровой пшеницы 0,9—1 ц/га, картофеля 5 ц/га, зеленой массы кукурузы 12 ц/га. На солонцеватых и южных черноземах калийные удобрения фактически не действовали (табл. 103).

Эффективность калийных удобрений на обыкновенных черноземах значительно возрастала при посеве яровой пшеницы после кукурузы. Так, в опытах Ужурской опытной станции, Красноярской и Абаканской агрохимлабораторий в среднем за 4 года прибавки

# 103. Эффективность калийных удобрений в Сибири

Район	Почва	Культура	Урожай (в ц/га)		При- бавка от калия (в ц/га)	Доза НРК	Число опытов
			без удоб- рений	по фону НР			
Зауралье	Чернозем обыкновенный	Пшеница яровая	18,8	21,0	1,0	30—30—30	46
	Чернозем солонцеватый	То же	20,8	23,3	0,4	30—30—30	43
Западно-Сибирская равнина	Чернозем обыкновенный	Картофель	138	197	5,0	60—60—60	21
		Кукуруза	305	410	12,0	60—60—60	16
Предбайкальская провинция	Чернозем южный	Пшеница яровая	134	15,0	0,2	40—40—40	—
	Чернозем обыкновенный	То же	17,0	19,7	0,9	30—30—30	143
Восточная Сибирь	То же	»	11,4	16,2	1,0	40—40—40	4
	Чернозем южный	»	11,7	—	—0,2	0—10—90	3
То же (Тувинская АССР)	Чернозем обыкновенный	»	10,1	14,1	0,9	60—60—60	—

урожая от внесения  $K_{40-60}$  при посеве пшеницы после пара, пшеницы и однолетних трав колебались от 0,2 до 1 ц/га, тогда как при посеве пшеницы по кукурузе прибавки урожая составили 1,8—3,2 ц/га.

В сухостепной зоне около 55% почв характеризуется низким содержанием подвижных фосфатов, 45% почв — средним и повышенным. Однако и в этих почвах степень подвижности фосфатов невелика. Во многих районах этой зоны в еще большей степени, чем в черноземной степи, проявляется доминирующая роль фосфора. Лишь при достаточном обеспечении растений влагой на первое место по эффективности выходят азотные удобрения (за некоторыми исключениями). Например, посевы озимой пшеницы на юге СССР, в Закавказье и посевы яровой пшеницы в Восточной Сибири, Бурятской АССР в большей мере отзываются на внесение азотных удобрений и в неорошаемых условиях.

На темно-каштановых почвах юга СССР (Николаевская область), по данным Николаевской зональной агрохимической лаборатории за 1966—1971 гг., при содержании в почвах 5—10 мг  $P_2O_5$  на 100 г почвы (по Чирикову) прибавка урожая озимой пшеницы Безостая 1 от внесения  $P_{40}$  составила 1,4 ц/га при урожае без удобрений 17,1 ц/га, на фоне  $N_{30}K_{40}$  — 23 ц/га. На южных черноземах фосфорные удобрения в той же дозе повысили урожай озимой пшеницы на 2,1 ц/га (урожай без удобрений 20 ц/га, на фоне  $N_{30}K_{40}$  — 24,4 ц/га).

В опытах Крымского СХИ 1968—1970 гг. (Тулин, Андрюшенко, 1972) в условиях орошения на темно-каштановой почве урожай озимой пшеницы в среднем за 3 года при внесении  $P_{60}$  на фоне  $N_{60}$  возрос на 3,4 ц/га; увеличение дозы фосфора до 90 и 120 кг/га вело к дальнейшему повышению урожая соответственно на 2—4 ц/га (урожай без удобрений 29,6 ц/га, по фону  $N_{60}$  — 37,4 ц/га).

На каштановых почвах Закавказья в опытах, проведенных различными учреждениями, фосфорные удобрения в дозе от 30 до 90 кг/га в среднем за 7 лет повысили урожай озимой пшеницы на 3,6 ц/га (урожай без удобрений 20,9 ц/га, по фону НК — 25 ц/га; содержание в почве  $P_2O_5$ , по Мачигину, 0,8—2 мг/100 г почвы).

Озимая пшеница на темно-каштановых почвах Ставропольского края при внесении  $P_{45}$  повысила урожай на 1,7 ц/га в засушливом 1969 г., на 6,9 ц/га во влажном 1968 г. (Н. К. Болдырев). Урожай на контроле без удобрений составлял 5,8 и 24,3 ц/га.

В других опытах (Чернов, Жорин, 1972; Жуликов, 1970) озимая пшеница, высеваемая на темно-каштановых почвах Ставропольского края после гороха, кукурузы на силос и озимой пшеницы, повышала урожай при внесении  $P_{30}$  на 2,5—2,9 ц/га, а при внесении  $P_{60}$  на 3,2—4,3 ц/га при урожае на контроле 17—19 ц/га.

По данным Калмыцкой республиканской агрохимической лаборатории, в среднем за 3 года озимая пшеница Безостая 1 при внесении  $P_{40}$  повысила урожай на 2 ц/га (урожай на контроле без удобрений 27,5 ц/га).

На светло-каштановых почвах Ставрополя, по данным Ставропольского НИИСХ, в среднем за 6 лет от внесения  $P_{40}$  прибавка урожая озимой пшеницы составила 1,1 ц/га. В Поволжье по чистым парам прирост урожая озимой пшеницы от внесения  $P_{40-60}$  — 1,5—2,7 ц/га.

Яровая пшеница в Поволжье на темно-каштановых почвах в трехлетних опытах Саратовского СХИ по зерновым предшественникам повышала урожай на 2 и 3,1 ц/га от внесения фосфорных удобрений в дозах 40—60 кг/га с заделкой осенью под плуг (урожай без удобрений 15,8 ц/га). В опытах того же учреждения на темно-каштановой почве Ершовского района в среднем за 3 года при возделывании яровой пшеницы после кукурузы на силос прибавка урожая составила: при внесении  $P_{40}$  — 0,9 ц/га,  $P_{60}$  — 1,5 ц/га (урожай без удобрений 12,2 ц/га). Наибольший урожай (15,4 ц/га) был получен при внесении  $N_{60}P_{60}K_{60}$ .

В опытах Волгоградской опытной станции на светло-каштановой почве в среднем за 4 года увеличивающиеся дозы фосфора в полном минеральном удобрении обеспечили следующее повышение урожая яровой пшеницы (в ц/га): без удобрений — 12,5, по  $N_{60}K_{30}P_{30}$  — 14,7, по  $N_{60}K_{30}P_{60}$  — 15,1, по  $N_{60}K_{30}P_{90}$  — 15,6. Внесение только фосфора в дозах 60 кг/га в среднем за 3 года дало прибавку урожая 1,2 ц/га.

В трехлетних опытах Уральской опытной станции на каштановых почвах внесение  $P_{40}$  на фоне  $N_{40}K_{40}$  повысило урожай яровой пшеницы на 1,4 ц/га (при урожае без удобрений 14 ц/га).

По данным 26 опытов, проведенных зональными агрохимическими лабораториями на каштановых почвах Саратовской и Волгоградской областей (Н. Н. Михайлов), прибавка урожая яровой пшеницы от внесения  $P_{20, 40}$  и  $P_{60}$  составила соответственно 1,3; 1,6 и 2,5 ц/га. Урожай пшеницы без удобрений (контроль) составил 12,5 ц/га.

На темно-каштановых почвах Казахской ССР в опытах, проведенных Актюбинской опытной станцией, Целиноградским СХИ, Карагандинской и Семипалатинской опытными станциями в течение шести лет, прибавка урожая яровой пшеницы от внесения  $P_{45-60}$  равнялась 2,5 ц/га.

В Западной Сибири (Кулундинская степь), по данным Карасукского сортоучастка Новосибирской области (Н. Я. Кузнецов), при посеве пшеницы по пару урожай возрастал от внесения  $P_{45}$  на 1,3 ц/га (урожай без удобрений 10,8 ц/га). В северной Кулунде, по данным опытов, проведенных Баганской агрохимической лабораторией на южных черноземах, при внесении  $P_{45}$  под лучильник перед посевом прибавки урожая составили 1,3 ц/га, а при внесении  $P_{70}$  — 2,7 ц/га. На солонцеватых почвах эффективность удобрений заметно возрастает при гипсовании. На Северо-Кулундинской опытной станции в среднем за 3 года урожай озимой пшеницы по пару при внесении суперфосфата в дозе  $P_{60}$  повысился на 2,7 ц/га, а на фоне гипса (5 т/га) — на 3,2 ц/га. Урожай проса по

пару возрастал от внесения  $P_{60}$  на фоне 30 т навоза на 2,2 ц/га, на фоне 5 т гипса — на 4,5 ц/га, а на фоне 30 т навоза и 5 т гипса — на 8 ц/га.

В Восточной Сибири на темно-каштановых почвах Хакасской автономной области, плохо обеспеченных подвижными фосфатами, по данным Абаканской ЗАЛ, в среднем за 4 года внесение  $P_{45}$  дало прибавку урожая яровой пшеницы 0,7 ц/га, а по фону  $N_{45}K_{45}$  — 1,1 ц/га (урожай без удобрений 14,6 ц/га, по НК — 15,1 ц/га). В условиях орошения прибавки от фосфора возрастали (на безазотном фоне) до 1,5 ц/га при возделывании пшеницы по кукурузе и до 3 ц/га по зерновому предшественнику.

На южных малогумусных черноземах Тувинской опытной станции (по данным Е. Ж. Балдановой) в среднем за 3 года фосфорные удобрения в дозе  $P_{60}$  обеспечили повышение урожая яровой пшеницы на 1,8 ц/га (урожай без удобрений 10,7 ц/га).

На каштановых почвах Бурятской опытной станции в среднем за 4 года (по данным Г. П. Колмакова и Д. Ф. Иннокентьевой) яровая пшеница по зерновому предшественнику повысила урожай от внесения 40 и 60 кг  $P_2O_5$  на 1 га на 1—1,1 ц/га (урожай без удобрений 8,6 ц/га, по фону  $N_{40}K_{40}$  — 13,5 ц/га).

В опытах Бурятской агрохимлаборатории (1971—1973 гг.) на каштановых почвах  $P_{60}$  на фоне  $N_{30}K_{30}$  дал прибавку урожая яровой пшеницы 1,6 ц/га по паровому предшественнику, по зерновым предшественникам прибавки урожая не было. В опытах Бурятского СХИ при возделывании яровой пшеницы по чистому пару прибавка от фосфора на безазотном фоне в среднем за 3 года составила 1,9 ц/га, на фоне азота — также 1,9 ц/га, на фоне НК — 0,7 ц/га. Наиболее высокий урожай (20,1 ц/га при урожае на контроле 15,6 ц/га) обеспечило азотно-фосфорное удобрение.

На каштановых почвах Читинской области, по данным зональной агрохимлаборатории, прибавки урожая яровой пшеницы от внесения  $P_{40-60}$  составили: на безазотном фоне — 2,5 и 4 ц/га, на фоне  $N_{40}$  — 3,4 и 3,7 ц/га (урожай без удобрений 4,3 ц/га, на фоне  $N_{40}$  — 4,5 ц/га).

Силосная кукуруза на темно-каштановых почвах Семипалатинской опытной станции (при содержании подвижной  $P_2O_5$  — 10 мг/кг почвы) в среднем за 3 года повышала урожай при внесении 30, 60 и 90 кг  $P_2O_5$  на 1 га на 7, 13 и 16 ц/га (урожай без удобрений 153 ц/га, по фону  $N_{80}K_{60}$  — 160 ц/га).

Фосфорные удобрения на каштановых почвах обеспечивают значительное последствие. Так, в опытах Н. М. Болдырева на темно-каштановых почвах Ставропольского края в среднем за 2 года внесение  $P_{45}$  на первой озимой пшенице дало прибавку урожая 3,2 ц/га (урожай без удобрений 10,5 ц/га), в последствии на второй озимой пшенице — 2 ц/га (урожай без удобрений 15,6 ц/га).

Южные черноземы и каштановые почвы богаты обменным калием. Из 22 млн. га обследованных каштановых почв лишь 0,4 %

характеризуются низким содержанием обменного калия. Поэтому действие калийных удобрений в сухостепной зоне слабое.

По двухлетним данным Николаевской ЗАЛ, на южном черноземе прибавка урожая озимой пшеницы от внесения  $K_{40}$  на фоне  $N_{30}P_{40}$  составила 0,5 ц/га при урожае по фону  $NP$  — 26 ц/га.

По данным научно-исследовательских учреждений Закавказья, в среднем за 7 лет при внесении  $K_{50}$  озимая пшеница повысила урожай на 0,7 ц/га (при урожае по фону  $NP$  — 28 ц/га, а без удобрений 22 ц/га).

В северо-восточной части Ставропольского края, по трехлетним данным Ставропольского НИИСХ и Ставропольской ЗАЛ, озимая пшеница по пару при внесении  $K_{50}$  повышала урожай на 0,8 ц/га (урожай без удобрений 25,5 ц/га, по фону  $N_{25}P_{75}$  — 32 ц/га). Доза калия 25 кг/га на фоне  $N_{25}P_{35}$  положительного эффекта не дала. Не было получено положительного эффекта и от внесения  $K_{45}$  на фоне  $N_{45}P_{45}$  при посеве озимой пшеницы по колосовым предшественникам.

В опытах Калмыцкой республиканской агрохимической лаборатории в среднем за 2 года прибавка урожая при дозе  $K_{30}$  колебалась от 0,4 до 1,9 ц/га зерна озимой пшеницы при урожае на неудобренном контроле соответственно 14,2 и 27,9 ц/га.

Яровая пшеница в Поволжье на южных черноземах и каштановых почвах при внесении калийных удобрений на фоне азотно-фосфорных (30—40 кг/га каждого из действующих веществ) повысила урожай в среднем за 8 лет на 0,7 ц/га при урожае без удобрений 16,1 ц/га.

В Северном Казахстане на темно-каштановых почвах, по трехлетним данным Карагандинской опытной станции, от калийных удобрений в дозе 30 кг/га на фоне  $P_{60}$  было получено 0,4 ц/га дополнительного урожая (на контроле без удобрений урожай 8,6 ц/га, по фону  $P_{60}$  — 10,4 ц/га).

В Западной Сибири, по трехлетним данным Карасукского госсортоучастка Новосибирской области, при посеве пшеницы по пару прибавок урожая от калийных удобрений не было.

В Восточной Сибири (Хакасская автономная область) на каштановых почвах внесение  $K_{45}$  повышало урожай яровой пшеницы, по данным Богградского сортоучастка, на 0,3 ц/га (при урожае на контроле 16,6 ц/га), а по данным Абаканской ЗАЛ — на 0,5 ц/га (на фоне  $N_{45}P_{45}$ ) при урожае без удобрений 14,6 ц/га, а по фону  $NP$  — 15,7 ц/га. Четырехлетние опыты Хакасской опытной станции показали, что при орошении прибавка урожая яровой пшеницы от внесения  $K_{30}$  колебалась от 0,4 ц/га (по кукурузе) до 0,9 (по яровой пшенице).

На каштановых почвах Бурятской АССР, по данным 9 опытов, проведенных агрохимлабораторией, при посеве пшеницы по чистому пару внесение  $K_{30}$  на фоне  $N_{30}P_{60}$  повышало урожай на 0,4 ц/га, а по зерновым предшественникам — на 0,1 ц/га. По данным же Бурятской опытной станции и Бурятского СХИ, добавление  $K_{40}$  к  $NP$

снижало урожай пшеницы на 1,5—2,9 ц/га при посеве ее как по чистому пару, так и по зерновому предшественнику (Колмаков, Иннокентьева, 1970; Коробцев, 1974).

На каштановых почвах Читинской области, по данным зональной агрохимлаборатории, внесение  $K_{40}$  на фоне  $N_{40}P_{40}$  повышало урожай яровой пшеницы на 0,5 ц/га, а ярового ячменя на 1,3 ц/га (Максимов, Максимова, 1977).

Очень слабая прибавка от калийных удобрений отмечается и на силосной кукурузе. Так, на каштановых почвах Северного Казахстана в среднем за 8 лет прибавка урожая при внесении  $K_{60}$  составила 4 ц/га (урожай без удобрений 134 ц/га, по фону  $N_{50}P_{60}$  — 145 ц/га).

Таким образом, зональное действие азотных, фосфорных и калийных удобрений подчинено определенным географическим закономерностям.

В действии азотных удобрений определяющим фактором чаще всего является климат и главным образом обеспеченность растений влагой. Во всех зонах улучшение влагообеспеченности вызывает усиление действия азотных удобрений, и, как правило, в этих условиях азотные туки по сравнению с фосфорными и калийными наиболее сильно воздействуют на урожай культур.

В географическом плане эта закономерность выражается в том, что наиболее высокие и устойчивые прибавки урожая от азотных удобрений отмечаются в Нечерноземной зоне. В лесостепной зоне они несколько снижаются, однако в ряде районов не уступают прибавкам, получаемым в Нечерноземной зоне. В черноземной степи действие азота еще более ослабевает. Степень выщелоченности черноземов, связанная с условиями увлажнения, находится в прямой связи с эффективностью азотных туков. В сухостепной зоне наблюдается наиболее резкое ослабление действия азота.

Указанная закономерность в значительной степени связана и с плодородием почв, с их азотным режимом. Так, в Нечерноземной зоне бедность почв азотом, усугубляемая промыванием его подвижных форм по профилю почвы, обуславливает высокий эффект азотных удобрений.

В лесостепной зоне почвы значительно богаче азотом, однако в условиях удовлетворительного обеспечения растений влагой при интенсивных системах земледелия его доступных форм чаще всего недостаточно для получения высоких урожаев. Поэтому эффективность азотных удобрений также бывает весьма высокой.

В черноземной степи в условиях ограниченной влагообеспеченности доступных форм почвенного азота бывает достаточно для получения хороших урожаев. Однако при улучшении влагообеспеченности растений проявляется потребность в дополнительном внесении азота. Во влажные годы, а также при орошении азотные удобрения действуют достаточно сильно. Интенсификация земледелия способствовала заметному повышению эффективности азотных удобрений в этой зоне.

В сухостепной зоне жесткий водный режим определяет сравнительно невысокую урожайность возделываемых культур, для которых бывает достаточно имеющихся запасов доступных форм почвенного азота. Орошение резко усиливает потребность в азоте. Эффективность азота четко проявляется также во влажные годы и в районах со сравнительно удовлетворительными условиями увлажнения (УССР, Закавказье).

Уменьшение влияния азотных удобрений на урожай в восточных, более континентальных районах лесостепной и степной зон вызывается, помимо ухудшения условий влагообеспеченности, отчасти более высоким содержанием азота в почве.

Наконец, такой климатический фактор, как теплообеспеченность территории, также оказывает определенное влияние на эффективность азотных удобрений, поскольку этот фактор обуславливает процессы накопления запасов азота в почве и их превращения в доступные формы.

В действии фосфорных и калийных удобрений определяющим следует признать почвенный фактор — обеспеченность почв доступными формами фосфора и калия и способность почв пополнять запас этих форм, используемых растениями.

Существующие методы определения обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия иногда не отражают действительного содержания этих элементов, способного удовлетворить потребность в них растений. Однако в широком географическом плане выявляется соответствие между результатами агрохимического обследования почв и эффективностью фосфорных и калийных удобрений.

Почвы Нечерноземной зоны в большей своей части бедны подвижными формами фосфора и калия (как и валовыми их запасами). Это подтверждается результатами многочисленных полевых опытов. В этой зоне нередко высокая отзывчивость культур на фосфорные и калийные удобрения. Умеренно средние и невысокие прибавки от фосфорно-калийных туков во многих опытах научно-исследовательских и опытных учреждений связаны чаще всего с окультуренностью почв, с известным обогащением их фосфором и калием в результате предыдущего внесения удобрений.

Немалая роль в колебаниях эффективности фосфорно-калийных удобрений принадлежит и региональным генетическим особенностям почв. Черноземные почвы лесостепи и степи значительно богаче нечерноземных почв и по валовому содержанию, и по содержанию подвижных форм фосфора и калия. Однако, несмотря на значительное содержание кислоторастворимого фосфора в черноземах степи, действие фосфорных удобрений проявляется вполне отчетливо. Это объясняется малой подвижностью почвенных фосфатов. Засушливость степного климата способствует уменьшению подвижности фосфатов почвы. Такое состояние фосфатного режима черноземов степи нарушается либо природными региональными особенностями, либо обогащением почв фосфором в результате хо-



зяйственной деятельности. Следствием этого является снижение эффективности фосфорных удобрений.

Черноземы лесостепи, не отличаясь сильно от черноземов степи по валовому содержанию фосфора и по содержанию его кислото-растворимых форм, характеризуются меньшей долей неусвояемых форм. Поэтому на них наблюдается часто меньшая эффективность фосфорных удобрений по сравнению с черноземами степи. Однако на больших территориях лесостепной зоны на выщелоченных и оподзоленных черноземах получают высокие прибавки урожаев от фосфорных удобрений. Можно считать, что потребность в фосфорных удобрениях проявляется вполне отчетливо во всех зонах по всей территории страны.

Потребность растений в калии на черноземах лесостепи и степи в значительной мере удовлетворяется за счет почвы. Невысокая эффективность калийных удобрений в этих зонах в целом коррелирует с хорошей обеспеченностью почв валовым и подвижным калием. Однако с интенсификацией земледелия, с ростом урожаев и, следовательно, с увеличением выноса калия из почвы потребность в нем начинает проявляться, и прежде всего на почвах легкого механического состава в районах с лучшими условиями увлажнения (в лесостепи и отчасти в степи).

Поэтому отзывчивость культур на калийные удобрения наблюдается прежде всего в лесостепных районах Молдавской ССР, Украинской ССР, Центрально-Черноземной зоне, меньше — в Поволжье, Восточной Сибири. Степные районы УССР и в меньшей мере Северного Кавказа также являются районами заметного действия калийных удобрений. Остальные районы лесостепи и степи могут пока обходиться минимальными поставками калийных удобрений, используемых главным образом под технические культуры, картофель, овощи, кукурузу, многолетние насаждения.

Отмеченные закономерности действия азотных, фосфорных и калийных удобрений по зонам страны осложняются, как уже говорилось, региональными почвенно-климатическими особенностями. Поэтому важно уточнить в пределах каждой зоны регионы со своеобразным действием удобрений.

Настоящий обзор не претендует на полноту описания закономерностей действия удобрений. Для очень многих районов и культур ощущается нехватка данных полевых опытов, не до конца вскрыты закономерности пищевого режима почв. Во многих случаях далеко не полностью учтены особенности погодных условий, сильно действующих на эффективность удобрений. Все это требует дальнейших исследований, пристального рассмотрения совокупных результатов для разработки более полных и объективных выводов о географических закономерностях действия удобрений.

## ДЛИТЕЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИИ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

В настоящее время в нашей стране применяют большое количество удобрений. В ближайшем будущем их будут применять еще больше. Поэтому весьма важно знать, какое влияние оказывают удобрения на урожай и свойства почвы при систематическом и длительном применении их на одном месте. Обстоятельное исследование по этому вопросу проводили С. В. Щерба, А. В. Соколов, В. Н. Прокошев, И. И. Синягин, Л. С. Любарская, Н. С. Авдонин и многие другие.

Крупные обобщения в последние годы проведены в ВИУА в работах В. Г. Минеева, Э. А. Бабариной, Л. М. Жуковой и Л. К. Щевцовой по изменению плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур при длительном применении удобрений. Авторы показали направление и количественное изменение основных показателей плодородия почв при систематическом внесении удобрений в различных почвенно-климатических зонах страны. Характеристика отдельных опытов в основных природных зонах страны приведена в таблице 104.

Результаты опытов показали, что под влиянием систематического внесения органических и минеральных удобрений повышалось содержание углерода и азота (по сравнению с контролем) в дерново-подзолистых и сероземных почвах, а на почвах, богатых гумусом (черноземах), это действие было выражено слабо. Содержание органического вещества в почве повышалось при внесении навоза.

Групповой состав органического вещества различных почв под влиянием навоза и минеральных удобрений не изменяется. Состав гумуса длительно удобрявшихся почв сохраняет свойства, присущие органическому веществу, сформировавшемуся в региональных условиях почвообразования.

Систематическое применение удобрений способствует увеличению содержания в почве доступных растениям форм азота. Такое действие удобрений значительно выражено на дерново-подзолистых почвах, слабее — на черноземах и очень слабо — на сероземах.

При внесении удобрений в почву происходит фиксация (необменное поглощение) катиона  $\text{NH}_4$  глинистыми минералами. Этот процесс снижает доступность азота растениям, иногда в значительных размерах, что следует учитывать при определении доз удобрений (табл. 105).

Длительные опыты показали, что под влиянием удобрений происходит увеличение надземной массы растений и одновременно

104. Характеристика длительных опытов по изучению действия удобрений на плодородие различных почв

Учреждение	Почва	Год закладки опыта	Севооборот	Внесено к моменту отбора образцов (в кг/га)			
				навоза (в т/га)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Полевая опытная станция Тимирязевской сельскохозяйственной академии	Дерново-подзолистая пылевато-песчанистая суглинистая	1912	Черный пар, озимая рожь, картофель, овес+травы, лен	460	2020	2340	2775
Долгоруковская агрохимическая опытная станция (ДАОС)	Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	1931	Пар клеверный, озимая рожь, пропашные, овес+травы	342	1718	821	1482
ВНИИ лубяных культур	Темно серая лесная лег- косуглинистая	1931	Бессеменная конопля	1140	5290	2630	6510
Мировиковский НИИ селекции и семеноводства пшеницы	Слабощелочной лег- косуглинистой черно- зем	1912	Пар, озимая пшеница, сахарная свекла горох, сахарная свекла	435	2850	2280	2*50
Всесоюзный НИИ хлопководства (А.-Кавказ)	Типичный суглинистый орошаемый серозем	1926	Бессеменный хлопчатник	1260	5430	4616	2634

## 105. Действие длительного применения удобрений на органическое вещество и соединения азота почвы

Вариант опыта	С общий (в %)	N общий (в %)	Вытяжка смесью NaP <sub>2</sub> O <sub>7</sub> +NaOH		С вытяжки 0,1 н. NaOH (в % С общего)	Водер- с- творимый гумус (в мг/кг)	Константа гидро- филь- ности	Азот фиксиро- ванного аммония (в кг/га)	Увеличение со- держания азота от применения удобрения	
			С вытяжки (в % С общего)	С <sub>гк</sub> С <sub>фк</sub>					в кг/га	в % количества внесенного
Дерновоподзолистая песчанистопылеватосуглинистая почва, ТСХА										
Без удобрений	0,90	0,09	42	0,5	42	144	1,71	444	—	—
Навоз	1,6	0,10	47	0,6	46	189	1,63	501	57	1,5
НРК+известь	1,08	0,11	46	0,5	38	174	1,96	554	110	5,4
Тяжелосуглинистая, ДАОС										
Без удобрений	0,71	0,11	46	0,4	42	81	2,06	1042	—	—
Навоз	1,00	0,12	41	0,3	36	109	2,24	1068	26	1,5
РК+известь	0,93	0,13	43	0,4	33	95	2,47	1120	78	4,6
Темно-серая лесная почва, ВНИИ лубяных культур										
Контроль	2,18	0,25	—	1,1	—	116	—	738	—	—
Навоз	2,70	0,30	—	1,2	—	194	—	908	170	3,3
НРК	2,36	0,28	—	0,9	—	180	—	967	229	4,3
Мощный слабощелочный легкосуглинистый чернозем, Мироновский НИИ селекции и семеноводства пшеницы										
Контроль	2,38	0,20	41	2,2	9,2	135	1,29	712	—	—
Навоз	2,44	0,23	41	2,7	8,6	207	—	758	46	1,1
НРК	2,37	0,21	40	2,7	12,2	174	1,35	841	129	2,8
Типичный серозем, Ак-Кавакская опытная станция										
Контроль	0,48	0,06	—	—	Не обнаружено	56	0,89	—	—	—
Навоз	0,96	0,10	—	—	»	84	0,15	—	—	—
НРК	0,58	0,06	—	—	»	69	0,99	—	—	—

**106. Валовое содержание фосфора по профилю почв и подвижные фосфаты при длительном применении удобрений (в мг  $P_2O_5$  на 100 г почвы)**

Глубина слоя (в см)	Дерново-подзоли- стая тяжелосугли- нистая почва			Дерново-подзолистая пы- левато-песчанисто-сугли- нистая почва			Темно-серая лесная легкосуглинистая почва		
	конт- роль	навоз	NPK	конт- роль	навоз+NPK	NPK	конт- роль	навоз	NPK
<b>Валовой фосфор</b>									
0—20	95	127	127	99	170	160	117	153	188
20—40	100	97	118	79	113	90	108	132	175
40—60	111	115	108	66	63	48	76	87	140
60—80	111	106	106	82	71	64	67	53	130
80—100	112	111	116	90	90	88	48	47	100

**Подвижные фосфаты**

0—20 | 4,6 | 4,8 | 5,6 | 2,1 | 15,6 | 18,1 | 6,7 | 19,7 | 18,4

*Продолжение*

Глубина слоя (в см)	Слабовыщелоченный легкосуглинистый чернозем			Типичный серозем средне- суглинистый орошаемый		
	контроль	навоз	NPK	контроль	навоз	NPK
<b>Валовый фосфор</b>						
0—20	158	170	190	176	257	242
20—40	153	168	160	167	251	195
40—60	150	148	147	174	191	169
60—80	142	143	140	179	188	163
80—100	128	129	130	163	168	140

**Подвижные фосфаты**

0—20 | 20,2 | 28,0 | 34,4 | 1,0 | 12,7 | 5,8

увеличивается накопление кормовых и пожнивных остатков, кото-  
рые участвуют в создании гумуса почвы.

Под влиянием длительного применения удобрений повышается  
биологическая активность почв.

Длительное систематическое применение удобрений повышает  
валовое содержание фосфора и доступных его форм, а также уве-  
личивает подвижность фосфатов. Характер таких изменений в зна-  
чительной степени зависит от свойств почвы, доз удобрений и дли-  
тельности их применения (табл. 106).

Основная часть фосфора, внесенного с удобрениями, остается  
в пахотном слое почв. Вместе с этим при больших дозах удобре-  
ний фосфором обогащается и подпахотный слой. На легких почвах  
без известкования при орошении могут обогащаться и более глу-  
бокие слои почвы.

Генетические особенности почв в значительной степени опреде-  
ляют формы минеральных соединений фосфора по всему профилю

# 107. Влияние длительного применения удобрений на формы минеральных фосфатов в почвах

Вариант опыта	Содержание $P_2O_5$ (в мг/100 г почвы)			
	рыхлосвязанных фосфатов	фосфатов алюминия и разноосновных фосфатов кальция	фосфатов железа	высокоосновных фосфатов кальция
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая				
Контроль	—	3,2	11,0	8,9
Навоз	—	5,6	16,6	9,6
НРК	—	6,3	19,9	10,5
Дерново-подзолистая пылевато-песчанисто-суглинистая				
Контроль	—	3,9	15,5	7,7
Навоз+НРК	—	33,1	33,4	15,8
НРК	—	18,8	30,6	13,2
Темно-серая лесная легкосуглинистая				
Контроль	—	4,0	6,3	8,6
Навоз	3,7	23,0	15,0	14,6
НРК	3,3	34,8	18,2	13,1
Слабовыщелоченный чернозем				
Контроль	—	10,8	5,0	31,2
Навоз	0,6	13,6	5,8	34,9
НРК	1,1	17,8	8,3	34,3
Типичный серозем орошаемый				
Контроль	0,4	5,6	—	113
Навоз	6,7	14,9	0,5	170
НРК	2,0	16,8	0,7	165

почв. Как следует из таблицы 107, в дерново-подзолистых почвах преобладают фосфаты полуторных окислов, в черноземах и сероземах — фосфаты кальция.

Следует отметить, что фосфор внесенных удобрений переходит в формы соединений, типичные для данной почвенной разности.

При внесении навоза и суперфосфата значительных различий в качественном составе минеральных фосфатов не найдено.

При внесении органических удобрений в почвах накапливается несколько меньше фосфатов полуторных окислов, чем при использовании минеральных удобрений. Почвенно-климатические условия в значительной степени влияют на превращение калия. В дерново-подзолистых и серых лесных почвах количество обменного калия почти не изменяется, но заметно повышается количество обменного калия, накопление которого наблюдается не только в пахотном слое, но и в более глубоких слоях. В черноземных почвах картина несколько иная. В пахотном слое черноземов обменное поглощение калия выражено слабо, а преобладает обменное поглощение этого элемента. В то же время в сероземах происходит значительное увеличение как обменного, так и обменного погло-

щенного калия. При орошении на сероземах идет значительная миграция калия по профилю и накопление его различных форм в нижних слоях почвы. Длительное применение удобрений, повышая десорбционную способность почв в отношении калия, увеличивает подвижность его соединений в почвах и доступность калия растениям.

Длительное применение удобрений влияет на водно-физические и физико-химические свойства почв, которые в значительной степени определяют превращение удобрений в почвах. Следовательно, длительное правильное применение удобрений приводит к накоплению и перераспределению необходимых сельскохозяйственным растениям элементов питания, к улучшению свойств почв и в целом к повышению их плодородия. Обобщение В. Г. Минеева, А. И. Хабаровой, Н. И. Щербаковой и др. (1977, 1978 гг.) показали, что в результате этого от ротации к ротации повышается продуктивность севооборотов.

#### 108. Продуктивность севооборота по периодам в длительном опыте

Вариант опыта	Сбор зерновых единиц основной продукции (в ц/га)		
	в 1934—1940 гг.	в 1970—1975 гг.	в 1976 г.
Без удобрений	13,8	14,1	20,9
НРКСа	19,2	24,8	30,1
Навоз	19,6	25,9	31,7

Примечание. В 1948 г. проведено известкование.

По данным Долгопрудной опытной станции НИУИФ, ежегодное внесение  $N_{44}P_{22}K_{38}$  на 1 га севооборотной площади увеличивало продуктивность севооборота на 11—16 ц зерновых единиц с 1 га (табл. 108). Повышение продуктивности севооборота можно иллюстрировать данными опытов этой же станции, проведенных на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве с возрастающими дозами минеральных удобрений (табл. 109).

В таблицах 110 и 111 приведены обобщенные данные В. Г. Минеева и др. (1980 г.) длительных опытов Мироновского НИИ се-

#### 109. Действие возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность севооборота по периодам

Вариант опыта			Продуктивность в зерновых единицах (в ц/га)				
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	в 1937—1944 гг.	в 1945—1952 гг.	в 1953—1960 гг.	в 1963—1969 гг.	в 1970—1976 гг.
0	0	0	23,0	19,5	17,7	26,4	35,1
50	62	75	36,7	40,2	34,7	45,6	62,8
75	93	112	40,0	46,0	42,9	55,9	76,8
100	124	150	41,9	49,1	46,9	61,3	83,8
125	155	187	42,8	49,2	48,6	64,5	87,7
150	186	225	41,4	50,3	47,0	63,5	91,2

### 110. Урожай зерна озимой пшеницы

Вариант опыта	Урожай зерна (в ц/га)						
	в 1913—1917 гг.	в 1918—1926 гг.	в 1927—1937 гг.	в 1938—1953 гг.	в 1954—1960 гг.	в 1961—1965 гг.	в 1917—1971 гг.
Без удобрений	20,8	21,2	25,0	23,3	27,8	34,0	24,8
НРК	24,2	25,1	30,2	26,3	30,4	38,3	29,7
Навоз	21,6	24,3	29,7	26,8	29,5	38,0	29,1
Навоз + НРК	22,3	25,1	30,0	26,8	30,5	38,7	28,3

### 111. Урожай корней сахарной свеклы

Вариант опыта	Урожай корней (в ц/га)				
	в 1918—1926 гг.	в 1927—1937 гг.	в 1938—1953 гг.	в 1954—1967 гг.	в 1917—1971 гг.
Без удобрений	148	145	156	193	152
НРК	179	231	258	291	232
Навоз	211	242	268	315	254
Навоз + НРК	208	244	277	312	255

лекции и семеноводства пшеницы. В опыте с озимой пшеницей внесение небольших доз удобрений устойчиво повышало урожай всех культур севооборота.

В другом длительном опыте этого института урожай озимой пшеницы увеличился с 19,5 до 55,3 ц/га. Урожай сахарной свеклы увеличился в 3—3,5 раза (табл. 112 и 113).

### 112. Урожай озимой пшеницы

Вариант опыта	Урожай зерна (в ц/га)			
	в 1930—1937 гг.	в 1944—1953 гг.	в 1954—1962 гг.	в 1973—1978 гг.
Без удобрений	19,5	20,5	27,1	37,4
НРК	25,9	25,5	33,4	52,1
Навоз	28,1	26,2	32,7	50,2
Навоз + НРК	—	25,2	32,4	55,3

### 113. Урожай сахарной свеклы

Вариант опыта	Урожай корней (в ц/га)			
	в 1930—1934 гг.	в 1935—1938 гг.	в 1944—1953 гг.	в 1973—1978 гг.
Без удобрений	114	191	217	267
НРК	180	247	310	388
Навоз	—	—	301	395
Навоз + НРК	—	—	314	405



**114. Урожай хлопка-сырца при бессменном возделывании хлопчатника**  
(данные ВНИИ хлопководства, Ак-Кавакская опытная станция)

Вариант опыта	Урожай хлопка-сырца (в ц/га)			
	в 1926—1943 гг.	в 1944—1956 гг.	в 1957—1973 гг.	в среднем за 50 лет
Без удобрения	15,1	13,0	14,2	14,2
Навоз	26,5	30,7	34,2	30,3
НРК	29,2	36,3	38,3	32,3

Систематическое внесение удобрений обеспечивало устойчивые урожаи хлопка-сырца в пределах 35 ц/га при монокультуре и 40—43 ц/га в хлопко-люцерновом севообороте (табл. 114).

Однако нельзя не учитывать и возможности отрицательного действия удобрений на свойства почвы. Это обычно бывает при нарушении системы применения удобрений на кислых дерново-подзолистых почвах при несвоевременном и недостаточном применении известковых удобрений, а в ряде случаев и органических. Этот вопрос изучали в ряде полевых опытов агробиологической станции Московского университета. Один из этих опытов заложен академиком Н. С. Авдониным в 1950 г. В 1955 г. на половину площади этого опыта внесена известь по полной гидролитической кислотности, почва второй половины площади осталась кислой. Анализы почвы проведены в 1964 г., то есть через 15 лет после закладки опыта и через 9 лет после внесения извести.

Опыт показал, что аммиачные формы азота, в том числе и аммиачная селитра, увеличивают в почве актуальную, обменную и гидролитическую кислотность, резко увеличивают содержание подвижных форм алюминия и марганца, обедняют почву поглощенным кальцием и магнием, уменьшают содержание усвояемого молибдена и гидролизующего азота (табл. 115, 116).

В настоящее время известно, что фосфорные и калийные удобрения повышают урожай не только той культуры, под которую их вносят, но и обладают последствием, то есть повышают урожай нескольких последующих культур. Азотные удобрения этим свойством не обладают. Поэтому вносить их рекомендуется ежегодно. Последствие аммиачных форм на дерново-подзолистых почвах отрицательное, с ним нужно бороться внесением повышенных норм извести и проведением других приемов окультуривания почв.

Известь уменьшает актуальную и гидролитическую кислотность. Но наши опыты показали, что известь, даже внесенная по полной гидролитической кислотности, не устраняет полностью те изменения (ухудшения), которые были вызваны длительным применением аммиачных форм азота и хлоридов калия. Эти же опыты показали, что аммиачные формы азота и хлориды калия (особенно при их совместном внесении) на известкованную почву действуют в том же направлении, что и на неизвесткованную, хотя их отрица-

# 115. Влияние извести и длительного применения минеральных удобрений на кислотность почвы и содержание подвижных форм алюминия и марганца

Вариант опыта	рН солевой		Гидролитическая кислотность		Обменная кислотность		Алюминий		Марганец	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
в мг-экв./100 г почвы										
Без удобрений	4,4	5,4	5,93	3,59	0,946	0,111	9,75	0,55	2,0	1,44
Азот	4,2	4,8	6,52	3,96	1,213	0,237	13,78	1,10	5,6	1,50
Калий	4,4	5,4	6,74	3,69	1,207	0,098	11,79	0,90	3,6	1,75
Азот и калий	4,3	4,8	7,34	3,91	1,573	0,225	16,18	2,00	7,6	1,75
Азот, калий и фосфор	4,3	4,8	6,54	3,72	1,326	0,179	13,40	1,37	6,6	1,22

Примечание. I — без извести, II — по извести.

# 116. Влияние извести и длительного применения минеральных удобрений на содержание поглощенных оснований (кальция и магния), подвижного молибдена и гидролизуемого азота

Вариант опыта	Поглощенные основания (в мг-экв./100 г почвы)				Молибден (в мг/100 г почвы)		Гидролизуемый азот (в мг/кг почвы)	
	кальций		магний		I	II	I	II
	I	II	I	II				
Без извести	3,3	5,3	2,1	2,6	0,267	0,374	6,16	7,28
Азот	2,8	5,3	1,3	2,8	0,250	0,321	5,60	7,56
Калий	2,9	5,6	1,2	3,0	0,267	—	5,60	5,60
Азот и калий	2,7	5,4	1,2	2,1	0,214	0,321	5,04	5,88

Примечание. I — без извести, II — по извести.

тельное действие на известкованную почву проявляется значительно слабее, чем на кислую.

В том же опыте, заложенном на агробиологической станции МГУ в 1950 г., были проведены агрохимические исследования. Гидролитическая кислотность под влиянием всех минеральных удобрений при длительном их применении увеличилась на глубину до 100 см. Размеры этого увеличения достигали 50% гидролитической кислотности на делянках без удобрений. Наибольшее увеличение гидролитической кислотности отмечалось при внесении одного азотного удобрения и в сочетании с другими удобрениями. Еще большее влияние оказало длительное применение минеральных удобрений на обменную кислотность, которая увеличилась не только в пахотном слое, но и во всех горизонтах до глубины 1 м. Наибольшее повышение обменной кислотности вызвали азотные, наименьшее — фосфорные, среднее положение занимали калийные удобрения. Количество подвижного алюминия на кислой почве по всем вариантам увеличивалось по мере продвижения сверху вниз. Даже на контроле в пахотном горизонте содержалось 2,6 мг/100 г, на глубине 20—40 см — 11,26 мг, на глубине 80—100 см — 19,26 мг.

Длительное применение минеральных удобрений на кислых почвах повышает содержание подвижного алюминия до токсических количеств в пахотном слое. Еще больше они повышают содержание подвижных форм алюминия в слоях почвы 20—40, 40—60, 60—80 см. В этих слоях подвижного алюминия содержится 20—30 мг/100 г почвы, то есть такие количества, при которых большая часть растений погибает, а устойчивые к алюминию формы растения резко понижают урожай. Все минеральные удобрения повышают содержание подвижных форм алюминия, но в разной степени. Больше всего повышают азотные удобрения и азотно-калийные, меньше — фосфорные.

Минеральные удобрения оказывают влияние и на содержание подвижного марганца. В отличие от подвижного алюминия больше всего его содержится в верхних слоях почвы (0—20, 20—40 см). В слоях почвы от 60 до 100 см марганца меньше всего, а на делянках без удобрений в слоях почвы 60—100 см имеются только следы его. Отдельные удобрения оказывают разное влияние на содержание подвижного марганца. Больше всего его содержание увеличивают азотные удобрения и азотно-калийные. Эти удобрения увеличивают содержание подвижного марганца до глубины 100 см. Меньше других увеличивают содержание подвижного марганца фосфорные удобрения. Подвижный марганец в тех количествах, в которых он образуется в верхних слоях почвы (до 40 см) при внесении азотных удобрений, по нашим данным, является токсичным для большей части растений.

Длительное применение минеральных удобрений оказывает влияние и на содержание кальция в почве. Азотные и калийные удобрения способствуют вымыванию кальция из верхних слоев почвы. Это явление многократно наблюдалось и в других опытах кафедры агрохимии МГУ.

Длительное применение минеральных удобрений оказывает влияние и на содержание магния в почве. Под их влиянием количество магния уменьшается до глубины 60 см. Минеральные удобрения оказывают влияние и на поглощающий комплекс. Так, сумма поглощенных оснований на делянках без удобрений равнялась 7 мг·экв, а при внесении удобрений длительного применения она колебалась от 3,8 до 5,3 мг·экв/100 г почвы. Сильнее уменьшалась сумма поглощенных оснований при внесении азотных и азотно-калийных удобрений. Такое действие удобрений проявляется на глубину до 60 см.

Аналогичное действие проявляется под влиянием длительного применения минеральных удобрений и на насыщение почвенного поглощающего комплекса основаниями. Так, без внесения минеральных удобрений насыщенность почвы опытного участка равнялась 64,5%, а при внесении минеральных удобрений она колебалась от 38,4 до 51%. Наибольшее снижение насыщенности почвы основаниями наблюдалось при длительном применении азотно-калийных удобрений. В этом случае уменьшение степени насыщенности основаниями проявляется на почве до 60 см.

Эти факты показывают, что при длительном применении минеральных удобрений может быть отрицательное влияние и на свойства почвенного поглощающего комплекса. Однако при правильном применении минеральных удобрений в сочетании с известкованием кислых почв (известкование должно опережать применение физиологически кислых удобрений) можно исключить отрицательное влияние минеральных удобрений.

## **АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УДОБРЕНИЙ**

Эффективность удобрений определяется как уровнем обеспеченности почвы питательными веществами, так и способностью растений использовать питательные вещества почвы и удобрений.

Различные агротехнические мероприятия, оказывая то или иное воздействие на почву и растения, способны существенно изменять эффективность удобрений. Это связано прежде всего со следующими факторами, обуславливаемыми соответствующими агротехническими приемами: регулированием водного режима; накоплением и мобилизацией в усвояемой форме или, наоборот, иммобилизацией питательных веществ почвы; изменением фотосинтетического потенциала посева как удлинением или сокращением сроков фотосинтетической деятельности, так и повышением или уменьшением энергии фотосинтеза; устранением конкуренции сорняков и повреждением растений вредителями и болезнями.

Обычно каждое агротехническое мероприятие или система их оказывают многостороннее влияние. Например, зяблевая вспашка способствует одновременно накоплению влаги, уменьшению засоренности и уничтожению вредителей и болезнетворных организмов, в известной мере повышению усвояемости питательных веществ почвы. Орошение, сильно воздействуя на влажность почвы, может существенно усиливать подвижность фосфатов, улучшать, а иногда ухудшать азотный режим почвы и т. п. В конкретных условиях может преобладать то одно, то другое действие определенного агротехнического мероприятия.

### **ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ УДОБРЕНИЙ ОТ СЕВООБОРОТА И ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ**

Тесная зависимость урожая всех культур и их отзывчивость на удобрения от предшественников (места культуры в севообороте) вполне отчетливо проявилась уже в первых многолетних опытах с удобрениями. Изучение особенностей основных групп культур и паров, а также звеньев и целых севооборотов позволяет в настоящее время достаточно полно оценить их влияние на плодородие почвы и другие условия развития последующих культур.

Чистые пары (черные и ранние) оставляют после себя в почве повышенное содержание влаги. На черноземах и каштановых почвах и в меньшей степени на дерново-подзолистых после чистого пара накапливается известное количество усвояемых соединений азота — нитратов. Благодаря систематическим обработкам пары обеспечивают снижение засоренности поля, в частности уничтоже-

ние и таких сорняков, с которыми трудно бороться агротехническими средствами в севооборотах без пара.

Вследствие повышения влажности почвы и уменьшения засоренности после пара создаются благоприятные условия для проявления высокой эффективности удобрений. С другой стороны, накопление нитратов является фактором, снижающим эффективность азотных удобрений под озимь, а нередко и под яровые на черноземных и каштановых почвах.

Занятые пары, обработка почвы в послеуборочный период по типу пара (так называемая полупаровая обработка) оказывают такое же влияние на условия развития последующих культур, как и чистые пары, но обычно слабее.

Своеобразное влияние на последующие культуры оказывают сидеральные пары: существенное улучшение пищевого режима почвы сочетается со значительным иссушением пахотного слоя сидеральным растением. В результате этого сидеральные пары получили некоторое распространение лишь в районах достаточного увлажнения и совершенно не применяются в засушливых районах.

Пропашные культуры при надлежащем уходе по влиянию на степень засоренности поля в известной степени приближаются к чистым парам. Однако содержание влаги после пропашных, которые обычно сами являются энергичными влагопотребителями, как правило, невысокое. Пропашные нередко усиливают погребность во внесении удобрений под следующие за ними культуры. Наряду с этим под пропашные, особенно под сахарную свеклу, картофель и другие, часто вносят повышенные нормы удобрений, последствия которых используется следующими за ними культурами.

Многолетние травы сильно уменьшают влажность почвы во всем корнеобитаемом слое, что снижает эффективность удобрений по пласту и часто по обороту пласта в районах недостаточного увлажнения. Накопление азота клубеньковыми бактериями бобовых понижает потребность следующих за травами культур в азотных удобрениях. С другой стороны, используя значительное количество фосфатов и калия, травы нередко существенно повышают потребность последующих культур в соответствующих удобрениях, чему способствует и улучшение азотного режима.

Однолетние культуры сплошного посева, к числу которых относятся основные зерновые и зернобобовые культуры, а также однолетние травы и некоторые технические и масличные культуры (лен) оставляют после себя обычно более или менее засоренные поля, с пониженной влажностью почвы по сравнению с полями после пара. Содержание усвояемых питательных веществ невысокое. Зернобобовые (горох, вика, соя, бобы и др.) оставляют в почве некоторое количество азота, но, как правило, меньшее, чем многолетние бобовые травы. Оценка однолетних культур как предшественников в районах с длительной и теплой осенью может быть улучшена с помощью полупаровой обработки.

Приведенная выше характеристика отдельных предшественников позволяет получить только первоначальную ориентировку в вопросах их влияния на эффективность удобрений. Из факта накопления нитратов в парах или снижения влажности почвы под многолетними травами нельзя делать прямых и непосредственных выводов, например, о нормах и соотношениях удобрений. Для таких выводов, безусловно, необходимы полевые опыты достаточной продолжительности, которые могут дать ответ о действительных масштабах эффективности удобрений в данных условиях, а значит, и сделать определенные практические предложения. Целесообразно рассмотреть результаты этих опытов применительно к предшественникам основных полевых культур.

**Озимая пшеница.** Для тяжелосуглинистых дерново-подзолистых почв обширный экспериментальный материал был получен А. Н. Цоем и А. С. Ефимовой на Центральной опытной станции ВИУА. В этих опытах, проводимых на почвах очень низкого плодородия, урожай зерна пшеницы без удобрений по чистому пару составил всего 9,1 ц/га, по занятому — 3,4 ц/га. Прибавка урожая от извести +Р<sub>ф</sub>К в основном внесении и Рс в рядки, а также Наа в подкормки составила по чистому пару 11,1 ц/га и по занятому пару 11,4 ц/га, а по тем же удобрениям с дополнением их 20 т навоза соответственно 17,7 и 16,4 ц/га.

Внесение небольшой азотной подкормки и навоза в этих опытах не могло снять различий по урожаю между посевами по занятому и чистому пару. По-видимому, даже сравнительно небольшое накопление нитратов в чистом пару имело в этих условиях весьма существенное значение.

В опытах, проведенных на дерново-подзолистых почвах Центральной опытной станции ВИУА, сравнивалась эффективность азотных удобрений в зависимости от парозанимающей культуры (табл. 117).

Несмотря на довольно высокий фон плодородия (урожай на контроле свыше 20 ц/га), азотные удобрения после вико-овсяного и

**117. Прибавка урожая озимой пшеницы от азотных удобрений в зависимости от культуры занятого пара (средние данные из двух опытов)**

Культура занятого пара	Урожай зеленой массы парозанимающей культуры (в ц/га)	Пожнивные остатки		Норма азотного удобрения под озимую пшеницу (в кг/га)	Урожай зерна озимой пшеницы (в ц/га)	Прибавка урожая (в ц/га)	Содержание белка в зерне озимой пшеницы (в ц/га)
		в ц/га	содержание азота (в кг/га)				
Овес	196,2	22,1	29,5	—	22,6	—	3,0
				50	28,9	6,3	3,8
Вико-овес	223,3	24,3	28,8	—	23,3	—	3,1
				50	30,0	6,7	4,0
Люпин желтый	259,2	24,8	34,8	—	29,6	—	4,4
				20	31,4	1,8	4,8

118. Влияние минеральных удобрений на урожай озимой пшеницы  
(средние данные за 5 лет)

Вариант опыта	Без навоза		На фоне навоза	
	по пару	по клеверу	по пару	по клеверу
Урожай зерна (в ц/га)				
Контроль	21,7	16,7	33,0	19,5
Прибавка урожая зерна (в ц/га)				
NPK	8,9	5,2	3,4	6,6
PK	6,3	4,1	1,6	3,8
NP	4,8	4,9	2,9	5,3
NK	6,9	2,2	3,2	0,1

Примечание. Норма удобрений под пшеницу: 32 кг N, 40 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 60 кг K<sub>2</sub>O на 1 га; нормы навоза 25—30 т/га.

овсяного пара дали высокую прибавку урожая. Между собой эти виды пара почти не различались. В люпиновом пару получен более высокий урожай пшеницы, чем по овсяному и вико-овсяному пару, однако и в этом случае небольшая норма минерального азотного удобрения дала прибавку урожая зерна 1,8 ц/га. Сравнить эффективность азотного удобрения по люпиновому и другим парам в этих опытах нельзя вследствие невыравненности доз. В опыте Ионишкельского филиала Литовского научно-исследовательского института земледелия на дерново-карбонатных почвах урожай зерна как по навозному фону, так и без внесения навоза по чистому пару существенно превышал урожай по клеверу. Без внесения навоза прибавки урожая по чистому пару были намного выше, чем по клеверу; исключение составил только вариант NP, по которому получены почти одинаковые прибавки по обоим предшественникам. На фоне навоза прибавки от минеральных удобрений по всем вариантам, кроме НК, были выше по клеверу (табл. 118).

О размерах прибавок урожая озимой пшеницы от удобрений на черноземе в севооборотах с черным паром и многолетними травами можно судить по данным Мироновского научно-исследовательского института селекции и семеноводства пшеницы. По травам двухлетнего пользования, вероятно в связи с менее благоприятными условиями водного и пищевого режимов урожай озимой пшеницы без удобрения в среднем на 3 ц/га уступал урожаю по пласту трав однолетнего пользования и на 3,4 ц урожаю по черному пару. Азотные удобрения при данном уровне урожайности не давали увеличения урожая озими ни в каком сочетании. Эффективность P и PK была почти одинаковой как после пара, так и после трав двухлетнего пользования. Навоз сильнее действовал при внесении после трав, чем после пара.

По данным того же института, имеется возможность сопоставить последствие удобрений под озимую пшеницу на четвертый год после внесения. Урожай озимых в севообороте с черным паром заметно превышал урожай в севооборотах с травами, но прибавка



урожая от последствия удобрений в последнем случае (особенно при двухукосном использовании трав) была существенно выше. Общий вывод, который можно сделать из вышеприведенных данных, заключается в том, что отзывчивость озимых на удобрения, в частности фосфорные и калийные, в севообороте с травами выше, чем в севооборотах с черным паром.

По данным Мироновского института селекции и семеноводства пшеницы (С. В. Сухобрус и Ф. П. Литвиненко), урожай по клеверному пару был существенно выше, чем по гороховому. Выше по клеверному пару были и прибавки от удобрений.

В опытах Сумской опытной станции (П. А. Горшков) урожай на контроле и прибавки от удобрений по чистому пару оказались существенно выше, чем по занятому. Можно предполагать, что это явилось следствием пониженного содержания влаги в почве занятого пара. По данным Т. А. Мусиенко, на типичном черноземе в северо-западной части Одесской области по чистому пару урожай озимой пшеницы составлял в первой ротации 25,3 ц/га, во второй 24,9 ц/га, а по озими — соответственно 17,8 и 16,4 ц/га. Однако прибавки урожая от навоза и минеральных удобрений в среднем за две ротации по непаровому предшественнику были существенно выше, чем по чистому пару. Эти данные в известной мере противоречат результатам опытов Сумской опытной станции, где прибавки от удобрений по чистому пару были выше, чем по занятому. Объяснение этих противоречий нужно, по-видимому, искать в условиях увлажнения.

Во влажный год преимущества чистого пара по увлажнению почвы не могли быть особенно существенными и на первое место выдвигалась большая истощенность почвы занятого пара. В этом случае прибавки от удобрений были выше по занятому пару. В сухие годы решающую роль в эффективности удобрений играла повышенная влажность чистых паров, и поэтому именно здесь получали большие прибавки от удобрений.

В опытах Г. Н. Яснова на мощном малогумусном черноземе Тернопольской государственной опытной станции после стерневых предшественников были получены не только самый низкий урожай, но и самая низкая прибавка урожая. После кукурузы урожай без удобрения увеличился на 11,3 ц/га и прибавка от удобрений повысилась на 1,5 ц/га. После гороха урожай без удобрений был еще выше, но прибавка урожая осталась на том же уровне, как при посеве после кукурузы, возможно, в связи с тем, что горох в какой-то мере повысил обеспеченность озимых азотом и тем самым снизил ее потребность в этом удобрении.

По данным И. Г. Предко и И. С. Шаповал, эффективность минеральных удобрений, вносимых под озимую пшеницу, определялась не только предшественником, но и агротехникой, а также сортом. Опыты на слабовыщелоченном черноземе Левобережной Лесостепи Украины за 1964, 1971 и 1972 гг. на Драбовской опытной станции полеводства проводили с двумя сортами озимой пшеницы

(Мироновская 808 и Безостая 1) при выращивании по вико-овсу на сено и кукурузе на силос.

Урожай озимой пшеницы в значительной степени зависел от сорта, предшественника и применяемых минеральных удобрений. В благоприятные по увлажнению и перезимовке растений годы (1969, 1971) более высокий урожай зерна пшеницы дал сорт Безостая 1, а в 1972 г., с плохими условиями для перезимовки — сорт Мироновская 808. Урожай сорта Мироновская 808 в вариантах с удобрениями был выше по вико-овсу на сено, чем по кукурузе. Безостая 1 значительно лучше реагировала на повышение дозы минеральных удобрений, чем Мироновская 808 (этот сорт был склонен к полеганию). Хорошее действие проявили фосфорно-калийные удобрения на фоне азотных удобрений.

Наибольший урожай однолетних трав и гороха за годы исследований достигнут в севообороте, где под эти культуры вносили  $P_{45}K_{45}$ , а на 1 га пашни 6 т навоза и 7,5 ц стандартных туков ( $N_{45}P_{63}K_{63}$ ). По отношению к контролю прибавки урожая трав и гороха в этом варианте составили 26—28%. На протяжении трех из пяти лет исследований вико-овсяная смесь обеспечила урожай сена выше, чем клеверо-тимофеечная, однако в среднем за 1973—1977 гг. выход кормовых единиц (23—25 ц/га) и переваримого протеина (3,5—3,6 ц/га) без удобрений и с удобрениями (соответственно 29,7—30,9 и 4,4—4,5 ц/га) получен примерно одинаковый. Это свидетельствует о том, что в данной зоне целесообразно иметь оба вида занятого пара. Стабильность производства кормов повышается, к тому же различные сроки созревания трав позволяют лучше удовлетворять потребности животноводства.

Следует также отметить, что при одинаковом количестве удобрений в севообороте урожай вико-овса после кукурузы на зерно выше, чем после сахарной свеклы. Преимущество кукурузы как предшественника проявилось в засушливом 1975 г. и последующем 1976 г.

В урожае зерна гороха содержание кормовых единиц такое же, как и в сене травосмесей, а протеина даже выше. С учетом же кормовой ценности побочной продукции гороховое поле севооборота (6 т/га навоза +  $N_{45}P_{63}K_{63}$ ) обеспечивает сбор кормовых единиц на 8 ц/га, а протеина на 1,5 ц/га больше, чем травяное поле.

Наибольший урожай озимой пшеницы после трав достигнут при внесении  $N_{60}P_{60}K_{60}$ , а после гороха  $N_{80}P_{80}K_{80}$ . Повышенные дозы удобрений усиливают питание озимой пшеницы, способствуют ее интенсивному кущению, образованию загущенного стеблестоя. Последнему в значительной мере способствуют обильные осадки, обычные в мае — июле.

Опытных данных, характеризующих эффективность удобрения под яровую пшеницу в зависимости от ее места в севообороте, гораздо меньше, чем соответствующих данных по озимой пшенице.

По данным ЦОС ВИА, двухлетний клеверо-тимофеечный

пласт как источник азота значительно уступает однолетнему клеверному пласту. Наиболее высокая прибавка урожая (14 ц/га) от азотно-фосфорного удобрения получена после вико-овсяной смеси. Калий не проявил действия по однолетнему клеверному пласту и увеличил урожай на 1,5 ц/га (на фоне NP) по двухлетнему клеверо-тимофеечному пласту.

В условиях Башкирии (Д. В. Гареев) прибавки урожая яровой пшеницы Саратовская 29, Харьковская 46 и Лютесценс 62 при лучших сочетаниях (NP и NPK) достигали 3—5 ц/га. Наиболее высокий урожай на контроле все сорта дали по кукурузе, самый низкий — по яровой пшенице. В большинстве случаев по кукурузе были получены и наиболее высокие прибавки от удобрений, а по пшенице — пониженные. Горох как предшественник снизил потребность в азотных удобрениях у сорта Саратовская 29, но на более требовательном сорте твердой пшеницы Харьковская 46 эффективность азотных удобрений по гороху оказалась даже выше, чем по другим предшественникам.

Отзывчивость ячменя на навоз и минеральные азотные удобрения на Ротамстедской опытной станции изучали в ротациях с клеверо-злаковой травосмесью на выпас и на сено или силос, с люцерной на сено, с зерновыми и пропашными культурами, после которых следовали озимая пшеница, картофель и ячмень. Опыты показали существенные различия в отзывчивости на азот первой культуры после распашки пласта — озимой пшеницы и третьей культуры — ячменя. Если пшеница сильно повышала урожай под влиянием 50 кг азота на 1 га, то ячмень отзывался значительно слабее. По-видимому, существенное значение имело то, что ко времени посева ячменя пласт разложился на достаточную глубину, чтобы высвободить сравнительно большие количества усвояемого азота для этой культуры.

Отзывчивость ячменя в ротации без трав была несколько ниже, чем отзывчивость пшеницы, но все же достаточно высокой. Внесение навоза (около 15 т/га) под предшественник существенно снизило эффективность азотных удобрений в ротации без трав. В ротациях с травами азот практически не оказывал действия.

На быв. Мироновской опытной станции (С. В. Сухобрус и Ф. П. Литвиненко) получены следующие данные по эффективности удобрений под кукурузу по различным предшественникам (табл. 119).

Прибавка урожая от удобрений при посеве кукурузы по кукурузе была выше, чем по озимой пшенице, но урожай на неудобренных делянках был несколько ниже. Повышенная эффективность удобрений при посеве кукурузы по кукурузе, вероятно, обусловлена односторонним истощением почвы. Применение удобрений позволило в этом опыте сблизить урожаи по разным предшественникам. Без удобрения урожай по пшенице был на 4,4 ц/га выше, чем по кукурузе, а при удобрении разница почти во всех вариантах не превышала 1—2 ц/га.

119. Урожай (в ц/га) зерна кукурузы гибрид Буковинский 3 по различным удобрениям и предшественникам

Вариант опыта	По озимой пшенице		По кукурузе на зерно	
	урожай	прибавка	урожай	прибавка
Без удобрения	51,4	—	47,0	—
Навоз за год до посева 20 т/га	58,7	7,3	57,5	10,5
Навоз за год до посева 10 т/га + + N <sub>20</sub> P <sub>10</sub> K <sub>20</sub> под кукурузу	59,9	8,5	57,8	10,8
N <sub>20</sub> P <sub>10</sub> K <sub>20</sub> под кукурузу	56,9	5,5	54,4	7,4
N <sub>40</sub> P <sub>20</sub> K <sub>40</sub> под кукурузу	56,3	4,9	56,6	9,6
N <sub>40</sub> P <sub>5</sub> K <sub>40</sub> под кукурузу	59,3	7,9	55,7	8,7

В другом опыте той же станции сравнивали эффективность удобрений под кукурузу при посеве ее по озимой пшенице и гороху. По гороху урожай кукурузы был несколько выше, чем по озимой пшенице, причем более высокими оказались и прибавки урожая от удобрений.

Н. Б. Шептий приводит результаты опытов по удобрению кукурузы (Буковинский 3) на зерно на опытном поле Уманского сельскохозяйственного института (оподзоленные черноземы). В этом опыте самый высокий урожай получен также по гороху, но наибольшая прибавка урожая при посеве после подсолнечника. Здесь очень наглядно выявилось резкое снижение урожая и эффективности удобрений в монокультуре.

Таким образом, эффективность удобрений под кукурузу также сильно зависит от предшественника. По более благоприятным предшественникам, особенно по гороху, не только повышается урожай на неудобренных делянках, но усиливается и эффективность удобрений.

Опытных данных по отзывчивости гороха на удобрения в зависимости от его места в севообороте немного. По данным опытов М. Г. Гупало и др., на быв. Мироновской опытной станции, при посеве по сахарной свекле горох дал небольшой урожай и удобрения практически его не увеличивали. Главная причина этого, вероятно, заключается в сравнительно сильном и глубоком иссушении почвы под свеклой. После картофеля и кукурузы урожай без удобрений был примерно таким же, как после свеклы, но действие удобрений проявилось сильнее. По полному минеральному удобрению в соотношении N : P : K = 2 : 1 : 2 прибавка зерна гороха после картофеля составляла 2,5 ц и после кукурузы — 2,9 ц/га.

Опыты Всесоюзного научно-исследовательского института лубяных культур показали, что наибольшую отзывчивость на азотные минеральные удобрения конопля проявила в бессменной культуре при внесении навоза в норме 40 т/га. Увеличение нормы навоза с 40 до 80 т при бессменном посеве и при посеве по чистому пару способствовало значительному увеличению урожая, если дополнительно не вносили азотных удобрений. Н. Г. Городний считает,

что при разработке системы удобрений в конопляных севооборотах навоз целесообразнее вносить в чистом пару, а минеральные удобрения — по пласту и обороту пласта многолетних трав. Отрицательное влияние бессменности, по его мнению, можно устранить увеличением доз органических и минеральных удобрений.

При внесении только минеральных удобрений значение предшественников выявлялось более четко: лучшими из них оказались люпин на зеленый корм, вико-овес и люпин пожнивной. Прибавка от 20 т навоза на фоне NPK составляла по волокну: по кукурузе на силос 2 ц/га, картофелю 2 ц, люпину на зеленый корм 1,4 ц, вико-овсу и люпину пожнивному 1 ц, кормовой свекле 2,9 ц/га; по семенам — соответственно 2,9; 2; 0,6; 1; 1,9 ц/га.

Урожай сахарной свеклы в стационарном опыте Украинского научно-исследовательского института растениеводства, селекции и генетики им. В. Я. Юрьева по обороту пласта многолетних трав получен выше, чем после озими, следующей по чистому пару, на 21—26 ц/га по безнавозному и на 27—44 ц/га по навозному фону. Навоз почти во всех случаях существенно снизил прибавку урожая от минеральных удобрений. На безнавозном фоне прибавки от NP и NPK в среднем оказались несколько выше при посеве свеклы по озими, следующей по пару, а от РК — по обороту пласта трав. Последнее, по-видимому, объясняется лучшей обеспеченностью свеклы усвояемым азотом.

По навозному фону прибавки урожая свеклы от всех основных комбинаций минеральных удобрений оказались выше при посеве свеклы по озими, следующей по пару.

Замена чистого пара занятым вико-овсяным паром в 1963 и 1965 гг. не только не вызвала снижения урожая свеклы, но даже содействовала его повышению. Интересно, что по занятому пару урожай как по безнавозному, так и по навозному фону был выше, чем по обороту пласта многолетних трав. По безнавозному фону прибавки урожая от удобрений были несколько выше по обороту пласта многолетних трав (кроме варианта NPK), а по навозному — по обороту вико-овса.

Различия в урожайности и прибавках урожая ячменя от последствий минеральных удобрений и навоза проявились довольно слабо (в пределах ошибки опыта). На четвертой культуре после пара или многолетних трав их влияние уже не сказывается.

Данные Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свеклы и сахара подтверждают результаты харьковских опытов о большей отзывчивости сахарной свеклы на удобрения в звене с чистым паром по сравнению со звеном с травами.

На Львовской опытно-селекционной станции (А. М. Витко) по озими, следующей по чистому пару, урожай был несколько ниже, чем по обороту пласта трав. По обоим предшественникам получены почти одинаковые прибавки урожая при повышении нормы удобрения (исключение составляет прибавка сахара по двойной дозе удобрений, которая была на 3 ц/га выше по обороту пласта).

На Немерчанской опытной станции выяснилось, что по клеверу, гороху и кукурузе увеличение нормы азотных удобрений с 41—50 до 82—100 кг/га способствует значительному увеличению урожая свеклы, но по чистому пару норма 50 кг/га была уже предельной.

На Черниговской опытной станции (В. П. Якименко и др.) было показано, что эффективность разных доз минеральных удобрений в зерно-свекловичном севообороте в Левобережной Лесостепи определяется не только одним предшественником, но и всей структурой севооборота. При наличии в севообороте 20% сахарной свеклы оптимальным был вариант, где на 1 га пашни вносили 6 т органических удобрений и  $N_{45}P_{63}K_{63}$ , в том числе под свеклу 20 т навоза +  $N_{90}P_{90}K_{90}$ . Дальнейшее увеличение доз азотного или полного минерального удобрения в севообороте не способствовало повышению урожая корней, а технологические показатели их, особенно в звене с многолетними травами, ощутимо ухудшились: снижались доброкачественность очищенного нормального сока и выход сахара, увеличивались потери его в мелассе в результате усиленного накопления в растениях вредного азота и одновалентных катионов.

Замена в севообороте многолетних трав кукурузой на силос снизила урожай корней в среднем за 1975—1977 гг. на 14 ц/га, а ботвы на 68 ц/га, однако качество свеклы улучшилось. Видимо, режим питания свеклы азотом в звене с кукурузой был хуже, чем в звене с многолетними травами. В то же время увеличение удельного веса свеклы в севообороте с 20 до 30% при сохранении той же дозы удобрений привело к снижению ее урожая в звене с вико-овсом на 40 ц/га. Это объясняется усилившимся заболеванием культуры. Так, при 20% свеклы в севообороте в 1977 г. в этом звене было 13,3% пораженных корнеедом растений, а при 30% — 34,5%; средневзвешенная степень поражения составляла соответственно 4,9 и 18,6%.

Наблюдения показали, что удобрения не уменьшают поражения свеклы болезнями, но, улучшая режим питания, усиливают процессы роста и повышают выживаемость растений, благодаря чему густота насаждения ко времени уборки и урожай выше. Например, в севообороте без удобрений масса 100 пораженных корнеедом растений свеклы в звене с вико-овсом в 1977 г. составила 69 г, при внесении 20 т/га навоза +  $N_{60}P_{60}K_{60}$ —100 г, при удвоении дозы минеральных туков — 128 г; густота насаждения в период уборки на удобренных фонах была выше на 24 и 33%, а урожай — на 31 и 96 ц/га.

Качество сахарной свеклы и роль удобрений в его формировании зависят также от погоды, при которой проходит дозревание корней. Исследования показали, что в засушливом 1975 г. содержание сахара в корнях было 20% и более, доброкачественность сока на уровне 94—96%. В севооборотах с разными дозами удобрений эти показатели были довольно близкими. А в 1976 г. в звене с

многолетними травами содержание сахара в корнях на контроле было 17,3%, доброкачественность сока 93,7%; в севообороте с внесением под свеклу 20 т навоза  $+N_{60}P_{60}K_{60}$ —соответственно 16,1 и 89,9%; при внесении 20 т навоза  $+N_{120}P_{120}K_{120}$ —15,9 и 89,2%. Удобрения (особенно высокие дозы азота) заметно задерживают техническое созревание свеклы.

Наиболее продуктивным по сбору кормовых единиц в опыте оказалось звено кукуруза на силос—озимь—свекла.

Подводя итоги результатов опытов с сахарной свеклой, необходимо отметить, что в зависимости от места этой культуры в севообороте эффективность удобрений может существенно изменяться.

Как правило, более высокая отзывчивость на удобрения проявляется в звене с чистым, или черным паром, что можно объяснить главным образом более благоприятными условиями влажности почвы после пара. В ряде опытов существенного различия в эффективности удобрений не отмечено, а в отдельных вариантах прибавки в звене с травами были даже выше, чем в паровом звене.

По данным С. С. Ильина (НИИ картофельного хозяйства), наибольшая отзывчивость картофеля на минеральные удобрения ( $N_{60}P_{90}K_{90}$  под предшественник и  $N_{60}P_{60}K_{60}$  под картофель) отмечалась в плодосменном севообороте. Средняя прибавка урожая клубней от указанной нормы удобрений в среднем за четыре ротации плодосменного севооборота достигала 96,4 ц/га, в то время как в паропропашном она составляла только 66,2 ц, в пропашном—74,4 ц/га. Навоз (18 т/га) также давал наибольшую прибавку урожая картофеля (57 ц/га) в плодосменном севообороте.

После гороха прибавки урожая картофеля были выше, чем после озимой пшеницы. Особенно четко выявились различия в эффективности фосфорных удобрений. По зерновым предшественникам на легких почвах наибольшая прибавка урожая получена при самой высокой из изучаемых норм азота, а на тяжелых—при 101 кг/га. По другим предшественникам на легких почвах оптимальная норма азота составляла 101 кг, а на тяжелых—50,5 кг/га.

Большое значение имеет оценка систем удобрений при возрастающих нормах их внесения на урожай и качество картофеля в условиях специализированного севооборота и бессменных посадок. В связи с этим представляют интерес исследования НИИ картофельного хозяйства в условиях стационарного опыта на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Сравнивали систему удобрения картофеля в восьмипольном севообороте и при бессменной посадке. В севообороте картофель размещали по пласту клевера, обороту пласта и озимой пшенице. В первые две ротации (1959—1974 гг.) под все культуры севооборота и на бессменном участке удобрения ежегодно вносили по схеме: 1— $N_{50}$ , 2— $P_{75}$ , 3— $K_{60}$ , 4—контроль (без удобрений), 5— $N_{50}P_{75}$ , 6— $N_{50}K_{60}$ , 7— $P_{75}K_{60}$ , 8—навоз 10 т/га  $+N_{50}P_{75}K_{60}$ , 9— $N_{50}P_{75}K_{60}$ , 10—навоз 10 т/га. Это означает, что за ротацию севооборота в сумме по разным сочетаниям на 1 га вносили  $N_{400}P_{600}K_{480}$  и 80 т навоза.

С начала третьей ротации внесено дополнительно общим фоном  $N_{50}P_{75}K_{60}$ , то есть при сохранении основы опыта соответственно вариантам удвоены дозировки того или иного элемента питания или их различных сочетаний. Применение повышенных доз удобрений привело к значительному росту урожайности картофеля. В варианте навоз 10 т +  $N_{100}P_{150}K_{120}$  по сравнению с контролем ( $N_{50}P_{75}K_{60}$ ) прибавки составили при размещении по клеверу 103,8 ц/га.

Прибавка урожая в среднем по всем предшественникам от фосфора составила 39,1 ц/га, от азота — 24,5 ц/га, от калия — 23,8 ц/га.

#### ОБРАБОТКА ПОЧВЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ

Различные приемы обработки почвы оказывают определенное влияние на влажность почвы, ее аэрацию, деятельность микроорганизмов, степень и характер засоренности поля и другие важные факторы, в той или иной степени определяющие рост и развитие культурных растений. Вполне понятно, что различные приемы обработки влияют и на эффективность удобрений.

Довольно подробно вопросы эффективности удобрений в зависимости от способа и глубины обработки почвы применительно к условиям Зауралья исследовал В. А. Синявский на Шадринской сельскохозяйственной опытной станции при колхозе «Заветы Ленина». В его опытах по безотвальному глубокому рыхлению за 4 года наблюдений в почве накапливалось несколько больше нитратов и усвояемых фосфатов (по Францесону), чем по отвальной вспашке и дискованию. Урожай зеленой массы кукурузы и прибавки урожая от удобрений при различных способах обработки почвы в среднем за три года представлены в таблице 120.

120. Эффективность минеральных удобрений на выщелоченных тяжелосуглинистых черноземах в зависимости от способа обработки почвы

Вариант обработки	Урожай зеленой массы без удобрений (в ц/га)	Прибавка урожая (в ц/га)		
		$N_{40}$	$P_{20}$	$N_{40}P_{20}$
Отвальная вспашка	218	111	31	165
Безотвальное рыхление	218	115	5	124
Дискование	183	102	14	92

В опытах не выявлено существенных различий в эффективности азотных удобрений при отвальной вспашке и безотвальном рыхлении. Несмотря на некоторое увеличение накопления нитратов при безотвальной обработке, оно не могло покрыть потребностей кукурузы и снизить эффективность азотных удобрений. Довольно высокая эффективность азотных удобрений наблюдалась и при



дисковании. Однако общее ухудшение условий роста кукурузы при этой обработке не позволило получить такой же урожай и снизило эффективность удобрений по сравнению с отвальной вспашкой и безотвальным рыхлением. Отмечается некоторое снижение эффективности фосфорных удобрений при безотвальной глубокой обработке по сравнению с отвальной вспашкой, что может объясняться вовлечением в активное использование корнями кукурузы более мощного слоя почвы.

Ф. Ш. Гарифуллин (Башкирия) изучал эффективность минеральных удобрений под различные культуры при разной глубине обработки. Результаты опытов показывают, что в большинстве случаев при более глубокой вспашке отмечается увеличение урожая и повышение эффективности удобрений. Автор опытов вполне обоснованно связывает повышение эффективности удобрений при углублении вспашки с увеличением влажности. По его наблюдениям при глубокой вспашке влажность в слое 0—50 см была на 2—4% выше, чем на поле с обычной вспашкой на глубину 20—22 см. В достаточно увлажненном 1964 г. прибавка урожая яровой пшеницы от удобрений по глубокой вспашке была не выше, а даже ниже, чем при вспашке на 20—22 см. Можно полагать, что в этом случае улучшение условий увлажнения не имело значения, вовлечение в активный оборот более мощного слоя почвы при глубокой вспашке улучшало условия использования питательных веществ почвы и поэтому снижало эффективность удобрений.

В опытах М. М. Симоняна на горных черноземах эффективность углубления пахоты повышалась по мере увеличения нормы удобрений, а эффективность последних — по мере увеличения глубины пахоты. Прибавка от удобрений составляла: на фоне вспашки на 20 см при внесении  $N_{60}P_{60}K_{60}$  — 4 ц/га,  $N_{120}P_{120}K_{120}$  — 6,8 ц/га; на фоне вспашки на 27 см — соответственно 4,9 и 9,5 ц/га; на фоне вспашки на 35 см — 5,3 и 9,9 ц/га.

В. С. Денисьевский и Н. С. Одинцов провели опыты по изучению влияния различных приемов основной обработки почвы на урожай кукурузы и эффективность удобрений на опытном поле Белоцерковского сельскохозяйственного института (малогумусный выщелоченный среднесуглинистый чернозем). На делянках без основного удобрения и при низкой норме основного удобрения урожай кукурузы и прибавка от удобрений мало изменялись при переходе от одной системы обработки к другой. Однако при высокой норме основного удобрения вполне отчетливо проявилось значение более глубокой обработки почвы. При глубокой отвальной вспашке (на 30—32 и 28—30 см) в течение двух лет подряд получены наиболее высокий урожай (63,4 ц/га) и наивысшая прибавка от удобрений (13,5 ц/га).

И. П. Котоврасов и Г. Я. Семченков приводят данные за три года по пшенице, следовавшей по гороху, согласно которым поверхностная обработка на 10—12 см (лушение), а также рыхление плугом без отвалов на глубину 20 см после уборки гороха сопро-

вождались уменьшением эффективности основного удобрения и существенным снижением урожайности озимой пшеницы по сравнению со вспашкой на 20 см.

В том же опыте изучали влияние глубины и способа обработки на эффективность удобрений под сахарную свеклу. Урожай корней в значительной степени зависит от глубины обработки и от применяемых удобрений. На неудобренном фоне наиболее высокий урожай был получен при глубокой вспашке (на 32 см). При вспашке под свеклу на 23 см на неудобренном фоне с 1 га получено на 42 ц корней меньше, чем при вспашке на 32 см. Такое увеличение урожая, вероятно, связано с тем, что при более глубокой обработке активизируются микробиологические процессы в большем слое почвы, чем при мелкой вспашке. Совершенно иная картина наблюдается при внесении удобрений. В этом случае глубокая обработка под свеклу не имела никаких преимуществ перед вспашкой на 23 см. В последнем варианте отмечались самые высокие прибавки от удобрений (более 100 ц/га).

Замена вспашки под свеклу глубоким безотвальным рыхлением (на фоне рыхления под озимь) несколько снизила урожай и эффективность удобрений. Замена вспашки рыхлением как под озимь, так и под свеклу снизила урожай свеклы на неудобренных участках на 20 ц/га, но прибавки урожая от удобрений даже несколько увеличились. Вследствие этого по удобренным участкам различия в урожае составляли всего 5—8 ц/га, что вряд ли следует принимать во внимание.

Данные В. С. Денисьевского, Н. С. Одинцова, полученные на орошаемых черноземных почвах, показали, что с увеличением глубины обработки закономерно увеличились не только урожай зерна кукурузы, но и прибавки от удобрений. Наиболее высокий урожай зерна (94,3 ц/га) был получен при сочетании высокой нормы удобрений  $N_{117}P_{108} + 70$  т навоза на 1 га, вспашки на глубину 40 см и орошения.

Как на черноземах, так и на дерново-подзолистых почвах углубление вспашки (плугом с вырезным отвалом П4-45-С-36) способствовало существенному повышению урожайности. Однако такая обработка почвы в опытах П. М. Балева не повышала, а даже несколько снижала эффективность удобрений, что, возможно, объясняется более полной мобилизацией питательных веществ самой почвы при такой системе обработки почвы.

По данным Ижевского СХИ (В. М. Холзаков) за 1973—1978 гг., применение удобрений на дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почве при разной ее обработке обеспечивало разную эффективность (табл. 121).

Последствие удобрений проявилось при вспашке на глубину 20—22 см с рыхлением подпахотного слоя до 35 см. О положительном влиянии сочетания удобрений с глубокой обработкой почвы свидетельствуют данные зарубежных исследователей (Гамильтон и Лессадр, Стоянович и Миладинович и др.).

## 121. Система обработки почвы и эффективность удобрений

Обработка почвы	Урожай (в ц/га)			
	озимой ржи	картофеля	ячменя	клевера (сено), среднее за 2 года
Вспашка на 20—22 см	7,9/16,0	124/246	15,4/17,3	38,3/54,5
Вспашка на 20—22 см с рыхлением подпахотного слоя до 35 см	10,8/20,7	138/277	16,5/20,6	46,2/61,5
Минимальная обработка	11,4/17,3	137/267	18,0/20,2	44,3/54,3

Примечание. 1. Первая цифра — без удобрений, в знаменателе — по удобрениям; на клевере — последствие удобрений.

2. Минимальная обработка — один раз за 4 года пахота на глубину 20—22 см, в остальные годы поверхностная обработка на глубину 8—10 см.

Значительно меньше, чем основная обработка почвы, изучено влияние на эффективность удобрений междурядной обработки пропашных культур. В опытах В. М. Лубенцева на связнопесчаных почвах Московской области урожай раннего картофеля без удобрения существенно не изменялся при замене окучиваний междурядными рыхлениями. Однако при внесении как  $N_{60}P_{90}K_{60}$ , так и сочетания навоза 40 т/га с  $N_{60}P_{90}K_{60}$  эффективность междурядных рыхлений была существенно выше, чем окучивания, особенно при повышенной густоте насаждения.

На опытной станции в Самокове (НРБ) С. Димитров изучал влияние многократных дополнительных обработок картофеля на эффективность увеличения нормы навозного удобрения с 20 до 40 т/га. Опыты проводили на фоне минерального удобрения ( $N_{100}P_{55}K_{72}$ ). Многократные обработки способствовали повышению урожая картофеля примерно на 10 ц/га, но не сказались на прибавке урожая от применения удобрений.

Подводя итоги приведенному выше экспериментальному материалу, можно сделать вывод, что увеличение глубины обработки, как правило, повышает эффективность удобрений. Однако в том случае, когда в обработку вовлекается очень большой слой почвы, условия роста растений могут ухудшаться вследствие слишком сильного разбавления пахотного слоя менее плодородным подпахотным, извлечения на поверхность восстановленных и токсических для растений веществ (особенно в почвах с признаками оглеения), а на определенных почвах солонцеватых горизонтов. В таких случаях нельзя ожидать повышения урожайности и увеличения эффективности удобрений, особенно при углублении отвальной вспашки. Способы обработки, при которых не извлекаются на поверхность малоплодородные подпахотные слои (применение почвоуглубителя, безотвальное рыхление и др.), нередко создают более благоприятные условия для проявления повышенной эффективности удобрений.

Анализ имеющегося опытного материала позволяет считать, что повышение эффективности удобрений при углублении обработки

почвы связано в значительной степени с улучшением водного режима растений. Во влажные годы преимущества, которые дает глубокая обработка, сглаживаются, что нивелирует и прибавки от удобрений.

В районах недостаточного увлажнения большое значение для получения высокой и устойчивой эффективности удобрений могут иметь такие приемы, как снегозадержание с помощью снегопахов, щитов, кулис из высокостебельных растений и др. К сожалению, опытные данные по этим вопросам почти совершенно отсутствуют.

А. П. Куртесов приводит интересные результаты опытов, характеризующие повышение эффективности удобрений под влиянием лесных позахватных полос в лесостепи Алтайского края. В очень сухом 1962 г. на открытом участке удобрения не оказывали последствий, в то время как на защищенном поле никакого снижения урожая не было.

Средняя мощность снегового покрова в сфере влияния лесополосы в 1961 г. составляла 83 см, в 1965 г. — 92 см, а на открытом поле — соответственно 16 и 12 см. Накопление влаги благодаря увеличению снегового покрова под влиянием лесных полос в 1961 г. достигало 201 мм, а в 1965 г. — 240 мм.

Приведенные выше опытные данные свидетельствуют о большой сложности проблемы правильного сочетания обработки почвы и рационального удобрения. Однако не подлежит сомнению, что соответствующими приемами обработки можно существенно повысить оплату удобрений урожаем. При этом нужно учитывать влажность почвы, мощность пахотного слоя, наличие сорняков и другие конкретные условия каждого поля.

#### БОРЬБА С СОРНЯКАМИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ

Сорные растения, произрастая в посевах культур, вступают с ними в конкурентные взаимоотношения за свет, влагу, углекислоту и питательные вещества. Важной биологической особенностью большей части сорняков является их способность энергично отзываться на внесение удобрений. Под влиянием удобрений существенно изменяется не только масса, но и ботанический состав сорняков. Так, в одном из опытов, проведенном в совхозе «Яхромский» В. Рекубратским с увеличением норм удобрения с  $(NPK)_{60}$  до  $(NPK)_{180}$  закономерно увеличивалась общая масса сорняков, в первую очередь за счет редьки дикой. Ее доля в общей массе сорняков при внесении удобрений значительно возрастала. Так, на неудобренном фоне ее удельный вес составил 19%, а при внесении удобрений — 42—47%. В то же время удельный вес торицы льняной в массе сорняков без удобрений составлял 59%, при внесении удобрений — только 31—41%.

Неодинаковая потребность различных сорняков в питательных веществах является одним из основных факторов изменения состава

ва их популяции при внесении удобрений. Например, при внесении повышенных норм азотных удобрений создаются благоприятные условия для развития нитрофилов, которые в этом случае подавляют развитие сорняков, слабее реагирующих на повышенный уровень азотного питания. Аналогичные изменения в составе популяции сорняков, по-видимому, возможны и при внесении фосфорных и калийных удобрений. Повышенные их дозы усиливают развитие фосфат- и калийпозитивных видов и подавление ими фосфат- и калийнегативных.

Уровень удобренности поля начинает сказываться на составе популяции сорняков уже с начала их прорастания. Они нередко значительно сильнее отзываются на удобрения, чем культурные растения. Однако нельзя сделать общего вывода, что применение удобрений обязательно увеличивает засоренность полей. При правильном выборе норм посева, выполнении определенных агротехнических мероприятий, рациональных нормах и правильном сочетании удобрений культурные растения способны в известной степени подавлять сорняки, благодаря чему на удобренных полях сорных растений оказывается значительно меньше, чем на неудобренных.

Увеличение применения удобрений должно сопровождаться усилением мер борьбы с сорняками. Правильное чередование культур и улучшение системы обработки почвы позволяют существенно снизить засоренность и повысить эффективность удобрений. Важное значение имеет также правильное сочетание минеральных удобрений и гербицидов.

Как известно, токсическое действие ряда гербицидов (2,4-Д, 2М-4Х) можно значительно усилить путем добавления в растворы для опрыскивания небольших количеств сульфата аммония или аммиачной селитры. При внесении удобрений в обычных нормах в сочетании с применением гербицидов их эффективность существенно возрастает.

Примером эффективного сочетания гранулированного бутилового эфира 2,4-Д с гранулированной аммиачной селитрой при ранневесенней подкормке посевов озимых культур (пшеница, рожь) является опыт, проведенный в Новосельском опытном хозяйстве ВИУА Калужской области. Данный прием обеспечивает уничтожение сорняков не только чувствительных, но и устойчивых к препаратам 2,4-Д, применяемым для опрыскивания посевов в период кущения злаковых культур. Внесение гранулированного бутилового эфира обеспечило прибавку урожая зерна озимой пшеницы 2,5 ц/га, внесение аммиачной селитры 3,9 ц/га, а сочетание гербицида с азотной подкормкой — 7,4 ц/га, то есть на 1 ц/га выше, чем сумма прибавок урожая при раздельном их применении. Аналогичные результаты получены в опытах, проведенных в Московской и Новгородской областях. В настоящее время этот прием получил широкое распространение в ряде областей Нечерноземной зоны, где он применяется уже на тысячах гектаров посевов озимых культур.

При сочетании удобрений и гербицидов, кроме повышения коэффициента продуктивного использования питательных веществ, важно и влияние удобрений на поведение гербицидов в почве и растениях.

Исследованиями ВИА и других отечественных и зарубежных научных учреждений показано, что активность ионных гербицидов в почве в значительной степени зависит от ее катионно-анионного баланса. Катионы кальция, например, заметно уменьшают адсорбцию хлор-симм-триазиновых гербицидов почвой, в результате чего концентрация препаратов в почвенном растворе повышается. Поэтому фитотоксичность данных препаратов на известкованной почве будет выше, чем на кислой неизвесткованной. Добавление полного минерального удобрения на фоне извести повышает адсорбцию атразина дерново-подзолистой почвой, что, в свою очередь, катализирует его гидролиз, благодаря чему разложение препарата в почве происходит интенсивнее.

Проведенные в последние годы опыты в ВИА и ТСХА свидетельствуют о том, что при обеспечении оптимальных условий питания культурные растения способны более интенсивно осуществлять детоксикацию гербицидов, что предопределяет получение продукции урожая, не содержащей остаточных количеств препаратов. При таких условиях чувствительность сорных растений к гербицидам усиливается, так как они в основном не обладают активным механизмом инактивации препаратов. В результате эти растения в лучших условиях питания накапливают в своих тканях большие количества токсикантов и подавляются полнее и интенсивнее.

Для повышения коэффициента продуктивного использования минеральных удобрений культурными растениями необходимо применять весь имеющийся арсенал агротехнических, биологических и химических мер уничтожения сорняков.

**Влияние пестицидов на микробиологические процессы в почве и эффективность удобрений.** При рыхлениях, а также с влагой атмосферных осадков пестициды проникают в толщу почвы. Многие ядохимикаты, особенно при многократном их применении, оказывают существенное влияние на деятельность почвенной микрофлоры и фауны и таким образом на уровень обеспеченности растений усвояемыми питательными веществами и, следовательно, на эффективность удобрений.

Хорошо известно, что остатки пестицидов находятся обычно в верхнем (0—15 см) слое почвы, который является местом наибольшей активности фауны и флоры почвы.

Почвенные микроорганизмы играют основную роль в метаболизме органических и неорганических компонентов почвы до доступных растениям форм. Некоторые микроорганизмы могут использовать молекулы пестицидов в качестве единственного источника углерода или азота, хотя их рост и развитие ниже, чем на обычных источниках пищи.

Обычно пестициды селективно ингибируют некоторые виды микроорганизмов, а другие виды, наоборот, быстро развиваются, вытесняя чувствительные, и таким образом поддерживается метаболическая целостность почв. Много работ имеется по влиянию гербицидов, фунгицидов, а также хлорорганических инсектицидов на микроорганизмы почвы и меньше работ по влиянию фосфорорганических соединений и карбаматов.

Влияние пестицидов на микроорганизмы почв изменяется в зависимости от дозы химиката, его химического строения, свойств почв и различных факторов окружающей среды. Так, Мартином (США, 1963) было показано, что пятилетнее применение альдрина\*, дильдрина\*, хлордана\*, токсафена в дозах 5—20 фунтов/акр на легком суглинке оказывало незначительное действие на количество почвенных бактерий или грибов, но не влияло на способность почвенной фауны разлагать растительные остатки. Другие авторы даже при очень высоких дозах дильдрина (2000 мг/кг) отмечали слабый эффект на численность бактерий и грибов в лабораторных условиях.

Фосфорорганические инсектициды (трихлоронат\*, диазинон, хлорпирифос\*, тионазин\*) в дозах 10 и 100 мг/кг ингибировали почвенные микроорганизмы при pH 8 на легком суглинке, а также оказывали депрессию на грибы и бактерии в течение первых двух недель инкубации, но в дальнейшем популяция достигала уровня на контроле (Ги, 1970; Канада). Рагу и Мак Рэй (1967, Канада) обнаружили увеличение популяции анаэробных фосфорразлагающих микроорганизмов после обработки почвы линданом. Сиваситампарам отмечал слабое ингибирование аэробных и увеличение количества анаэробных фосфорразлагающих микроорганизмов на затопляемом тяжелом суглинке после обработки хлорпирифосом\*.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что хлорорганические инсектициды среднетоксичны к нитрифицирующим бактериям (*Nitrobacter* sp., *Nitrosomonas* sp. и *Nitrobacter agilis*). Такой высокотоксичный и кратковременный инсектицид, как метилпаратион, относительно быстро разлагается микроорганизмами и стимулирует развитие различных физиологических групп, включая нитрификаторы. Хелмечи (1977, Венгрия) изучал влияние 10 гербицидов и их смесей на почвенные бактерии: аэробные, N<sub>2</sub>-фиксирующие, целлюлозоразлагающие, аммонифицирующие и нитрифицирующие. На псевдомицеллярном черноземе в 1974 г. только один препарат (картекс А — 10 кг/га) снижал численность бактерий трех физиологических групп, а в 1975 г. четыре смеси гербицидов снижали количество бактерий четырех физиологических групп.

В опытах отмечено стимулирующее действие гербицидов на развитие бактерий. Из исследуемых групп наиболее чувствитель-

---

\* Здесь и далее препараты в нашей стране не применяются

ными были нитрифицирующие бактерии, а наименее чувствительными — целлюлозоразлагающие. Аэробные азотфиксирующие и аммонифицирующие бактерии по степени чувствительности занимали промежуточное место.

При концентрациях намного ниже рекомендуемых в практике сельского хозяйства пропанил значительно ингибировал фотоавтотрофный рост некоторых сине-зеленых водорослей, включая  $N_2$ -фиксирующие виды, находящиеся в почве и на рисовых полях. Наиболее чувствительна к пропанилу из исследуемых водорослей была *Gloeocarpa alpicola*. При низких концентрациях ( $<0,03$  мг/кг) пропанила отмечена слабая стимуляция роста некоторых водорослей, при промежуточных концентрациях ( $<0,2$  мг/кг) — снижение роста всех видов и появление клеточных аномалий в некоторых, а при концентрации выше 5 мг/кг — прекращение фотосинтеза и роста водорослей (Райт и др.).

Мочевинные гербициды афалон и паторан способствовали снижению численности почвенных бактерий, актиномицетов и микроскопических грибов в большей части опытов (Бакаливанов и Хлебарева, 1977; Болгария), причем активность препаратов более четко выражена сразу после обработки и численность микроорганизмов обычно восстанавливалась через 90 дней. Применение удобрений ослабляет ингибирующий эффект гербицидов на исследуемые микроорганизмы, а также повышает скорость детоксикации препаратов в почве. Под действием натриевой соли 2,4-Д и ее смеси с атразином численность грибов в почве вначале снижалась, а потом восстанавливалась до уровня контроля. Наибольшее ингибирующее влияние 2,4-Д проявлялось на 21-й день, а смеси с атразином — на 11-й день инкубации, причем действие смеси на численность грибов оказалось слабее по сравнению только с 2,4-Д. Численность грибов к концу четвертой недели полностью восстанавливалась (Доболый и др., 1977; Венгрия). Видовой состав их менялся следующим образом. Под действием натриевой соли 2,4-Д грибы группы *Aspergillus*, составляющие на контроле 10%, исчезали совсем, а под влиянием смеси гербицидов — только наполовину. Удельный вес группы *Penicillium* при обработке гербицидами по сравнению с контролем возрастал в 1,5 раза.

Большая часть пестицидов, оказывая влияние на физиологические группы микроорганизмов, в той или иной степени влияет на микробиологические и биохимические процессы в почве. Биологическая активность почвы может изменяться при нарушении функций некоторых почвенных ферментов. Изменение активности почвенных энзимов можно рассматривать как показатель непосредственного влияния на них препаратов и их метаболитов или же как результат действия токсикантов на микроорганизмы и растения. Так, в опытах Зубца при обработке почвы симазинном вначале не наблюдалось инактивации инвертазы, а через 8 месяцев после обработки отмечалось статистически достоверное снижение активности этого фермента.



Воуитс и др. (1977, Бельгия) показали, что гербициды пиразон, этофумезат\* и метамитрон\*, применяемые в обычных дозах и в 20 раз превышающих полевые дозы, в основном не повреждали микробиоту почв: количество бактерий, грибов и целлюлозолитических микроорганизмов, а также не снижали фосфатазную, уреазную и сахаразную активность. Однако временное ингибирование степени дыхания и нитрификации отмечено по всем трем гербицидам при обычных нормах применения. По мере метаболизма препаратов уреазная активность возрастала.

В обзорной работе Саймона—Сильвестра (1979, Франция), показало, что на активность дыхания не оказывают влияния гербициды, применяемые в обычных дозах: симазин, атразин и триаллат, а также при 7—9 обработках пиклорамом, метоксуром, 2,4-Д и 2,4,5-Т\* и инсектициды: дильдрин\*, малатион\* и фунгицид беномил.

Частично ингибируют дыхание микрофлоры почвы симазин, метоксурон, линурон, диносебацетат\* и беномил. Стимуляция дыхания отмечается при обработке симазином, иоксинилом, линданом, токсафеном, дильдрином\* и фосфорорганическими соединениями. Иногда вслед за ингибированием наступает стимуляция дыхания. Это вызывают следующие препараты: хлороксурон, диурон, флуометурон\*, метобромурон, монурон, далапон, 2,4-Д, ТХА, симазин и фунгицид каптан.

Из четырех испытанных гербицидов Тотом (1977, Венгрия) дозы препаратов Венгрия К-64\* и актикона\*, обычно применяемые (1—5 мг на сосуд), при всех нормах азота (0, 20, 100, 500, 1000 мг/сосуд) слабо повышали накопление  $\text{CO}_2$  в почве. При более низких дозах рамрод и афалон по сравнению с контролем оказывали незначительное влияние. Наибольшее стимулирующее действие обнаружено при использовании препарата Венгрия К-64\* в дозе 5 мг/сосуд без применения азота (выделение  $\text{CO}_2$  на 16,7% выше по сравнению с контролем). Наивысшая депрессия была также отмечена, когда применяли 400 мг препарата Венгрия К-64\* на сосуд без азота. Повышенные дозы азота частично ограничивали ингибирующий эффект гербицидов. При внесении 500 мг N на сосуд даже самая большая доза гербицида снижала выделение  $\text{CO}_2$  только на 26%.

На процессы аммонификации в почве не оказывают отрицательного действия линдан\* и эндрин\*, применяемые в рекомендуемых и даже повышенных дозах. Применение фосфорорганических и карбаматных инсектицидов оказывало стимулирующий эффект на накопление аммония в почве (Ту и Майлс, 1976; Канада).

На процесс нитрификации в аллювиальной почве слабое ингибирование оказывали альдрин\*, хлордан\* и линдан\* сразу после обработки. Исследованиями Ту на легком суглинке показано, что альдрин и дильдрин (2000 мг/кг) снижали степень нитрификации по крайней мере в течение двух месяцев. Ингибирование процесса значительно снижалось после трех месяцев инкубации. Дильдрин

и гептахлор (Чандра, 1966; США) подавляли нитрификацию в глинистой, суглинистой и легкосуглинистой почвах в течение восьми недель, а на 16-й неделе нитрификация повышалась и токсический эффект исчезал. Ингибирующий эффект исчезал с повышением температуры и времени инкубации во всех почвах, причем токсические эффекты были меньше в почвах с высоким содержанием органического вещества, глины и высокой катионообменной емкости, но при нейтральном рН.

В отдельных случаях заметное угнетение нитрификации вызывают производные симм-триазина: симазин, атразин и др. Как правило, они не оказывают депрессирующего влияния на почвенную микрофлору. Однако в последнее время в условиях Молдавии показано, что при длительном применении симазина или атразина происходит угнетение микробиологических процессов в почве. Некоторое ослабление нитрификационных процессов отмечено под действием хлорфеноксисукусной и хлорфеноксимасляной кислот, к производным которых принадлежат широко распространенные гербициды. Случаи депрессии нитрификации относятся преимущественно к легким почвам и к применению повышенных доз гербицидов. В ряде других случаев, наоборот, наблюдали повышение интенсивности нитрификации. Нитрифицирующие организмы более чувствительны к гербицидам производных карбаминовой кислоты (карбин, хлор—ИФК и др.). По данным Домша (ФРГ), например, при внесении 4 кг вапама на 1 га нитрификация полностью приостанавливалась на довольно длительный срок. Довольно сильные ингибиторы нитрификации — производные хлоруксусных и хлорпропионовых кислот, в частности трихлорацетат натрия, далапон и др.

Из числа других органических пестицидов следует упомянуть о препарате тиазон, который обычно применяется как нематодцид. Особенностью этого препарата является то, что он даже при внесении в сравнительно высоких нормах мало влияет на нитрификацию. В некоторых наблюдениях отсутствие существенного подавления нитрификации отмечалось даже при громадных дозах тиазона — до 3 т/га. Вместе с тем этот препарат способствует сохранению и довольно энергично подавляет денитрификацию даже в условиях, исключительно благоприятных для этого процесса.

Сравнительно распространенный пестицид реглон в нормах до 20 мг/кг почвы не оказывает существенного влияния на нитрификацию, а аланап\* в опытах отдельных исследователей даже стимулировал накопление нитратного азота в почве. Эндрин\* в низких дозах оказывал незначительный эффект на нитрификацию. Науманном (1971, ГДР) отмечена стимуляция нитрификаторов при использовании высоких доз линдана (0,5%) и токсафена (0,05—0,5%) во влажных черноземных почвах. Слабая депрессия нитрификации отмечена при использовании алдикарба\*, карбофурена\*, трихлорфона\* и трихлороната\*.

Обобщая вышеизложенное, можно сказать, что большая часть инсектицидов является ингибиторами нитрификации в различной степени в зависимости от химиката, дозы и почвы. Микробы, которые вызывают денитрификацию, могут ингибироваться некоторыми инсектицидами, благодаря чему снижаются потери азота. Восстановление нитритов до элементарного азота более чувствительно к инсектицидам, чем снижение процесса нитрификации (Митсун и др., 1963; Япония).

Применение инсектицидов в различных концентрациях в инокулированную патогенными грибами (*Fusarium oxysporium*) почву снижало симбиотическую азотфиксацию и стимулировало ее при инокуляции почвы *Rhizoctoma solani*. В первом случае инсектициды представляют добавочный ингибирующий фактор процесса клубнеобразования, уже вызванный инокуляцией *Fusarium*.

Альдрин и дизальдрин снижали степень окисления серы в течение двух месяцев. Эффект соединений убывал, и ингибирование снижалось значительно после трех месяцев инкубации. Эндрин в опытах Боллена и Ту (1971, США) оказывал незначительное влияние на окисление элементарной серы, а в опытах Сиваситампарам хлорпирифос\* существенно увеличивал количество сульфатвосстановителей.

Пестициды, применяемые в рекомендуемых дозах, в основном не оказывают отрицательного влияния на микрофлору почвы. Они изменяют лишь в некоторой степени соотношение физиологических групп микроорганизмов без снижения их общей численности. Иногда появляется специфическая микрофлора, способная разлагать тот или иной препарат. В первые дни после обработки сельскохозяйственных культур пестициды оказывают депрессирующее действие на микроорганизмы почвы, но в дальнейшем вследствие детоксикации препаратов или адаптации микроорганизмов к последним угнетающее действие препаратов снижается и нередко проявляется стимулирующий эффект.

Большая часть пестицидов при обычных нормах применения сравнительно мало влияет на процессы накопления или иммобилизации усвояемых соединений азота. Сильнее действие этих веществ сказывается на нитрификации, слабее — на денитрификации и, по-видимому, еще слабее — на аммонификации и иммобилизации усвояемых соединений азота в виде органического вещества.

Можно предполагать, что в условиях резкого подавления пестицидами нитрификации в отдельных случаях может оказаться полезным увеличение норм азотных удобрений. С другой стороны, при некоторых сроках внесения азотных удобрений, например осенью под зябь, целесообразно задержать или ослабить нитрификацию или подавить денитрификацию. В этих случаях может быть необходимым комбинированное внесение удобрений и пестицидов, депрессирующих указанные выше процессы.

## ПЛОЩАДИ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Изменение величины и формы площади питания оказывает существенное влияние на фотосинтетическую деятельность растений, усвоение и использование ими влаги и питательных веществ, что в конечном счете определяет высоту и качество урожая. О том, насколько значительной может быть зависимость продуктивности растений и эффективности удобрений от указанного фактора, свидетельствуют многочисленные опытные данные.

Опыты Новосибирской опытной станции, проведенные с кукурузой и подсолнечником, показали, что при излишне большой площади питания урожай значительно ниже, чем при меньшей площади, но при соответственно большей густоте насаждений (табл. 122).

**122. Влияние площади питания на урожай и эффективность минеральных удобрений (в ц/га)**

Площадь питания (в см)	Кукуруза			Подсолнечник		
	урожай зеленой массы		прибавка урожая от удобрений	урожай зеленой массы		прибавка от удоб- рений
	без удоб- рения	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>60</sub>		без удоб- рения	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>60</sub>	
20×20	548	705	157	425	551	126
60×60	292	384	92	455	624	169
100×100	141	204	63	270	373	103
120×120	112	121	9	242	289	47

При малом количестве растений на единице площади они не могут продуктивно использовать внесенные удобрения и эффективность удобрений оказывается намного меньше, чем при более высокой густоте насаждений. Однако и при излишнем загущении (опыт с подсолнечником) отмечается снижение как урожая, так и эффективности удобрений, что связано с очень неблагоприятными условиями освещения, подтока углекислоты, которые создаются в этом случае.

Подобные же выводы можно сделать и из опытов с сахарной свеклой, проведенных П. П. Вавиловым и А. А. Новиковой в Орловской области (табл. 123).

Урожай корней и прибавка от удобрений в этих опытах систематически увеличивались по мере увеличения густоты насаждений, причем верхний предел загущения, после которого оно начало бы сказываться отрицательно, не был достигнут.

Увеличение эффективности удобрений с повышением густоты насаждений является общей закономерностью, однако для разных культур, разных почвенных и климатических условий и норм удобрений проявляется она неодинаково.

### 123. Эффективность удобрений при разной густоте насаждения сахарной свеклы

Густота насаждения (в тыс. растений/га)	Урожай корней (в ц/га)			Прибавка от удоб- рений (в ц/га)		Прибавка по сравнению с густотой 50 тыс. растений на 1 га		
	без удобрений	N <sub>60</sub> P <sub>10</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>120</sub> P <sub>10</sub> K <sub>160</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>160</sub>	без удобрений	N <sub>60</sub> P <sub>10</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>120</sub> P <sub>10</sub> K <sub>160</sub>
50	164	214	233	50	69	—	—	—
74	177	241	275	64	101	13	14	32
103	189	275	324	86	135	25	30	66
140	205	313	357	108	152	41	58	83

Наиболее четко положительное влияние загущения проявляется у культур с детерминированным ростом, которые не кустятся и не образуются у них многочисленных ветвей, способных компенсировать малое число растений. Так, высокопродуктивные сорта подсолнечника образуют всего лишь одну шляпку независимо от густоты стояния, мало изменяется число початков у кукурузы, только один корнеплод имеется у свеклы. У культур с недетерминированным ростом, способных образовывать дополнительные побеги или ветки, положительное увеличение густоты насаждений сказывается в более узких пределах и обычно слабее, чем у культур с детерминированным ростом.

Азотные удобрения наиболее резко усиливают рост ассимилирующей поверхности и, как свидетельствуют многие исследования (Л. М. Дорохов, Н. П. Воскресенская и А. А. Нечипорович, Д. А. Комиссаров и др.), повышают интенсивность фотосинтеза на единицу поверхности листьев. Однако при излишнем загущении роль азотных удобрений может быть и отрицательной. Буйный рост листьев приводит к усилению их взаимного затенения и снижению интенсивности фотосинтеза из-за ухудшения освещенности. Особенно отрицательно излишнее загущение сказывается на образовании органов плодоношения. Азотные удобрения увеличивают и продолжительность жизни листьев.

Фосфорные удобрения, хотя гораздо слабее, чем азотные, тоже способствуют развитию ассимиляционного аппарата. По Л. М. Дорохову, также происходит усиление фотосинтетических процессов. Наши исследования показали, что фосфорные удобрения довольно активно усиливают фотосинтез и в условиях относительного затемнения, то есть при загущении посева. Недостаток калия задерживает развитие ассимиляционного аппарата и снижает интенсивность фотосинтеза.

В зависимости от густоты насаждения, норм и соотношений питательных веществ эффективность отдельных видов удобрений может быть разной. При общей тенденции к повышению продуктив-

ности насаждений с увеличением густоты насаждений и норм удобрений возможно и снижение продуктивности. Это относится прежде всего к случаям излишнего загущения и применения неоправданно высоких норм удобрений. В практике такие случаи чаще всего наблюдаются на зерновых культурах, где усиленное кушение и без того густого посева легко вызывает полегание, неизбежно связанное с большими потерями.

Увеличение густоты насаждений оказывает отрицательное влияние на урожай в условиях засухи. Внесение удобрений, особенно азотных, в этих условиях усиливает отрицательное влияние загущения.

В связи с быстрым ростом применения органических и минеральных удобрений большое значение приобретает установление оптимальных норм высева, площадей питания, способов посева и посадки сельскохозяйственных культур.

#### ПОЛЕГАНИЕ РАСТЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ

Важным условием эффективного использования питательных веществ удобрений является отсутствие полегания растений. В практике наиболее часто приходится встречаться с полеганием зерновых колосовых (пшеница, ячмень и др.), кукурузы, льна и некоторых других культур. Вызывая глубокое нарушение нормальных процессов жизнедеятельности растений, полегание нередко ограничивает величину урожая и не позволяет применять повышенные нормы удобрений.

И. А. Волков и Ф. М. Перекальский еще в довоенные годы изучали влияние минеральных удобрений на морфолого-анатомические признаки хлебных злаков, так или иначе связанные с их полеганием. Они пришли к выводу, что повышенные дозы фосфорного удобрения содействуют тому, что в опасный в отношении полегания период растения вступают с умеренно развитой листовой массой и со стеблем, обладающим достаточно прочной механической тканью. Эти обстоятельства определяют большую устойчивость растений. Азотные удобрения способствуют увеличению площади и массы листьев. Этот положительный фактор в момент закладки и формирования репродуктивных органов может сыграть отрицательную роль в опасный для полегания период вследствие увеличения нагрузки на единицу поперечного сечения нижней части стебля. Имеет значение и то, что азотные удобрения, как уже отмечалось выше, несколько удлиняют вегетационный период и задерживают развитие механических тканей стебля.

Калийные удобрения способствуют усиленному образованию гиподермальной механической ткани стебля и не вызывают чрезмерного развития листьев. Таким образом, эти удобрения, по мнению И. А. Волкова и Ф. М. Перекальского, могут играть положительную роль и как фактор, ослабляющий полегание.

В опытах И. Н. Гальченко (Донской НИИСХ) увеличение норм внесения фосфора и калия не вызывало полегания. Только повышение нормы азотного удобрения обуславливало полегание пшеницы (табл. 124).

124. Влияние минеральных удобрений на рост и полегание яровой пшеницы

Внесено (в кг/га)			Число узеловых корней на расте- ние	Продук- тивная кустист- ность	Площадь двух верхних листьев (в см <sup>2</sup> )	Сырая масса растения (в г)	Полегание было (+), не было (—)
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O					
25	40	25	12	1,5	27,01	8,19	—
115	40	25	13	1,8	49,89	12,31	+
115	170	25	14	2,0	39,94	13,93	+
115	40	115	15	2,0	41,86	12,45	+
115	170	115	15	2,0	44,05	13,44	+
25	170	25	13	1,5	30,16	8,56	—
25	40	115	11	1,4	29,05	8,70	—
25	170	115	17	1,6	31,58	9,55	—

Действие азотного удобрения проявляется, однако, неодинаково при разных нормах высева. В другом опыте И. Н. Гальченко при норме высева 1—2 млн. всхожих семян на 1 га полегания не было даже при внесении на 1 га 220 кг азота, в то время как при норме 4,5 млн. семян внесение уже 110 кг азота вызывало полегание посева.

Т. Г. Мотренко (1957) в условиях Ростовской области также отметил усиление полегания пшеницы при внесении азотных удобрений. А. Мур (1964, Англия) считает высокие нормы азотных удобрений, а также повышенное содержание нитратов в почве за счет нитрификационных процессов одной из важных причин полегания. В том же направлении, по мнению Мура, действует недостаток в почве усвояемых фосфатов и калия.

В одном из опытов, фигурирующих в сводке Холлидея (1963, Англия), на неудобренной почве яровая пшеница не полегала при норме высева до 2,5 ц/га и даже при очень высокой норме (5 ц/га) полегла лишь на 20,5% площади. При внесении 75 кг азота на 1 га полегание на 11,5% площади было отмечено уже при норме высева 1,25 ц/га, а при норме высева 2,5 ц/га оно охватило 28% площади поля.

А. В. Пятыгин и В. Ф. Селихов (1967) приводят данные о полегании озимой пшеницы Безостая 1 в условиях орошения при внесении высоких норм минеральных удобрений (табл. 125).

В средние по погодным условиям годы Безостая 1, являющаяся одним из наиболее устойчивых сортов, почти не полегала даже при сочетании орошения с высокими нормами удобрений. Однако в 1965/66 г. при наличии сильных осадков и ветров полегание было довольно значительным. Фосфорные удобрения в невысоких дозах

**125. Полегание озимой пшеницы Безостая 1 в фазе восковой спелости  
в зависимости от доз минеральных удобрений**

Вариант опыта	Полегание (в %)		
	в 1963/64 гг.	в 1964/65 гг.	в 1965/66 гг.
Контроль — без удоб- рений	—	0,7	19,0
P <sub>60</sub> рано весной	—	22,5	—
P <sub>45</sub>	—	—	18,5
P <sub>90</sub>	1,0	2,0	20,4
P <sub>135</sub>	2,0	—	2,8
P <sub>180</sub>	—	11,7	31,6
P <sub>90</sub> N <sub>60</sub>	1,5	10,0	31,6
P <sub>90</sub> N <sub>120</sub>	2,0	—	57,1
P <sub>135</sub> N <sub>60</sub>	6,0	—	33,1
P <sub>135</sub> N <sub>120</sub>	17,0	—	58,2
P <sub>180</sub> N <sub>60</sub>	9,0	20,0	36,3
P <sub>180</sub> N <sub>120</sub>	8,0	29,4	60,3

не влияли на полегание, при норме 135 кг/га снижали полегание и лишь при самых высоких (180 кг/га) его усиливали. Полегание возрастало с увеличением норм азотных удобрений.

Из сказанного видно, насколько важно правильное сочетание норм внесения азотных удобрений с нормами высева, а также и с другими приемами возделывания зерновых с тем, чтобы исключить или ослабить полегание и обеспечить высокую урожайность и эффективность азотных удобрений.

Важнейшее значение имеет выбор сорта (табл. 126).

Из данных таблицы видно, что прибавка урожая от удобрений при использовании более устойчивого сорта в 2,5—3 раза превышала прибавку, которую давали полегающие сорта.

Кроме фактора полегания, сочетание высоких норм удобрений (главным образом азотных) с повышенными нормами высева может иметь отрицательное значение в засушливых районах в связи с большей потребностью густого стеблестоя во влаге. В критические моменты развития недостаток влаги на загущенных по-

**126. Эффективность удобрений при использовании разных сортов**

Сортоучасток	Удобрение	Сорт	Урожай без удобрений (в ц/га)	Прибавка урожая (в ц/га)
Каневский, Краснодарский край	N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> K <sub>30</sub>	Безостая 1 (относительно устойчивый)	23,9	12,6
		Степнячка (полегающий)	25,7	5,5
Хойникский, Белорусская ССР	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	Белоцерковская 198 (относительно устойчивый)	36,8	18,0
		Лютесценс 238 (полегающий)	37,6	5,6



севах может сказаться гораздо болезненнее на сильно удобренных посевах.

И. Штрауб и Ф. Винхус (ФРГ), Р. А. Удачин приводят интересные данные о влиянии повышающихся норм азота на полегание и урожай озимой пшеницы без применения и с применением хлорхолинхлорида — СССР (табл. 127).

127. Полегание и урожай озимой пшеницы при разных дозах азота и применении хлорхолинхлорида

Показатель	Без удобрений		Доза азота (в кг/га)					
			80		120		160	
	без СССР	с СССР	без СССР	с СССР	без СССР	с СССР	без СССР	с СССР
Урожай зерна (в ц/га)	31,5	30,1	38,2	48,5	34,5	49,4	28,1	51,0
Полегание (в баллах)	9	9	2	9	2	7	1	8
Прибавка урожая от удобрений (в ц/га)	—	—	6,7	18,4	3,0	19,3	—3,4	20,9

Примечание. Оценка по девятибалльной шкале (1 балл — полное полегание, 9 баллов — отсутствие полегания).

Из данных таблицы видно, что с увеличением нормы азотного удобрения без применения хлорхолинхлорида увеличивалось полегание, параллельно чему уменьшалась прибавка урожая от удобрений. При дозе азота 160 кг/га пшеница полностью полежала и урожай был ниже, чем на контрольных делянках. Хлорхолинхлорид резко ослабил полегание, что позволило получить значительный прирост урожая по мере увеличения доз азотного удобрения.

Те же авторы в Институте им. Э. Баура (Кельн) провели опыты с большим набором советских и западноевропейских сортов озимой пшеницы. Различия в уровне азотного питания в опытах были обусловлены азотными подкормками, проведенными ранней весной и перед колошением. В опытах вполне четко установлены зависимости эффективности азотных подкормок от степени полегания посева и большое значение хлорхолинхлорида как средства, предотвращающего полегание и обеспечивающего высокую эффективность азотных подкормок. Аналогичные результаты получены и другими исследователями.

#### ОРОШЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ

Тесная связь эффективности удобрений с величиной осадков и влажностью почвы установлена давно. По данным быв. Миронской опытной станции (Сухобрус и Литвиненко, 1967), прибавка урожая от удобрений во влажные годы была примерно втрое больше, чем в сухие. Аналогичные данные можно привести и для яровой пшеницы по результатам опытов Новосибирской опытной

станции за 14 лет (выщелоченные черноземы). Удобрения действовали как во влажные, так и в засушливые годы; но во влажные годы эффективность фосфатов была в 2 раза, азотно-фосфорного — в 2,4 раза и полного удобрения — в 3 раза выше, чем в засушливые.

С помощью орошения устраняется острый недостаток влаги в почве, что позволяет исключить резкие колебания урожайности. В то же время при орошении создаются, по существу, такие же или даже лучшие условия для проявления высокой эффективности удобрений, как и в благоприятные годы. По данным Мало-Кабардинской опытно-оросительной станции (Льгов, 1960), прибавка от орошения на неудобренном фоне составляла всего 10,2 ц/га, при внесении минеральных удобрений — 25,2 ц/га, а навоза и минеральных удобрений — 25,9 ц/га. Большие прибавки урожая от удобрений свидетельствуют о том, что орошение сильно увеличивает коэффициенты их использования, в этом примере почти в 2,5 раза. В повышении эффективности и коэффициентов использования удобрений, как мы видим, орошению принадлежит весьма важная роль.

Не только орошение в огромной степени повышает эффективность удобрений, но и удобрения обуславливают увеличение эффективности орошения, в чем проявляется давно установленный факт более продуктивного использования влаги растениями при удовлетворении их потребности в питательных веществах. Это находит выражение в снижении коэффициента водопотребления.

Орошение без удобрения в опытах Мало-Кабардинской опытно-оросительной станции несколько снижало содержание протеина в зерне пшеницы. Однако при внесении удобрений удалось заметно увеличить содержание протеина.

Отзывчивость культур на удобрения в условиях орошения в значительной степени определяется особенностями сорта. Урожай озимой пшеницы при влагозарядке и вегетационных поливах составил: Лютеценс 230—36,1 ц/га, Безостая 1—38,8 ц/га, Миrowsкая 808—47,5 ц/га, при орошении в сочетании с высокими дозами удобрений — соответственно 39,4; 58,5 и 61,2 ц/га. Дальнейшее увеличение норм азота при орошении, так и без орошения было неэффективно, по-видимому, в связи с усилением полегания (Дмитриенко, 1965).

О высокой эффективности удобрений при орошении свидетельствуют и опыты с ячменем, проведенные в Саратовском сельскохозяйственном институте. Прибавка урожая от удобрений без орошения составляла в среднем 2,7 ц/га (с отклонением по отдельным сортам от 2,1 до 3 ц), а при орошении — 6,9 ц (по отдельным сортам от 4,3 до 9,4 ц/га).

Значительное повышение эффективности удобрений при орошении выявилось также в опытах Краснодарского научно-исследовательского института сельского хозяйства. Без орошения внесение удобрений совсем не давало прибавки урожая кукурузы в сухие

годы (менее 30 мм осадков в июле), а в годы с влажным летом (более 50 мм осадков в июле) прибавки колебались в пределах 6—8 ц/га. При орошении (оросительная норма 2—4 тыс. м<sup>3</sup>) прибавки урожая зерна кукурузы удвоились и достигли 12—16 ц/га.

В среднем за 1959—1961 гг. в опытах Украинского научно-исследовательского института орошаемого земледелия урожай зерна кукурузы без орошения составлял 37,5 ц, при орошении — 67,5 ц/га; прибавка урожая навоза в дозе 15 т/га — соответственно 3,6 и 12,5 ц/га. Оплата 1 кг питательных веществ при внесении N<sub>30</sub>P<sub>30</sub> урожаем кукурузы в зависимости от срока внесения удобрений колебалась без орошения от 2,6 до 12,6 кг зерна, а при орошении от 15,3 до 20,1 кг зерна. Без орошения внесение удобрений под зябь было почти в 5 раз эффективнее, чем под предпосевную культивацию, но при орошении различия в сроках внесения удобрений были выражены гораздо слабее.

Орошение имеет большое значение для повышения урожайности и увеличения эффективности удобрений и для подсолнечника, особенно в менее увлажненных восточных районах его культуры. В опытах Оренбургского сельскохозяйственного института затраты труда на 1 ц семян подсолнечника без удобрения и влагозарядки составляли 6,3 чел.-ч, при внесении удобрений без влагозарядки — 5,7 чел.-ч, при влагозарядке без удобрений — 4,6 чел.-ч и при влагозарядке и внесении удобрений — 4,2 чел.-ч.

По данным Всесоюзного научно-исследовательского института масличных культур, в среднем за 2 года урожай подсолнечника при внесении N<sub>45</sub>P<sub>60</sub>K<sub>45</sub>+2 т перегноя без орошения повышался на 0,9 ц/га, при орошении — на 5,4 ц/га.

Потребляя в течение вегетационного периода огромные количества воды, сахарная свекла сильно отзывается на орошение, особенно при сочетании его с повышенными нормами удобрений. В опытах М. И. Цырулина минеральные удобрения и навоз без орошения повышали урожай корней в условиях зоны неустойчивого увлажнения Краснодарского края (колхоз «Красная звезда» Динского района) на 36—80 ц при урожае на контроле 327 ц/га. При орошении прибавки урожая от удобрений колебались от 66 до 270 ц, то есть были выше, чем в неорошаемых условиях; урожай на контроле составил в среднем 609 ц/га.

Большее увеличение эффективности удобрений под кормовую свеклу отмечено в опыте Украинского научно-исследовательского института земледелия на дерново-среднеподзолистых почвах совхоза «Бортничи» (Киевская область). При внесении удобрений в дозе N<sub>85</sub>P<sub>75</sub>K<sub>150</sub> урожай корней увеличился без полива с 427 до 620 ц/га, то есть на 193 ц, а при трехкратном поливе (норма — 400 м<sup>3</sup>/га) — с 441 до 750 ц, или на 309 ц/га. Орошение без удобрений увеличило урожай только на 14 ц, а при внесении удобрений — на 130 ц/га.

Много опытов как в южных, так и в северных районах страны было поставлено с удобрением и орошением картофеля. В совхозе

«Саки» (Крымская область) прибавка урожая картофеля при внесении навоза 20 т/га и  $N_{40}P_{60}$  составляла: без орошения — 17 ц/га (13%), при поддержании влажности почвы не ниже 65% ПВ—44 ц (21%), при поддержании влажности почвы не ниже 80% — 119 ц/га (51%). При наиболее благоприятном режиме орошения прибавка урожая от удобрений по сравнению с неорошаемыми участками увеличилась в 7 раз. Удобрения, в свою очередь, существенно повысили эффективность орошения. Прибавки от последнего на удобренном фоне колебались в пределах 83—109 ц, а на удобренных — 110—211 ц/га (Кузанова, 1960; Дмитриенко, 1965, и др.).

Эффективность удобрений неодинаково проявляется при разных режимах орошения. Об этом свидетельствуют, например, данные Ершовского опорного пункта (Саратовская область). При ограниченном числе поливов прибавка урожая зерна пшеницы при увеличении дозы удобрений была незначительная. Увеличение числа поливов с трех до пяти создало условия для эффективного использования повышенных норм удобрений и позволило получить весьма высокий урожай — свыше 53 ц/га.

На предкавказских среднемощных черноземах Ростовской опытной мелиоративной станции (В. А. Корин, В. А. Турулева, В. К. Турулев) на фоне влагозарядки озимая пшеница Безостая 1 очень сильно отзывалась на фосфорное удобрение и слабее на азотные, в то время как при сочетании влагозарядки с вегетационными поливами отзывчивость на азотные и фосфорные удобрения была примерно одинаковой.

Повышение прибавок урожая яровой пшеницы Харьковская 46 с увеличением числа поливов отмечено также в опытах Алтайского сельскохозяйственного института. Резкое повышение эффективности удобрений с улучшением влагообеспеченности кукурузы благодаря увеличению числа поливов с двух до четырех отмечено на полях Брилевской опытной станции. Наглядно значение поливного режима проявилось в опытах Д. А. Штойко с сахарной свеклой.

В опытах У. И. Пейсахова (1971) эффективность удобрений в Дагестане в зависимости от режима орошения значительно менялась. При поддержании влажности на уровне 60% ПВ эффективность  $N_{60}$  и  $N_{60}P_{60}$  была небольшой. Немного эффективнее эти удобрения были и при более благоприятных поливных режимах. Однако повышенные дозы азота и фосфора при более высокой влажности действовали намного сильнее, чем при самом экономичном поливном режиме. В этом случае прибавки от удобрений совершенно закономерно повышались с увеличением уровня влагообеспеченности. При излишне высокой дозе азота ( $N_{180}P_{120}$ ) прибавки урожая снижались, возможно, в связи с усилением полегания.

Орошение не только усиливает действие удобрений в целом, но и существенно влияет на относительную эффективность отдельных его видов. Еще в первых опытах, проведенных в начале 30-х годов

на Уральской опытной станции, было показано резкое усиление эффективности азотных удобрений и относительное снижение эффективности фосфатов при орошении.

Такой же вывод П. Г. Найдин (1963) сделал на основе выполненной им сводки результатов опытов по удобрению зерновых культур. В условиях Поволжья даже в благоприятные годы, когда урожаи без удобрений достигали 15—20 ц/га, азотные и калийные удобрения действовали слабо. Единственным эффективным видом удобрений там оказывались фосфорные, что подтверждается опытами, проведенными и в других районах недостаточного увлажнения. При орошении и при высоком урожае на контрольных деланках прибавки от азотных удобрений на фоне фосфорно-калийных составляли 3—3,8 ц/га. Довольно сильно действовали и калийные удобрения на фоне азотно-фосфорных. Значительное повышение эффективности калийных удобрений при орошении в ряде случаев отмечено и в некоторых зарубежных опытах.

Многочисленные исследования АН СССР показали, что основное условие максимальной эффективности применения удобрений в орошаемом земледелии — это прежде всего правильное сочетание поливного режима и доз удобрений. При соблюдении этого условия на фоне общего высокого уровня агротехники применительно к разным почвенно-климатическим данным и особенностям культур прибавка урожая на орошаемых землях за счет удобрений достигает, как правило, 50%, для некоторых культур на определенных почвах — 100%, а иногда и 200% по сравнению с неудобренными почвами.

В зонах орошаемого земледелия почти на всех почвах решающее значение имеют азотные удобрения, особенно высококачественная гранулированная аммиачная селитра и высококонцентрированное азотное удобрение — мочевина, дающие прибавки урожая 32—83%. Эффективность фосфорных удобрений ниже, чем азотных (прибавка не превышает 20%) и проявляется в основном на фоне последних. Действие калийных удобрений на урожай культур очень неустойчиво: прибавка урожая не более 5%.

К сожалению, на практике наблюдаются факты снижения эффективности удобрений при неудовлетворительном режиме орошения, когда влажность почвы оказывается ниже оптимальной величины или когда, наоборот, хорошо орошаемые земли, а следовательно, и растения не получают требуемые удобрения. Степень оптимизации минерального питания растений связана с нормализацией доз и соотношений минеральных элементов, вносимых под основную обработку почвы, и с подкормками в период вегетации растений для своевременного удовлетворения изменяющейся в онтогенезе их потребности с учетом этапов органообразовательных процессов.

Из имеющихся данных по взаимодействию удобрений и поливов вытекает общий вывод: применяя повышенные (до оптимума) дозы удобрений, необходимо одновременно и влажность почвы под-

**128. Урожай зерна озимой пшеницы Мироновская 808 при различных уровнях режима орошения и минеральных удобрений**

Вариант опыта	Урожай зерна (в ц/га)		
	при влагозарядке нормой 1550 м³/га	при влагозарядке и трех вегетационных поливах, оросительная норма 2050 м³/га	при влагозарядке и четырех вегетационных поливах, оросительная норма 2890 м³/га
Без удобрений	26,6	39,1	45,5
N <sub>80</sub> P <sub>120</sub> K <sub>60</sub>	32,2	46,6	54,1
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub>	34,1	52,6	58,4

держивать на более высоком уровне, чем при возделывании культур при малых дозах удобрений или совсем без них. Об этом свидетельствуют опыты с озимой и яровой пшеницей, ячменем, овсом, кукурузой, зернобобовыми, сахарной свеклой, хлопчатником, овощными культурами, травами и другими культурами. Так, четырехлетние исследования А. А. Сабко показали, что от внесения высоких доз азотно-фосфорных удобрений урожай зерна озимой пшеницы Безостая 1 повышался с 35,2 до 56,5 ц/га.

По данным ВолжНИИГиМ, самый большой урожай озимой пшеницы Мироновская 808 (58,4 ц/га) собран при сравнительно высоких дозах удобрений и повышенном поливном режиме (табл. 128).

Аналогичные результаты с тем же сортом озимой пшеницы и с сортом Ершовская 3 получены в НИИ сельского хозяйства Юго-Востока, а с сортом Безостая 1 — в Молдавском НИИ орошаемого земледелия и овощеводства на землях Суклейской оросительной системы, а также на Грозненской опытно-мелиоративной станции ЮжНИИГиМ. То же наблюдалось и в опытах с яровой пшеницей (табл. 129).

Полученные результаты убедительно показывают, что по мере увеличения доз удобрений от средних до повышенных и, наконец, до высоких и улучшения одновременно водного режима почвы (проведением трех—пяти поливов) прибавка урожая зерна

**129. Урожай зерна яровой пшеницы Мелянопус 26 при разных уровнях режима орошения и минеральных удобрений**

Вариант опыта	Урожай зерна (в ц/га)		Прибавка урожая при увеличении количества поливов	
	при трех поливах по 700 м³/га	при пяти поливах по 700 м³/га	в ц/га	в %
N <sub>50</sub> P <sub>75</sub> K <sub>30</sub>	31,5	39,5	8,0	25
N <sub>110</sub> P <sub>150</sub> K <sub>70</sub>	32,5	47,9	15,4	47
N <sub>140</sub> P <sub>190</sub> K <sub>90</sub>	33,5	53,5	20,0	60

прогрессивно увеличивалась и достигла 20 ц/га. Увеличение же доз удобрений в 2—2,5 раза без соответствующего повышения оросительной нормы было малоэффективным. При трех поливах (оросительная норма 2100 м<sup>3</sup>/га) урожай зерна вырос всего на 2 ц/га, тогда как увеличение оросительной нормы до 3500 м<sup>3</sup>/га при пяти поливах наряду с повышением доз удобрений позволило получить прибавку, равную 8,4—14 ц/га.

По данным П. В. Преснякова, урожай кукурузы ВИР-42 при двух поливах и дозах удобрений N<sub>180</sub>P<sub>120</sub> был равен 77,2 ц/га, при трех поливах и тех же дозах удобрений он повысился до 89 ц/га, или на 12,2 ц/га. Аналогичные результаты по эффективности применения высоких доз минеральных удобрений в сочетании с повышенным режимом орошения кукурузы получены в условиях Северной Осетии, Молдавии, Присивашья, Ростовской области и др. Н. С. Петин показал, что оптимум влажности почвы для получения высокого урожая культур зависит не только от уровня удобрений, но и от фаз развития растений. Так, в опыте с ячменем Московский 121 установлено, что в фазу трубкувания при низком уровне удобрений оптимальная влажность почвы составляла 60% ПВ, при среднем — 65% ПВ, высоком — 70% ПВ.

В фазу колошения на этих же уровнях удобрений наилучшей влажностью почвы для накопления сухого вещества оказались соответственно более высокие величины — 65, 75 и 85% ПВ. Избыток влаги сверх оптимального увлажнения оказывает отрицательное влияние. Вместе с тем для исследованных фаз (трубкувание и колошение) характерна однозначная реакция растений, заключающаяся в том, что с увеличением дозы полного удобрения повышается потребность ячменя в увлажнении почвы.

Отзывчивость ячменя на увеличение влажности, начиная от минимального уровня (35% ПВ), зависела от доз удобрений: чем выше доза, тем сильнее выражена положительная реакция растений на увлажнение почвы. Однако при оптимальной влажности почвы по мере увеличения доз удобрений отмечается прогрессирующее повышение прироста сухой массы ячменя как в фазу трубкувания, так и в фазу колошения.

Из многочисленных литературных источников известно, что водный режим растений находится в определенной зависимости от их минерального питания. Изменяя условия минерального питания, можно в значительной степени изменять водный режим растений, и наоборот. Влияние минеральных удобрений на водный режим растений может быть различным в зависимости от химического состава удобрений, соотношений доз, времени их внесения и условий влажности почвы.

Одним из важных звеньев водного режима растений является скорость поглощения воды корневой системой, определяемой обычно по количеству пасоки. На поглощение воды растениями существенно влияют азотные и фосфорные удобрения. По мере улучшения влагообеспеченности и минерального питания растений

количество выделяемой ими пасоки увеличивается. Значительное повышение количества ее у удобренной кукурузы по сравнению с неудобренной объясняется не только увеличением объема корневой системы растений, но и более высокой интенсивностью подачи пасоки, обусловленной большей интенсивностью дыхания корней. Большая интенсивность выделения пасоки, более активное поглощение корнями воды и подача ее в надземные органы растений наблюдаются при внесении азотных удобрений по сравнению с фосфорными. Нами наблюдалось, что внесение в почву нитратного азота в фазу выбрасывания метелок кукурузы Стерлинг усилило поглощение воды в 1,5 раза, внесение фосфорнокислого натрия поглощения воды не увеличило. Важен и тот факт, что поглощение фосфора в этом опыте не усилилось, тогда как по азотному удобрению поступление азота возросло почти в 13 раз. Вместе с тем активность поглощения воды корнями растений зависит от применяемых форм удобрений, прежде всего азотных. Это видно из опыта внесения разных форм азота в поздние фазы развития кукурузы Спасовской (начало выбрасывания метелок — цветение). Уже через сутки после внесения нитратного азота в фазу цветения произошло резкое увеличение количества пасоки по сравнению с контрольными растениями — с 13,7 до 22,2 мл, или на 62%; в варианте с аммиачным азотом количество пасоки увеличилось с 13,7 до 16,7 мл, или всего лишь на 22%.

Как уже отмечалось, поглощение клетками элементов минерального питания, особенно азота, сопровождается усилением дыхания. Следует подчеркнуть, что нитратная форма азота более резко повышает активность дыхания по сравнению с аммиачной. Естественно, что поглощение воды корнями растений связано с водным режимом почвы.

По данным Г. М. Гринева, в анаэробных условиях значительно снижалось поглощение воды растениями (кукуруза, подсолнечник) по сравнению с нормальной аэрацией, причем у кукурузы Воронешская 76 это снижение было более чем в 2 раза, а у подсолнечника Ждановский 8281 — в 4 раза. Причина такого резкого уменьшения поглощения воды корнями растений заключалась в сильном снижении интенсивности дыхания в связи с большим расходом углеводов (фруктозы, глюкозы и сахарозы), являющихся основой для дальнейших процессов обмена.

Большое теоретическое и практическое значение представляют изменения транспирации, особенно ее продуктивности в условиях различной влажности почвы и доз минеральных удобрений. При оптимальных условиях водоснабжения и минерального питания, несмотря на более высокую транспирацию, расход воды на создание единицы урожая всегда меньше, чем у растений, произрастающих при недостатке воды и удобрений.

В Институте физиологии растений АН СССР были проведены исследования по яровой пшенице Гибрид 173. При оптимальном водоснабжении (70% ПВ), внесении двойной дозы удобрений



расход воды на транспирацию за вегетацию был в 3,8 раза больше, чем у растений при недостаточной влажности почвы (35%) и одинарной дозе удобрений. Также значительно больше был у растений первого варианта средний ежесуточный расход воды.

Интересный материал по оценке эффективности использования воды хлопчатником на образование продуктивной части растений при различных соотношениях и концентрациях минеральных элементов получен в СоюзНИХИ. Наибольший расход воды растениями был при выращивании их на половинной норме питательной смеси и при недостатке калия. Повышенным потреблением воды отличались также растения в варианте с низким и высоким содержанием фосфора. Наименьший расход воды на образование единицы урожая хлопчатника наблюдался у растений при повышенной концентрации питательного раствора (до 1,5 нормы). Очень важен тот факт, что удобрения снижают непроизводительную трату воды растениями, на что указывал еще К. А. Тимирязев.

#### ОСУШЕНИЕ ИЗБЫТОЧНО УВЛАЖНЕННЫХ ПОЧВ И ДЕЙСТВИЕ УДОБРЕНИЙ

Одним из важнейших условий эффективного использования осушенных земель является применение удобрений. Только при этом условии может быть обеспечена быстрая окупаемость капитальных затрат в мелиорации.

Эффективность удобрений на осушенных торфяно-болотных и избыточно увлажненных минеральных почвах существенно изменяется по мере их окультуривания. Действие удобрений зависит от глубины грунтовых вод после осушения, что связано, в частности, с густотой дренажной сети (табл. 130).

В совхозе «Волма» на торфяно-болотных почвах осушение проводили с помощью гончарного дренажа с закладкой дрен через

130. Эффективность фосфорно-калийного удобрения на разных по окультуренности торфяно-болотных почвах (данные Белорусского научно-исследовательского института мелиорации и водного хозяйства)

Культура	Слабо окультуренные почвы (совхоз «Волма»)			Хорошо окультуренные почвы (Коссовская опытно-болотная станция)		
	удобрение	урожай	прибавка урожа	удобрение	урожай	прибавка урожа
		в ц/га			в ц/га	
Озимая рожь (зерно)	—	—	—	P <sub>25</sub> K <sub>100</sub>	25,0	16,8
Ячмень (зерно)	P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	27,8	21,5	P <sub>25</sub> K <sub>90</sub>	31,3	15,7
Картофель (клубни)	P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	349	295	P <sub>30</sub> K <sub>150</sub>	318	112
Сахарная свекла (корни)	P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	282	227	P <sub>45</sub> K <sub>180</sub>	357	194
Кукуруза (зеленая масса)	P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	519	456	—	—	—
Многолетние травы (сено)	P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	112	108	P <sub>30</sub> K <sub>150</sub>	76	39

**131. Урожай и прибавки урожая от увеличения норм удобрений на торфяно-болотных почвах (совхоз «Волма» Минского района)**

Культура	Продуктивность (в ц/га) при внесении				Прибавка урожая (в ц/га) от увели- чения нормы удо- брений при уровне грунтовых вод	
	Р <sub>60</sub> K <sub>150</sub>		Р <sub>90</sub> K <sub>225</sub>			
	при уровне грунтовых вод в среднем за вегетационный период (в см)					
	98	72	98	72	98	72
Кукуруза (вся масса)	437	322	463	400	26	78
В том числе початки	35	—	45	—	10	—
Сахарная свекла:						
корни	264	197	284	250	20	53
сахар	40	30	45	39	5	9
Картофель:						
клубни	280	244	327	268	47	24
крахмал	38	33	44	36	6	3

40 и 80 м. В первом случае средний уровень грунтовых вод находился на глубине 98 см, во втором — 72 см (табл. 131).

Как видно из данных таблицы, урожай всех культур были выше при более глубоком уровне грунтовых вод. Однако прибавка урожая от увеличения дозы фосфорно-калийного удобрения оказалась выше при глубине грунтовых вод 72 см. Можно полагать, что при такой глубине растениями используется меньший слой почвы, чем при более глубоком осушении, что способствует увеличению эффективности удобрений.

Об изменении эффективности отдельных видов удобрений по мере удлинения сроков использования осушенных торфяных почв можно судить также по данным опытов с картофелем, проведенных на Минской болотной станции (табл. 132).

Изучение влияния минеральных удобрений различных видов, доз и их сочетаний на урожай сельскохозяйственных культур при различных режимах осушения торфяной почвы показало, что из питательных элементов в почве опытных участков в первом минимуме находился фосфор (14—25 мг  $P_2O_5$  на 100 г). Фосфорные удобрения во все годы исследования по отношению ко всем изу-

**132. Влияние видов и доз удобрений на урожай картофеля на торфяных почвах в зависимости от давности их освоения (по Д. С. Головки)**

Вариант опыта	Урожай картофеля (в ц/га) по годам освоения		
	первый	второй	третий
Контроль — без удобрения	37	63	126
$P_{60}$	53	85	108
$P_{60}K_{90}$	142	178	176
$P_{60}K_{90}N_{30}$	157	—	197
$P_{120}K_{180}N_{30}$	214	249	252

чавшимся культурам были более эффективными, чем калийные. Содержание обменного калия в почвах в среднем составляло 40—60 мг  $K_2O$  на 100 г сухого торфа. Действие калийных удобрений было менее эффективным по сравнению с фосфорными.

Более высокие урожаи сельскохозяйственных культур были получены при совместном внесении фосфорных и калийных удобрений, особенно в повышенных дозах (в кг/га):

	$P_2O_5$	$K_2O$
многолетние травы . . . . .	90—120	120—180
овес . . . . .	90—120	120—180
картофель . . . . .	120—180	180—240
подсолнечник . . . . .	100—150	150—200

При указанных дозах фосфорно-калийных удобрений в многофакторных опытах сена многолетних трав на участке с мелким осушением было получено 60,3—61,3 ц/га, на контроле без удобрений — 27 ц/га; зерна овса на участке со средним режимом осушения — 33,2—34,7 ц/га, на контроле — 22,8 ц/га; клубней картофеля на участке со средним режимом осушения — 271,3—281,7 ц/га, на контроле — 197,5 ц/га; подсолнечника (зеленой массы) на участке с клубным режимом осушения — 478 ц/га, на контроле — 390,9 ц/га. Дополнительное внесение  $N_{60}$  в первые годы освоения торфяных почв болота Никитинское обеспечило повышение урожая: сена многолетних трав по фону  $P_{90}K_{120}$  на 8,8—16,5 ц/га, зеленой массы подсолнечника по фону  $P_{100}K_{150}$  на 10,9—19,8 ц, овса по фону  $P_{90}K_{120}$  на 3,5—5,5 ц, картофеля по фону  $P_{120}K_{180}$  на 21,1—25,4 ц/га.

Следует отметить, что опытных данных, характеризующих эффективность минеральных удобрений на избыточно увлажненных почвах в связи с их осушением, еще очень мало. Имеющиеся данные недостаточно отражают особенности многих крупных массивов осушаемых земель. Поэтому дальнейшее накопление экспериментальных материалов по применению удобрений на осушаемых почвах, по-видимому, позволит внести существенные уточнения в современные представления по этому вопросу.

\* \* \*

Результаты многочисленных опытов свидетельствуют о тесной взаимозависимости действия удобрений и других агротехнических мероприятий. Улучшение условий водообеспеченности растений, их светового и теплового режимов, устранение конкуренции сорняков, защита от вредителей и болезней не только способствуют повышению урожайности, но и в большинстве случаев позволяют повысить эффективность использования удобрений. Лишь тогда, когда тот или иной агротехнический прием прямо способствует мобилизации питательных веществ почвы при общем повышении урожая, может быть некоторое снижение эффективности удобрений.

ний. Поэтому необходимо повысить агротехнический уровень возделывания всех сельскохозяйственных культур при внесении удобрений. Однако нельзя дать каких-либо конкретных общих указаний, одинаково пригодных для всех условий, но следует отметить ряд положений, имеющих определенное значение для основных почвенно-климатических зон.

В зоне дерново-подзолистых почв важнейшим агротехническим условием высокой эффективности удобрений является известкование почв и общее их окультуривание (повышение содержания органического вещества, улучшение водно-воздушных свойств), дренаж избыточно увлажненных торфяных и минеральных почв, борьба с сорняками, вредителями и болезнями растений, использование наилучших сроков посева и площадей питания растений.

В Нечерноземной лесостепной зоне, а еще больше в степной зоне с южными черноземами и каштановыми почвами на первое место выдвигаются приемы, способствующие накоплению и сохранению влаги в почве. Велико значение правильной обработки почвы, но еще сильнее как фактор резкого повышения эффективности удобрений проявляется действие орошения. Уровень влагообеспеченности растений, особенно в годы с недостаточным количеством осадков, является главным критерием оценки предшественников, способов обработки почвы, посева и ухода за растениями и других агротехнических приемов с точки зрения их влияния на эффективность удобрений.

Дифференциация норм и соотношений удобрений осуществляется в настоящее время главным образом на основе использования результатов полевых опытов и агрохимических анализов почв. В зависимости от содержания  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  и кислотности, определенных принятыми для той или иной зоны методами с учетом данных полевых опытов, имеется возможность дать известные придержки о нормах и очередности внесения удобрений по конкретным полям. В результатах этих анализов находит свое отражение не только естественный уровень плодородия почв, но и их удобрение в предшествующие годы, а также проведение известкования или гипсования. Дальнейшее уточнение норм и соотношений удобрений, а в известной мере и выбор оптимальной техники их использования требуют учета агротехнических условий, складывающихся на полях. Основными факторами, которые необходимо принимать во внимание, являются: предшественники, особенности обработки почвы, сроки посева, оптимальные площади питания, наличие орошения и дренированность поля, степень засоренности и др. Весьма существенное значение имеет учет особенностей действия удобрений на устойчивость растений к неблагоприятным внешним условиям, их изреживание и полегание, изменение качества урожая.

Агротехническими условиями, повышающими эффективность азотных удобрений, являются: замена чистых паров занятыми (особенно на черноземах), увеличение удельного веса небобовых культур в севооборотах, повышение фона фосфорных и калийных

удобрений, применение всех приемов, способствующих накоплению и сохранению влаги в почве, и в особенности орошения, использование ранних сроков посева в районах с коротким вегетационным периодом, применение неполегающих сортов и использование гербицидов против нитрофильных сорняков. Соблюдение таких агротехнических условий позволяет более эффективно применять повышенные нормы азотных удобрений.

Эффективность фосфорных удобрений повышается при улучшении обеспеченности растений усвояемым азотом такими приемами, как чистые пары, увеличение площади бобовых растений в севообороте, применение азотных удобрений. Большое значение имеют, конечно, и приемы, повышающие уровень влагообеспеченности, хотя для эффективности фосфатных удобрений роль этих приемов в общем меньше, чем для азотных и калийных. На эффективности фосфорных удобрений сильнее, чем на эффективности других видов, сказывается внесение удобрений, особенно в высоких нормах, в предшествующие годы.

Главное агротехническое условие, повышающее эффективность калийных удобрений, — наличие в севообороте пропашных культур, потребляющих большое количество калия, в частности сахарной свеклы, картофеля и, возможно, подсолнечника. Большое значение имеет также повышение уровня обеспечения растений усвояемым азотом и фосфором за счет биологического азота, доставляемого бобовыми растениями и соответствующей обработкой почвы (пары, полупаровая обработка и др.), а также внесением удобрений. Навоз, как правило, существенно снижает потребность как в фосфорных, так и в калийных удобрениях.

Для эффективности калийных удобрений большое значение имеют агротехнические приемы накопления и сохранения влаги в почве и орошение. Исключительно велика роль калийных удобрений практически на всех осушенных торфяниках. Эффективность калийных и фосфорных удобрений повышается при уменьшении засоренности поля, особенно калие- и фосфорнофильными сорняками.

Агротехнические приемы повышения эффективности микроудобрений изучены еще мало.

Результаты полевых опытов и агрохимических исследований показывают, что эффективность удобрений сильно зависит не только от предшественников, но часто и от состава, и удобрения культур, занимавших поле 3—4 года назад. Поэтому необходимо составлять план применения удобрений по каждому полю и хозяйству в целом не на один год, а на ряд лет, например на всю ротацию севооборота. Такой план, конечно, необходимо ежегодно корректировать с учетом фактического внесения навоза и минеральных туков, погодных условий отдельных лет, возможных изменений в составе культур и их чередовании, а также с учетом контрольных агрохимических анализов, показывающих изменения в плодородии почв в связи с применением удобрений.

Перспективный план применения удобрений при всем их значении для повышения урожайности является все же лишь частью всей системы агротехнических, организационно-экономических и других мероприятий, направленных на интенсификацию сельскохозяйственного производства. На основе учета влияния удобрений необходимо предусмотреть соответствующие совершенствования агротехники сельскохозяйственных культур, использовать сорта, более отзывчивые на удобрения, а также правильно решать вопросы механизации.

С учетом перспектив химизации следует рассматривать и организационно-экономические вопросы развития сельского хозяйства, особенно важные на современном этапе вопросы специализации.

## ИЗВЕСТКОВАНИЕ КИСЛЫХ ПОЧВ

В комплексе агротехнических мероприятий по повышению плодородия кислых почв основное место принадлежит известкованию. Оно оказывает глубокое, длительное и многостороннее воздействие на почву, через нее на растение.

Основная масса известковых удобрений представлена углекислым кальцием, практически нерастворимым в чистой воде. Растворимость  $\text{CaCO}_3$  в воде, содержащей угольную кислоту, значительно повышается. Под влиянием угольной кислоты, находящейся в почвенном растворе, карбонат кальция постепенно превращается в растворимый бикарбонат кальция.

При внесении полной дозы извести устраняется актуальная и обменная кислотность, резко уменьшается величина гидролитической кислотности, увеличивается содержание водорастворимого и обменного кальция и степень насыщенности почвы основаниями. Чем выше доза известкового удобрения, тем полнее его воздействие на кислотность почвы и степень насыщенности ее основаниями.

### ОТНОШЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР К ИЗВЕСТКОВАНИЮ

Растения неодинаково относятся к известкованию почв, поэтому необходимо учитывать отзывчивость на него.

Клевер — одна из наиболее чувствительных культур к кислотности почв дает высокие прибавки урожая от известкования. В полевых севооборотах клевер обычно высевают в смеси с тимофеевкой, поэтому не всегда представляется возможность определить действие извести только на это растение.

Применение известняковой муки на тяжелосуглинистой глееватой почве Новгородской сельскохозяйственной опытной станции подняло урожай сена многолетних трав за 2 года пользования ими на 62 ц/га — с 92,2 до 154,2 ц/га (Шулегина, 1969). На супесчаной сильнокислой почве Судогодской опытной станции ВИУА во Владимирской области урожай сена многолетних трав от внесения на 1 га 4,5 т доломитизированного известняка возрос с 18,8 до 66 ц в сумме за 2 года пользования травами.

Эффективность известкования почв под многолетние травы зависит, помимо других условий, от степени их кислотности. По данным сводки результатов большого количества полевых опытов с травами, составленной О. К. Кедровым-Зихманом и др. (1955), прибавки урожая трав от извести значительно возрастают на почвах с более высокой кислотностью.

Размеры положительного влияния извести на урожай многолетних трав зависят также от сроков и способов ее внесения. По данным Центральной опытной станции ВИУА, при внесении в сильно кислую (рН 4,2) почву по 2 т  $\text{CaCO}_3$  на 1 га под предпосевную культивацию урожай трав повысился на 16,9 ц, по всходам покровной культуры (рожь) — на 13,4 ц, после ее уборки (по стерне) — на 10,3 ц, по травам первого года пользования — на 5,9 ц/га.

Известкование кислых почв не только увеличивает общий урожай трав, но и значительно изменяет ботанический состав травостоя: повышает содержание в нем клевера и уменьшает содержание тимopheевки и сорняков. Кроме того, известь повышает содержание в травах белков, каротина и других полезных компонентов.

Люцерна от почвенной кислотности страдает сильнее, чем клевер. Известкование — обязательное условие возделывания этой культуры на кислых почвах.

Внесение извести на сильноподзолистых с высокой кислотностью (рН в солевой вытяжке 4,5) суглинистых почвах учхоза Ивановского сельскохозяйственного института резко повысило урожай сена люцерны — с 72 до 157 ц/га в сумме за 3 года пользования при беспокровном посеве и с 39 до 60 ц/га при посеве под покров. Кроме того, известь оказывает большое влияние на состав травостоя: на кислой почве люцерна была почти полностью вытеснена разнотравьем и сено состояло в основном из тимopheевки.

Донник очень чувствителен к кислотности почвы, при повышенной кислотности дает низкий урожай. На тяжелосуглинистой сильнокислой почве ЦОС ВИУА известкование подняло урожай сена донника с 10,5 до 26,5 ц/га.

Кукуруза. Многочисленные экспериментальные данные свидетельствуют о сильной отзывчивости кукурузы на известкование.

В полевом опыте ВИУА, проведенном в совхозе «Воскресенское» Подольского района Московской области, на легкосуглинистой среднекислой почве известкование полной дозой подняло урожай зеленой массы кукурузы на 71 ц/га (с 297 до 368), повысило содержание общего азота в вегетативной массе с 1,09 до 1,28% (Шильников, 1964).

В опыте ЦОС ВИУА, проведенном на тяжелосуглинистой слабокислой почве, изучали влияние на почву и урожай кукурузы разных доз извести: 1/4, 1/2, 1 и 2 полной гидролитической кислотности. Пониженные дозы извести (1/4 и 1/2) не оказали положительного влияния на урожай кукурузы. Устойчивая прибавка получена при внесении полной дозы извести, дальнейшее ее увеличение не дало дополнительной прибавки урожая кукурузы (Сунцов, 1969).

Озимая рожь и овес менее чувствительны к кислотности почвы, чем озимая пшеница, кукуруза, ячмень, но на сильнокислых почвах и эти культуры дают значительные прибавки урожая от



известкования. Нередко наблюдается повышение их урожая и на среднекислых почвах. По данным Кировского института земледелия Северо-Востока, внесение 2,7 т извести подняло урожай озимой ржи с 25,8 до 29,5 ц/га, овса с 17,2 до 20,9 ц/га.

По результатам 22 опытов, проведенных Смоленской областной станцией в колхозах и совхозах, озимая рожь дала среднюю прибавку урожая зерна 2,5 ц/га.

Озимая пшеница — одна из наиболее отзывчивых на известкование почв зерновых культур. На сильнокислой тяжелосуглинистой почве ЦОС ВИУА внесение под озимую пшеницу 6 т извести подняло урожай зерна на 6,1 ц/га (с 21 до 27,1).

Урожай гречихи на кислых почвах, по данным Белорусской сельскохозяйственной академии, повышается на 1—2 ц/га. На второй и третий годы после внесения извести оказывает более высокое действие на урожай гречихи, чем в первый год.

Лен страдает от высокой кислотности почвы, особенно от подвижного алюминия, а на переизвесткованных почвах поражается бактериозом, преимущественно в засушливые годы, в результате чего снижается урожай и ухудшается его качество.

Вредное действие извести на лен вызывается, по мнению К. К. Гедройца (1955) и О. К. Кедрова-Зихмана (1957), в основном нарушением нормального соотношения между кальцием и магнием. Другие исследователи причину такого влияния извести видят в химической и биологической иммобилизации бора в почве.

Имеющийся экспериментальный материал по влиянию извести на лен позволяет считать, что на окультуренных суглинистых почвах известкование можно применять в полной дозе. На бедных магнием, слабо окультуренных легких почвах следует применять магнийсодержащие известковые удобрения и бор. Дозу извести на таких почвах необходимо уменьшать до 75% полной гидролитической кислотности.

Картофель легко переносит повышенную кислотность почвы и в то же время положительно отзывается на известкование.

Так, в многолетнем опыте на слабоподзолистой супесчаной почве Люберецкого опытного поля в Московской области (Шугаров, 1965) в среднем за период с 1939 по 1955 г. прибавка урожая картофеля от известкования составила 12 ц/га в год, содержание крахмала несколько увеличилось. Парша в первые годы была незначительной, в дальнейшем увеличилась. В отдельные сухие годы пораженность паршой достигала 30—50%.

На дерново-подзолистой связно-песчаной почве Соликамской опытной станции (Рудометов и др., 1958) извести в дозах от 0,25 до 1,5 гидролитической кислотности повысила урожай картофеля как на фоне минеральных удобрений, так и на неудобренном фоне на 15—29 ц/га, в зависимости от применяемой дозы.

По данным А. И. Таммана и В. В. Прокошева (1962), извести уменьшает содержание наиболее подвижных форм калия (водо-

растворимого и обменного) и это вызывает понижение эффективности известкования.

В. И. Шемпель и К. Т. Старовойтов (1960) установили, что действие извести на урожай картофеля и его качество бывает отрицательным лишь тогда, когда система удобрения не обеспечивает достаточно высокого уровня калийного питания растений в севообороте.

Применение магнийсодержащих известковых удобрений (доломитовая мука, доломитизированные известняки), силикатных форм извести (сланцевая зола, белитовая мука) и борных удобрений способствует повышению эффективности известкования.

Таким образом, в полевых севооборотах целесообразно применять полные дозы извести на фоне органических и минеральных удобрений с учетом доз калийных удобрений. Для уменьшения поражения клубней паршой известкование следует проводить непосредственно под эту культуру. В специализированных севооборотах дозу извести снижают на 50% и известкуют почвы с pH менее 5.

Люпин наименее чувствителен к кислотности почв и не нуждается в известковании. От избытка извести он заболевает хлорозом, что приводит к понижению урожая.

Отрицательное действие извести на люпин вызывается различными причинами. При известковании создаются неблагоприятные условия для фосфорного питания растений. Внесение фосфора в первый период развития люпина позволяет получить от известкования максимальный эффект.

Отрицательное влияние извести на люпин ослабляется или устраняется при использовании магнийсодержащих, а также борных удобрений.

Сахарная свекла — одна из культур, наиболее чувствительных к почвенной кислотности, особенно к подвижному алюминию, и дает высокие прибавки урожая от известкования.

Результаты многочисленных опытов с известкованием, проведенных на серых лесных почвах и оподзоленных черноземах, показали, что внесение дефеката в норму, соответствующей гидролитической кислотности (3,5—6 т/га), способствовало повышению урожая сахарной свеклы на 13—63 ц/га при урожае без извести 257 ц/га. При половинной дозе прибавка урожая в большей части опытов была 8—13 ц/га (Бровкина, 1969).

Сахарная свекла значительно повышает урожай от известкования даже на слабокислых почвах, поэтому известковать следует и почвы с повышенным значением pH (до 6 в KCl-вытяжке).

При внесении под сахарную свеклу извести, особенно повышенных доз, она нередко заболевает гнилью сердечка. Для предупреждения этого необходимо применять борные удобрения.

Место внесения извести в полевых севооборотах. Известь оказывает благоприятное влияние как на ту культуру, под которую внесена, так и на последующие в течение 1—

2 ротаций севооборота, иногда и дольше. Но так как не все культуры одинаково отзываются на известь, вносить ее целесообразно под такую, которая дает наиболее высокие прибавки урожая. Это позволит в первые же годы (чаще всего в первый год) окупить произведенные на известкование расходы.

Учитывая, что в полевых севооборотах наиболее отзывчивыми на известкование являются многолетние травы (клевер красный, люцерна, донник и другие бобовые, кроме люпина и сераделлы), известь следует вносить под покровную для трав культуру.

Известкование в севооборотах с овощными культурами. Почвы в овощных севооборотах благодаря регулярному внесению органических и минеральных удобрений обычно характеризуются высокой окультуренностью и более низкой кислотностью, чем на полевых угодьях. Однако потребность в известковании их может быть достаточно высокой даже на средне- и слабокислых почвах.

Наиболее чувствительными к повышенной кислотности и хорошо отзываемыми на известкование являются овощные культуры: свекла, капуста кочанная, цветная и брюссельская, брюква, салат, сельдерей, шпинат, чеснок, лук, огурцы. Слабее на известкование реагируют морковь, репа, горох, перец, хрен. Мало нуждаются в известковании тыква, кабачки, редис, репа, томаты, редька; ревеня устойчивы к повышенной кислотности почвы.

Необходимость регулярного известкования кислых почв в овощных севооборотах связана также с систематическим внесением больших доз минеральных (физиологически кислых) удобрений для получения высоких урожаев овощных культур. В таких условиях кислотность почвы в короткий срок может настолько увеличиться, что культура овощей станет на ней совершенно невозможной.

На кислых почвах капуста поражается килой во много раз сильнее, чем на почвах с реакцией, близкой к нейтральной. Наряду с применением других средств для борьбы с килой необходимо в первую очередь известковать почву рассадников (из расчета 1,5—2 кг тонкоразмолотого известняка на 1 м<sup>2</sup>). На участках, зараженных килой, следует вносить извести в 1,5—2 раза больше, чем обычно рекомендуется, чтобы довести реакцию пахотного слоя до pH 6,4—6,8 в солевой вытяжке.

Столовая свекла среди овощных культур является наиболее чувствительной к кислотности и самой отзывчивой на известкование культурой. По данным О. К. Кедрова-Зихмана и С. С. Ярусова, оптимальной для этой культуры является реакция pH 6,8—7,5 с еще большим сдвигом в щелочную среду, чем для капусты.

Морковь в отличие от свеклы и капусты мирится с небольшой кислотностью. Оптимальной для этой культуры С. С. Ярусов считает pH 5,5—7.

Оптимальной для огурцов является реакция среды, близкая к нейтральной (pH 6—7,9). Эта овощная культура очень отзывчива

на известкование. По данным Белорусской овощной опытной станции, в среднем за 5 лет на неизвесткованной почве урожай огурцов составил 212 ц/га, при внесении извести — 313 ц/га.

Известкование кислых почв под семенники овощных культур не менее важно, чем известкование под эти культуры в первый год жизни. Применение извести не только повышает урожай семян, но и улучшает их посевные качества: массу 1000 семян, всхожесть, энергию прорастания.

Известковать почвы в овощных севооборотах следует полными дозами с соблюдением следующих условий: 1) вносить известь под столовую свеклу или капусту, как наиболее отзывчивые на известкование культуры; 2) морковь, салат, огурцы, лук, брюкву следует высевать второй или третьей культурой после известкования; 3) повышенные дозы извести могут вызывать заболевание свеклы гнилью сердечка, для предупреждения чего необходимо вносить борные удобрения из расчета 0,5—1 кг бора на 1 га.

Известкование лугов и пастбищ. На сильноокислых почвах без известкования невозможно создание высокопродуктивных лугов и пастбищ с культурным травостоем.

Для наиболее ценных лугопастбищных трав (овсяницы луговой, тимopheевки луговой, ежи сборной, лисохвоста лугового, люцерны синей, клевера белого, розового и красного, лядвенца рогатого) оптимальной является реакция в интервале от слабокислой до нейтральной.

Известкование лугов и пастбищ можно проводить поверхностным внесением известковых удобрений по дернине природных угодий либо при создании сеяных лугов и пастбищ с заделкой извести в почву при ее обработке. Поверхностное внесение извести на природных лугах целесообразно в том случае, если в травостое имеются дикие формы ценных бобовых и злаковых трав. Однако в первые два года после внесения извести поверхностно по дернине ее действие бывает очень слабым. Объясняется это медленным передвижением извести с поверхности дернины в почву.

Наиболее эффективно известкование кислых почв в сочетании с систематическим внесением удобрений при создании сеяных лугов и пастбищ. Этот прием гарантирует получение высоких и устойчивых урожаев лугопастбищных трав и предохраняет сеяные травостои от засорения дикорастущими травами низкого кормового достоинства. При создании сеяных лугов и пастбищ известковые удобрения целесообразно заделывать в почву, так как поверхностное внесение менее эффективно. По данным Всесоюзного научно-исследовательского института кормов (Кутузова, 1969), внесение извести перед дискованием почвы было почти в 2 раза эффективнее, чем при поверхностном внесении по травам.

Эффективность известкования в сочетании с применением минеральных удобрений повышается на орошаемых лугах и пастбищах. Оптимальными при залужении являются полные дозы известковых удобрений. Они наиболее целесообразны, так как при дли-

тельном использовании без перепашки дополнительное внесение извести возможно только менее эффективным поверхностным способом. Более высокие дозы, например соответствующие двойной гидролитической кислотности, не дают значительного дополнительного прироста урожая трав.

Известкование при залужении даже полными дозами не исключает эффективного применения фосфоритной муки, если известковое удобрение и фосфорную муку заделывают при обработке почвы в разные слои (например, фосфорную муку под плуг, а известь под культиватор).

Известкование лугов и пастбищ оказывает сильное влияние на ботанический и химический состав травостоя и, следовательно, его кормовое достоинство. Известкование природных сенокосов и пастбищ способствует появлению ценных трав, а на сеяных препятствует их засорению.

Известкование способствует увеличению доли и продолжительности участия бобовых (клевера красного, белого и розового) в травостое. На неизвесткованных участках люцерна полностью выпадает из травостоя в первый же год пользования. Следовательно, известкование должно предшествовать посеву лугопастбищных травосмесей.

В травах на известкованных участках лугов и пастбищ, как правило, больше содержится протеина, кальция, фосфора, каротина, сахаров и меньше клетчатки. Улучшение химического и ботанического состава корма приводит не только к лучшей его поедаемости, но и благоприятно влияет на качество животноводческой продукции.

Применение извести в садах и ягодниках. Благодаря известкованию повышается урожай плодовых культур и улучшается качество плодов; они становятся вкуснее, чище, окраска их бывает ярче, особенно если известковые удобрения содержат магний. Известь под закладываемый сад вносят в полной дозе; на участках, где предполагается сажать крыжовник и землянику, эту дозу можно уменьшить на 25—30%. Известкование необходимо не только для садовых насаждений, но и для тех культур, которые будут занимать междурядья. Известковать кислые почвы необходимо до посадки сада. Дозу извести рассчитывают с учетом глубины вспашки.

Яблоня наиболее требовательна к известкованию почвы: самая благоприятная для нее рН в солевой вытяжке 5—6. Груша менее требовательна к извести, чем яблоня; она легче переносит кислотность почвы, но отзывается на известкование сильно- и среднекислых почв. Из косточковых пород вишня наиболее отзывчива на известкование кислых почв, которое резко повышает ее плодоношение.

Земляника чувствительна к повышенной кислотности почв, поэтому почвы, рН в солевой вытяжке которых 5,2 и ниже, следует известковать. Малина мирится с умеренной кислотностью почв,

но на известкование отзывается благоприятно. Известь под малину вносят в половинных или полных дозах. Черная смородина чувствительна не только к повышенной, но и к слабой кислотности почвы. Крыжовник менее требователен к реакции почвы и успешно развивается на слабо- и среднекислых почвах. Известковать под эту культуру следует только сильнокислые почвы.

#### ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ, ФИЗИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Действие извести на свойства почвы сложно и многообразно. Академик Д. Н. Прянишников (1952) дал следующую оценку роли известкования в изменении свойств почвы: «Из всех сторон многообразного действия извести на почву наиболее важной является устранение избыточной кислотности, борьба с которой и является обычно главным поводом к применению известкования: остальные влияния являются добавочными; их можно осуществить и другими мерами, в деле же устранения вредной кислотности известь по скорости и энергии действия является большей частью незаменимой».

Вносимый в почву с известковыми удобрениями кальций как питательный элемент положительно влияет на рост и развитие растений. Однако это влияние известкования по сравнению с значением кальция как нейтрализатора избыточной кислотности является подчиненным.

Дозы извести, соответствующие полной гидролитической кислотности, обычно сдвигают реакцию почвы до уровня слабокислой (рН 5,4—5,8 в вытяжке 1 н. КСl). В первые 3—4 года после внесения извести величина сдвига реакции возрастает, затем постепенно, вследствие потерь кальция из почвы в результате выноса урожаем и главным образом его миграции из пахотного горизонта с фильтрующимися водами, реакция почвы понижается до первоначального уровня. Вследствие медленного перемешивания известковых удобрений существующими почвообрабатывающими орудиями в пахотном слое длительное время (до 5 лет и более) сохраняются очаги с повышенной кислотностью. Быстро взаимодействуют с почвой известковые удобрения в форме окиси и гидроокиси кальция, медленнее — известковые удобрения, в которых наряду с карбонатом кальция содержится большая доля карбоната магния (доломитовая мука), а также известковые удобрения, содержащие кальций в силикатной форме (металлургические шлаки). При одинаковом химическом и гранулометрическом составе быстрее взаимодействуют с почвой известковые удобрения, приготовляемые из мягких (рыхлых) или менее плотных пород.

Известь способствует развитию свободноживущего фиксатора атмосферного азота — азотобактера, который в кислой среде не встречается. Клостридиум устойчив к повышенной кислотности и

может фиксировать атмосферный азот, будучи достаточно активным при рН 5.

Весьма значительно влияние извести на мобилизацию почвенного азота. При известковании кислых почв происходит усиление процессов аммонификации и нитрификации, благодаря чему в почве накапливаются минеральные, усваиваемые растениями соединения азота.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НУЖДАЕМОСТИ ПОЧВ В ИЗВЕСТИ И ДОЗЫ

Для определения нуждаемости почв в извести применяют различные химические методы. Основными из них являются: по гидролитической кислотности по Каппену, по рН солевых или водных вытяжек из почвы с учетом механического состава, содержания органического вещества и других ее свойств, буферные методы.

Проведенная Ф. М. Чернигоровой (1969) сравнительная оценка показала, что метод Каппена является вполне удовлетворительным для определения нуждаемости почв в извести.

Методы кривых титрования (Н. П. Ремезов и Н. И. Алямовский) позволяют установить довольно близко количество извести, необходимое для доведения рН почвы до того или иного уровня в зависимости от состава культур севооборота, но эти методы сложны и могут быть использованы в качестве критерия при сравнительной оценке других методов определения потребности почв в извести.

В работе агрохимической службы при массовых исследованиях дерново-подзолистых почв в настоящее время широко применяют методы определения потребности их в извести по рН солевых или водных вытяжек из них с учетом механического состава и содержания органического вещества. Эти методы не отличаются высокой точностью, но наиболее просты и быстры. Различными исследователями (М. Ф. Корнилов, М. П. Петухов, А. П. Земите, А. Т. Грицун и др.) внесены те или иные изменения в них в зависимости от местных условий.

На серых лесных почвах, выщелоченных, оподзоленных и осолоделых черноземах метод определения потребности их в извести по рН КСl-вытяжки не нашел значительного применения. Основным показателем необходимости их известкования являются гидролитическая кислотность и степень насыщенности основаниями. По данным полевых опытов и анализов почвы ряда участков Е. А. Бровкина установила, что на почвах средне- и тяжелосуглинистых известкование дает устойчивый положительный эффект при величине гидролитической кислотности 1,8 мг·экв. на 100 г почвы и более и степени насыщенности почвы основаниями ниже 93%.

Торфяные почвы благодаря высокому содержанию в них органического вещества обладают более высокой буферной способностью, чем минеральные, и отличаются от последних более низким содержанием подвижного алюминия, а также другими свой-

вами. Поэтому при определении нуждемости их в извести не следует применять принятые для минеральных почв методы без их предварительной проверки. Из испытывавшихся методов наилучшим оказался метод З. В. Логвиновой (1933) по обменной кислотности и метод М. М. Годлина (1959) по общей кислотности почвы.

При вычислении дозы извести по результатам определения кислотности торфяных почв необходимо учитывать, что масса их пахотного слоя намного ниже массы такого же слоя минеральных почв.

В последнее время для определения доз извести для торфяно-болотных почв пользуются следующими данными (табл 133).

133. Определение доз извести для торфяно-болотных почв

рНКСИ	Гидролитическая кислотность (в мг-экв. на 100 г почвы)	Степень насыщенности основаниями (в %)	Доза $\text{CaCO}_3$ при массе пахотного слоя 20 см	
			до 500 т/га	более 500 т/га
Менее 3,9	Более 100	Менее 25	10—12	12—16
3,91—4,3	100—60	25—50	4—6	6—8
4,31—4,7	60—40	50—65	2,5—4	3,5—5
4,71—5,0	40—30	65—75	1—2	2—3
Более 5,0	Менее 30	Более 75	Не нуждаются	—

Одним из перспективных методов определения доз извести и потребности в известковых удобрениях является использование полученных на основе обобщения данных полевых опытов нормативов затрат извести на смещение рН на 0,1. Эти нормативы должны отражать региональные особенности почв и применяемые в конкретных условиях формы известковых удобрений. На расход  $\text{CaCO}_3$  оказывает влияние ряд факторов, из которых наиболее важными являются следующие: тип почвы, ее механический состав, содержание органического вещества и уровень исходной реакции, доза и форма известкового удобрения, его гранулометрический состав. На дерново-подзолистых почвах средний сдвиг рН от 1 т  $\text{CaCO}_3$  составляет 0,1—0,2.

О. К. Кедров-Зихман, С. С. Ярусов, А. Н. Кожевникова и др. (1934) в результате проведенных исследований установили, что при известковании нет необходимости полностью нейтрализовать их кислотность, достаточно понизить ее до рН 6,2—6,5 в водной или до рН 5,6—5,8 в солевой вытяжке. При этом создается благоприятная реакция почти для всех сельскохозяйственных культур. В дальнейшем это положение было уточнено с учетом типа севооборота и механического состава почвы (табл. 134).

Дозы извести устанавливаются различными методами. В многочисленных полевых опытах широко испытан метод расчета полных доз извести по гидролитической кислотности. Накопленный экспериментальный материал свидетельствует о том, что полные по



### 134. Допустимая кислотность почвы для различных севооборотов

Почвы по механическому составу	Типы севооборотов				Культур- ные пастбища и сенокосы (злаковые)
	полевые с высоким процентом льна и кар- тофеля	полевые с травами многолет- ними	полевые с сахарной свеклой	кормовые и овоще- кормовые	
Песчаные и супесчаные	5,0—5,3	5,3—5,5	5,8—6,0	5,8—6,0	5,2—5,4
Легко- и среднесуглинистые	5,4—5,6	5,5—6,0	6,0—6,2	6,0—6,2	5,4—5,6
Тяжелосуглинистые и глини- стые	5,5—5,8	5,8—6,2	6,2—6,5	6,2—6,5	5,6—5,8
Торфяные	4,6—4,8	4,8—5,2	5,2—5,8	5,2—5,6	4,6—4,8

гидролитической кислотности дозы извести обеспечивают снижение кислотности до слабокислой реакции, устраняют подвижные формы алюминия, доводят до безвредного уровня подвижные формы марганца, значительно повышают содержание кальция, а часто и магния в почве, увеличивают доступность основных элементов питания для растений. Они сохраняют устойчивое положительное действие на урожай культур в течение двух ротаций севооборота.

Результаты проведенных в СССР исследований показали, что для применения в сельском хозяйстве следует рекомендовать полные и близкие к ним дозы известковых удобрений. Только в тех случаях, когда не хватает извести для внесения ее в полной дозе на всю подлежащую известкованию площадь, можно вдвое уменьшить дозу. Это приведет к некоторому снижению прибавок урожая с единицы площади, но даст возможность произвестковать вдвое большую площадь и получить примерно в полтора раза больше дополнительного урожая, чем от такого же количества извести, внесенной в полной дозе на соответственно меньшую площадь. Результаты полевых опытов показали, что действие половинной дозы извести за ротацию шести-семипольного севооборота резко ослабевает, поэтому необходимо повторное известкование.

Известковые удобрения содержат примеси и влагу, а также грубые частицы, которые крайне медленно взаимодействуют с почвой и являются балластом. К недействительным относятся следующие фракции: для известняковой муки из пород твердостью более 600 кгс/см<sup>2</sup> и металлургических шлаков — частицы крупнее 1 мм; для известняковой муки из пород твердостью менее 600 кгс/см<sup>2</sup> — частицы крупнее 3 мм и 50% частиц от 1 до 3 мм; для меловой муки — частицы крупнее 5 мм.

Дозу известкового удобрения рассчитывают по следующей формуле:

$$D = \frac{100^3 \cdot H \cdot X_1 \cdot X_2}{(100 - B) \cdot (100 - K) \cdot П},$$

где D — доза известкового удобрения (в т/га); H — полная доза CaCO<sub>3</sub> (в т/га); B — содержание влаги (в%); K — количество недействительных частиц (в%); П — нейтрализующая способность (в%

$\text{CaCO}_3$ );  $X_1$  — коэффициент для учета глубины пахотного слоя (20 см = 1; 25 см = 1,25; 30 см = 1,5 и т. д.);  $X_2$  — коэффициент для учета отношения культур севооборота к дозам  $\text{CaCO}_3$  (полная — 1, половинная — 0,5, двойная — 2 и т. д.).

Действие полной дозы извести на свойства почвы за ротацию шести — восьмипольного севооборота устойчиво.

### ИЗВЕСТКОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Ежегодная потребность СССР в известковых удобрениях на ближайшую перспективу составляет 80—85 млн. т  $\text{CaCO}_3$ . Для удовлетворения этой потребности могут быть использованы три группы известьсодержащих материалов: известковые удобрения промышленного производства, получаемые путем размола твердых известковых пород; рыхлые (мягкие) карбонатные известковые породы, не нуждающиеся в размолу; известьсодержащие отходы промышленности.

**Известковые удобрения промышленного производства.** Известняковая мука — основное известковое удобрение в СССР, получаемое путем размола твердых известковых пород — известняков, состоящих в основном из углекислого кальция с небольшими примесями песка и глины. В качестве примесей часто содержится углекислый магний. При содержании углекислого магния 12—25% их называют магнезиальными, 25—35% — доломитизированными, 35—45% — известковыми доломитами. Примесь магния в известняках повышает их твердость и понижает растворимость.

Доломитовая мука — продукт размола осадочной горной породы, состоящей из минерала доломита, имеющего следующий химический состав:  $\text{CaCO}_3$ —54,4%,  $\text{MgCO}_3$ —45,6%. Доломиты настолько медленно растворяются в разведенной соляной кислоте, что без нагревания не дают с ней вскипания, характерного для известняков. Вследствие слабой растворимости доломитов к тонине их помола предъявляются повышенные требования.

В соответствии с действующим ГОСТом 14050—78 известняковую и доломитовую муку подразделяют на два класса: первый — прочность породы 60 МПа включительно и второй — прочность породы более 60 МПа. Требования к тонине помола известняковой муки второго класса более высокие (остаток на сите 3 мм не допускается, на сите 1 мм — не более 3—5%). Для муки первого класса в зависимости от сорта остаток на сите 1 мм не должен превышать 6—15%. В зависимости от содержания влаги известняковую муку разделяют на пылящую (содержание влаги не более 1,5%) и слабопылящую (содержание влаги 4—6%). Содержание карбонатов в известняковой и доломитовой муке по стандарту должно быть больше 85%.

Известняки, доломиты и другие карбонатные породы отличаются слабой растворимостью. Увеличить их растворимость можно

135. Влияние известняковой муки различного помола и отдельных ее фракций на реакцию почвы и урожай растений

Место проведения полевого опыта	Фракция извести (в мм)	рН КС1-вы-тяжки	Гидролити-ческая кис-лотность (в мг-экв. на 100 г почвы)	Среднегодовая прибавка урожая	
				в ц кормо-вых единиц с 1 га	в отно-сительных величинах
ЦОС ВИУА (Шеде-ров, Цветкова, 1969)	Мельче 0,3	5,0	2,8	13,6	100
	0,3—1,0	4,8	3,2	11,2	85,6
	1,0—3,0	4,7	3,3	9,8	74,6
	3,0—5,0	4,5	3,6	3,6	27,6
	5,0—10,0	4,4	3,8	1,1	8,4
	Мука класса: А	4,8	3,1	12,0	91,3
	Б	4,7	3,2	11,1	85,6
Смоленская опытная станция ВИУА (Шеде-ров, Цветкова, 1970)	Без извести	4,3	4,0	—	—
	Мельче 0,3	5,2	2,8	17,4	100
	0,3—1,25	4,5	3,4	13,2	75,2
	1,25—2,5	4,3	5,0	10,4	59,6
	2,5—5,5	4,3	4,7	10,4	59,6
	Мука класса А	4,9	3,4	15,0	85,6
	Мука из-под шаро-вой мельницы	5,5	2,5	16,3	96,8
Литовский институт земледелия, Вежай-ский филиал (Зу-брене, 1970)	Без извести	4,2	5,8	—	—
	Мельче 0,25	5,8	1,7	7,8	100
	0,25—1,3	5,6	2,7	7,6	98,0
	1,3—2,5	5,5	3,7	6,8	87,0
	2,5—10,0	5,2	3,8	6,3	81,0
	10—40,0	4,4	5,6	3,5	45,0
	Без извести	4,2	6,7	—	—
Новгородская госу-дарственная опыт-ная сельскохозяйст-венная станция (Шулегина, 1969)	Мельче 0,25	—	—	18,5	100
	0,25—1,0	—	—	14,9	80,1
	1,0—3,0	—	—	8,3	44,3
	3,0—5,0	—	—	4,4	23,7
	Без извести	—	—	—	—

Примечание. Состав муки класса А: 90% проходят через миллиметровое сито, 100% — через сито с отверстиями 3 мм; состав муки класса Б: 75% проходят через миллиметровое сито, 100% — через сито с отверстиями 10 мм.

путем повышения тонины помола, благодаря чему возрастает поверхность соприкосновения вносимого известкового удобрения с почвой и усиливается реакция их взаимодействия.

Для выявления влияния известняковой муки разного помола и ее фракции на почву проведены полевые опыты и лабораторные исследования. Материалы части этих исследований приведены в таблице 135. Для сравнительной оценки разных фракций известняка прибавка урожая от фракций мельче 0,3 мм в каждом опыте принята за 100.

Из данных таблицы видно, что по мере уменьшения размера фракций извести нейтрализующая их способность повышается.

**Рыхлые (мягкие) известковые породы.** Общие запасы рыхлых известковых пород в нашей стране велики. Эти породы — хорошие известковые удобрения, по эффективности они не уступают молотому известняку.

Известковый туф наиболее распространенная разновидность ключевой извести. Состоит в основном из углекислого кальция, содержание которого чаще всего более 85—90%. Это рыхлое известковое удобрение представляет собой обычно рассыпчатую массу из пористых агрегатов различной величины и прочности; чаще преобладают мелкие, легко разрушающиеся агрегаты.

Озерная известь (гажа), так же как известковый туф, относится ко вторичным карбонатным породам пресноводного происхождения. В отличие от известкового туфа залежи озерной извести образуются в замкнутых водоемах. Состоит в основном из углекислого кальция (60—96%), в большинстве случаев имеет раздельночастичное строение.

Мергель — осадочная горная порода, занимающая промежуточное положение между известняками и доломитами и известковистыми глинами и песчаниками. Содержание  $\text{CaCO}_3$  в мергеле — от 25 до 75%, примесь магнезии может быть значительной.

Доломитовая мука (мучнистый доломит) — рыхлая карбонатная порода, состоящая в основном из доломита с примесью углекислого кальция. Месторождения ее встречаются реже, чем туфа или гаж, но отличаются большей мощностью пласта и общими запасами. Вследствие слабой растворимости в почве действие ее несколько медленнее, чем туфа и гаж. Преимущество доломитовой муки как магнийсодержащего известкового удобрения проявляется в севооборотах со льном, картофелем и бобовыми, а также на супесчаных и песчаных почвах, бедных магнием.

Мел-рухляк встречается в верхней части меловых отложений; образуется под действием попеременного увлажнения и высушивания, замораживания и оттаивания меловой породы. Такой мел пригоден для известкования либо после просеивания через грохот, либо после его измельчения дисковыми орудиями и фрезой. В первые годы после внесения иногда дает больший эффект, чем молотый известняк.

Согласно действующим ТУ 46-6—77, местные известковые удобрения из рыхлых пород должны удовлетворять следующим требованиям (табл. 136).

136. Требования к известковым удобрениям

Известковое удобрение	Содержание суммы углекислого кальция и углекислого магния в пересчете на $\text{CaCO}_3$ (в % на абсолютно сухое вещество), не менее	Содержание влаги (в %), не более	Остаток (в %), не более, на сите с размером ячеек	
			10 мм	5 мм
Известковый туф	1-й сорт 80	30	0	15
	2-й » 70	30	0	15
Озерная известь	60	30	0	15
Мел рыхлый	80	15	0	15
Мергель луговой	50	12	0	15
Доломитовая мука (природная)	80	12	0	15

**Известьсодержащие отходы промышленности.** Среди отходов промышленности имеются такие, которые содержат соединения кальция и магния в форме  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , силикатов. Наибольшее распространение получили следующие отходы.

**Дефека т** (дефекационная грязь) — отход свеклосахарного производства. Содержание  $\text{CaCO}_3$  может достигать 70%. Кроме того, содержит 0,2—0,7% N, 0,2—0,9%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 0,5—1%  $\text{K}_2\text{O}$  и до 15% органического вещества. При внесении в равных по содержанию  $\text{CaCO}_3$  количествах дефека т часто превосходит известняковую муку и туф благодаря дополнительному положительному действию содержащихся в нем питательных веществ.

**Сланцевая зола** получается при сжигании на топливо горючих сланцев. На крупных предприятиях сланцы перед сжиганием размалывают. Образуется чрезвычайно тонкая по гранулометрическому составу зола, которая улавливается из дымовых газов в мультициклонах и электрофильтрах. Пылевидная сланцевая зола, применяемая для известкования почв, должна соответствовать требованиям ТУ 46-4—71: содержание суммы кальция и магния в пересчете на  $\text{CaCO}_3$  не менее 60%, содержание влаги не более 2%, полный остаток на сите с размером сторон ячеек 2 мм не допускается, 1 мм — не более 3%. Преимущество сланцевой золы перед туфом и гажей отмечено на всех почвах.

**Цементная пыль** получается из вращающихся печей цементных заводов. Химический состав ее зависит от вида получаемого цемента. По требованиям ТУ 21-20-33—78 содержание суммы окислов кальция и магния в сухой пыли в пересчете на  $\text{CaCO}_3$  должно быть не менее 60%, содержание влаги не более 2%, все частицы должны быть мельче 1 мм. Кальций в ней содержится в форме карбонатов, окиси и силикатов.

**Хвосты флотации серной руды** — известьсодержащий отход, образующийся при флотационном методе извлечения серы из руды. После подсушивания нуждается в размоле. Содержание  $\text{CaCO}_3$  может достигать 85—90%. По эффективности равен молотому известняку. На почвах, бедных серой, может действовать как серное удобрение.

Из отходов металлургической промышленности для известкования почв более всего используют шлаки мартеновские, электросталеплавильные и доменные. Большая часть кальция в мартеновских и доменных шлаках находится в виде труднорастворимых соединений, поэтому к тонине их помола предъявляются повышенные требования. По требованиям ТУ 14-17—75 электросталеплавильные и мартеновские шлаки не должны содержать частиц крупнее 2 мм, не менее 90% частиц должно быть мельче 0,5 мм, не менее 70% — мельче 0,25 мм. В отличие от мартеновских и доменных электросталеплавильные шлаки не нуждаются в помоле. Кроме кальция, шлаки содержат магний, серу, некоторые микроэлементы, а электросталеплавильные и особенно мартеновские шлаки — и фосфор.

Известкование почв в сельскохозяйственном производстве может стать высокоэффективным приемом только при правильном его сочетании с применением органических и минеральных удобрений.

Уменьшая кислотность почвы, известкование создает благоприятную реакцию, которая прежде всего отражается на усилении микробиологической деятельности. В свою очередь, это оказывает влияние на условия разложения навоза в почве: усиливаются процессы перехода питательных веществ из недоступных растениям соединений в легкодоступные, а также процессы превращения органических веществ в гумус.

Опыты, проведенные в Нечерноземной зоне нашей страны, показали, что степень кислотности почвы существенное влияние оказывает на эффективность совместного применения навоза с известью. Чем кислее почва, тем более высокие прибавки урожая дает совместное внесение этих удобрений. На сильно- и среднекислых почвах прибавки урожая в этом случае близки к сумме прибавок, получаемых от раздельного применения навоза и извести. На средне- и слабоподзоленных слабокислых почвах прибавки урожая от совместного применения навоза и извести более высокие, чем от внесения одного навоза, но значительно меньше по сравнению с суммой прибавок от раздельного их внесения.

Сочетание извести с навозом дает высокий эффект не только при одновременной их заделке в почву. Эти удобрения можно вносить в почву на одних и тех же полях в разные годы. Эффективно внесение навоза на ранее известкованное поле, но при условии, что действие извести еще не исчерпало себя. С успехом можно вносить известь и на ранее унавоженное поле. Во всех случаях известкование, понижая кислотность почвы и улучшая условия роста и развития растений, способствует более полному использованию растениями питательных веществ, содержащихся в навозе.

Лаборатория известкования почв ВИА изучала влияние углекислого кальция и гашеной извести на потери аммиака из навоза. Результаты этих исследований показали, что из навоза, смешанного с углекислым кальцием, за несколько дней их взаимодействия выделилось столько же аммиака, сколько и из навоза без извести. Из навоза же, смешанного с гашеной известью, потери аммиака были значительно больше, чем из навоза без извести. Следовательно, известковые удобрения в карбонатной форме не оказывают влияния на потери аммиака из навоза.

Эффективность сочетания известкования с применением торфа главным образом определяется химическим составом последнего. Различают торф трех типов: низинный, переходный и верховой. Верховой торф содержит наибольшее количество органического вещества, вследствие чего является хорошим подстилочным ма-

териалом. Как правило, он характеризуется кислой реакцией (рН в солевой вытяжке 3,0—4,5) и содержит незначительное количество кальция (0,2—0,37%). Низинные торфа отличаются высокой степенью разложения органического вещества, кислотность их выше рН 5,5. Многие низинные торфа содержат значительное количество углекислого кальция (до 5% и более). Среди низинных торфов встречаются содержащие до 20—25% (и больше) извести в виде механических примесей (омергелеванные торфа и торфотуфы). Такой торф — хорошее известковое удобрение. Переходные торфа по своей реакции и содержанию углекислого кальция занимают промежуточное положение.

Эффективно совместное внесение извести с верховым и переходным торфом, обладающим повышенной кислотностью. Поэтому при сочетании извести с торфом необходимо руководствоваться не только реакцией почвы, но и качеством торфа, используемого в чистом виде или для подстилки и приготовления компостов.

Минеральные удобрения при систематическом их применении оказывают существенное влияние на реакцию почвы — подкисляют ее или подщелачивают. Существенное значение имеет их химическая природа и способность при растворении в воде создавать кислые, нейтральные или щелочные растворы. Еще большее влияние на реакцию почвы оказывает физиологическая кислотность или щелочность применяемых удобрений (табл. 137).

137. Влияние минеральных удобрений на реакцию почвы

Удобрение	Химический состав удобрения	Суммарная оценка способности удобрения изменять реакцию почвы	Количество $\text{CaCO}_3$ , необходимое для нейтрализации подкисляющего действия удобрения (в ц $\text{CaCO}_3$ на 1 ц удобрений)
Хлористый аммоний	$\text{NH}_4\text{Cl}$	Сильно подкисляет	1,40
Сульфат аммония	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	То же	1,25
Аммиачная селитра	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	Подкисляет	0,75
Кальциевая селитра	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	Слегка подщелачивает	—
Натриевая селитра	$\text{NaNO}_3$	То же	—
Мочевина	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	Слабо подкисляет	0,80
Цианамид кальция	$\text{CaCN}_2$	Подщелачивает	—
Суперфосфат	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Подкисляет очень слабо	0,10
Термофосфат	$3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	Подщелачивает	—
Фосфоритная мука	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	Слегка подщелачивает	—

Систематическое внесение на поля с повышенной кислотностью сульфата аммония и аммиачной селитры приводит к снижению их эффективности вследствие подкисления почвенного раствора.

На почвах тяжелого механического состава этот процесс идет медленно, на легких — значительно быстрее. Поэтому известкование усиливает действие сульфата аммония, хлористого аммония и аммиачной селитры, в связи с чем оно должно предшествовать применению на кислых почвах азотных удобрений.

Основными фосфорными удобрениями в настоящее время является суперфосфат (простой, двойной, порошковидный или гранулированный) и фосфоритная мука. В отличие от суперфосфата фосфоритная мука не содержит водорастворимых соединений фосфора. Одним из условий эффективности фосфорита является кислотность почвы, так как при внесении этого удобрения в кислую почву содержащийся в ней фосфор постепенно переходит в доступную растениям форму. Известкование же, понижая кислотность почвы, уменьшает растворимость этого удобрения и может понизить его эффективность. Однако снижение эффективности фосфоритной муки на известкованных землях наблюдается не всегда, вследствие того что при существующих в настоящее время орудиях обработки почвы перемешать известковое удобрение со всем пахотным слоем не удается в течение 5—8 лет и более и в нем всегда содержатся очаги повышенной кислотности. Кроме того, усиливая микробиологическую деятельность в почве, известкование способствует превращению труднорастворимых соединений фосфора фосфоритной муки в доступные растениям формы.

Эффективность фосфоритной муки на известкованных почвах в значительной степени зависит от дозы внесенного известкового удобрения. Обобщенные лабораторией известкования почв ВИУА материалы полевых опытов показали, что средняя прибавка урожая, полученная от совместного внесения фосфоритной муки и половинной дозы извести, составила 85% суммы прибавок при их раздельном применении.

Дозы извести, близкие к полным, также (преимущественно на сильнокислых почвах с высоким содержанием активного алюминия) не всегда понижают эффективность фосфоритной муки. В длительном опыте (25 лет) на супесчаной почве Соликамской опытной станции (Прокошев, Нассонова, 1968) изучали эффективность фосфорных удобрений на неизвесткованном фоне и при внесении извести в дозе по гидролитической кислотности ( $\frac{3}{4}$  дозы при закладке опыта и  $\frac{1}{4}$  в начале третьей ротации). Результаты опыта показали, что эффективность фосфоритной муки в сумме за три ротации на фоне извести и без нее была одинаковой. В первой ротации фосфорит действовал слабее суперфосфата, во второй их действие выравнивалось, в третьей преимущество было на стороне фосфоритной муки (табл. 138).

В связи с расширением известкования кислых почв фосфоритную муку будут применять все в больших размерах. Чтобы повысить эффективность сочетания фосфоритной муки с известью, следует соблюдать следующие условия: 1) вносить фосфоритную муку и известь в разные сроки; 2) вносить их послойно; 3) пред-



# 138. Влияние извести на эффективность фосфоритной муки и суперфосфата

Вариант опыта	Урожай (в ц кормовых единиц с 1 га)				
	в ротациях			в среднем за 3 ротации	
	первой	второй	третьей	урожай	прибавка

## Без извести

NK	17,6	14,5	10,7	14,3	—
NK+Pc	22,3	22,2	17,5	20,7	6,4
NK+Pф	21,1	23,1	19,4	21,2	6,9

## По извести

NK	22,0	18,6	14,9	18,5	—
NK+Pc	26,3	27,2	23,2	25,6	7,1
NK+Pф	24,8	27,1	24,0	25,3	6,8

варительно компостировать фосфоритную муку с органическими удобрениями.

Если поле подлежит известкованию, то сначала целесообразно внести фосфоритную муку, затем известь. Чем больше времени между внесением этих удобрений, тем выше эффективность их сочетания. Например, при внесении фосфоритной муки осенью известкование можно провести весной. На Долгопрудной опытной станции при внесении фосфоритной муки за две недели до известкования урожай овса увеличился на 16%, при внесении же этих удобрений одновременно — на 7%, а при внесении фосфоритной муки через 2 недели после извести — лишь на 5%. Если поля в хозяйстве уже произвесткованы, то фосфоритную муку следует вносить в первую очередь на тех из них, которые получили половинные или близкие к ним дозы извести. На полях, где внесены полные дозы извести, в первую очередь следует применять водорастворимые формы фосфорных удобрений.

Если фосфоритную муку и известь вносят на поля одновременно, то в этом случае следует применять послойную их заделку в почву: одно из них вносить под культивацию, другое — под вспашку.

Известкование кислых почв в сочетании с применением минеральных удобрений является не только непременным условием получения высоких урожаев на кислых почвах. Это мероприятие способствует рациональному, более экономному использованию минеральных удобрений.

## ПОВТОРНОЕ (ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЕ) ИЗВЕСТКОВАНИЕ

Известкование кислых почв является приемом, нуждающимся в систематическом его повторении. Полные, или нормальные, дозы извести достаточны для сохранения слабокислой реакции по меньшей мере в течение шести-семипольного севооборота. К кон-

цу этого периода реакция начинает подкисляться, приближаясь постепенно к первоначальному уровню, вследствие естественного вымывания кальция и магния из почвы фильтрующимися водами и выноса их урожаями возделываемых культур. Устранение дефицитного баланса кальция и магния в почве может быть проведено главным образом известкованием, так как содержащие кальций минеральные удобрения (фосфоритная мука, томасшлак, цианамид кальция и др.) в ассортименте по сравнению с физиологически кислыми формами удобрений занимают подчиненное положение. С применяющимися на практике дозами навоза также поступает недостаточное количество оснований для устранения естественного процесса подкисления почвы. При норме навоза 20—30 т/га количество внесенных окиси кальция и магния составляет примерно 100—150 кг, что эквивалентно 2—3 ц  $\text{CaCO}_3$ .

Потери извести в результате выноса растениями зависят от уровня урожая культур севооборота. Количество отчуждаемых с урожаем кальция и магния бывает наименьшим в севооборотах, насыщенных зерновыми культурами, наибольшим в овощных и кормовых севооборотах. Ориентировочное количество этих элементов, выносимых урожаями сельскохозяйственных культур в полевых севооборотах в пересчете на  $\text{CaCO}_3$ , обычно не превышает 50 кг/га, в овощных и особенно прифермских и лугопастбищных севооборотах потери могут быть значительно выше (табл. 139).

**139. Вынос кальция и магния средними урожаями сельскохозяйственных растений**

Культура	Урожай (в ц/га)	Вынос кальция и магния в пересчете на $\text{CaCO}_3$ (в кг/га)
Зерновые (зерно)	20	8—10
» (зерно/солома)	20/20	22—26
Сахарная свекла (корни)	300	55—65
Кормовые корнеплоды	400	55—60
Капуста кочанная	400	65—80
Люцерна (сено)	60	290—320
Клевер красный »	40	200—230
Луговые травы »	30	65—70
Картофель (клубни)	150	20—30

Главный источник потерь кальция из почвы — вымывание его с фильтрующимися водами. Величина этих потерь может сильно колебаться в зависимости от ряда причин, оказывающих влияние на количество просочившейся воды и концентрацию в ней кальция. Наиболее важными являются следующие: сумма осадков, наличие и характер растительного покрова, уровень насыщенности севооборота минеральными удобрениями, дозы и формы извести, механический состав почвы. Во влажные годы потери извес-

# 140. Влияние форм азотных удобрений на средний ежегодный вынос кальция

Почва	Сульфат аммония	Сульфат нитрат аммония	Нитро-фоска 1:1:1,7	Нитрат натрия	Известково-аммиачная селитра	Кальциевая селитра	Цианамид кальция
Песчаная	—43	—13	—	+21	+23	+40	+60
Суглинистая	—41	—15	+10	—	+21	—	—

Примечание. РК — фон принят за 100.

ти из почвы могут быть в несколько раз больше, чем в годы с низким количеством выпадающих осадков (Бобрицкая, 1966; Köhnlein и др., 1966).

Из произвесткованных почв или почв с реакцией, близкой к нейтральной, потери кальция обычно выше, чем из неизвесткованных кислых почв (Köhnlein, 1958; Pfaff, 1963). Содержание магния в фильтрующихся водах по результатам лизиметрических исследований обычно в 5—10 раз меньше, чем кальция.

Физиологически кислые формы минеральных удобрений способствуют увеличению содержания кальция в почвенном растворе и миграции его из корнеобитаемого слоя. Наибольшее влияние на потери кальция с фильтрующимися водами оказывают азотные удобрения, особенно сульфат аммония. Данные относительного влияния форм азотных удобрений на средний ежегодный баланс кальция в длительном лизиметрическом опыте по Пфаффу приведены в таблице 140.

Результаты лизиметрических опытов в ЧССР (Немец, 1971) показали, что с увеличением доз азотных удобрений увеличивается содержание кальция в лизиметрических водах. Особенно значительным оно было при внесении возрастающих доз азотнокислого и сернокислого аммония. Безводный и водный аммиак слабо влиял на концентрацию кальция в лизиметрических водах.

Определение средних ежегодных потерь кальция из почвы в различных странах, по данным лизиметрических исследований, показало чрезвычайно сильное их варьирование (табл. 141).

В практике сельского хозяйства некоторых стран для планирования бездефицитного баланса кальция в земледелии приняты следующие ориентировочные ежегодные суммарные потери СаО из почвы (в кг/га): в ФРГ—100—600, ГДР—250—500, во Франции — 600, в ПНР—200—500, Англии — 300.

Учитывая данные лизиметрических исследований и продолжительность действия доз извести в длительных полевых опытах, прошедших несколько полных ротаций севооборотов, суммарные ежегодные потери извести из почвы ориентировочно составляли 350—450 кг СаСО<sub>3</sub> с 1 га.

Повторное известкование проводят для поддержания реакции почвы и насыщенности ее поглощающего комплекса основаниями на оптимальном для культур севооборота уровне. В давно произве-

**141. Вынос СаО из почвы с фильтрующимися водами  
по результатам лизиметрических исследований**

Автор	Страна	Годовая сумма осадков (в мм)	Потери СаО (в кг/га)
Pfaff	ФРГ	570	240—340
Kohnlein			
(1951—1956)	»	770	16—230
(1962—1965)	»	519—857	300—800
Gerlach	ПНР	510—560	100—150
Allison	США	1050	20—50
Harrold	»		10—80
Drover	Австралия	457	10
Gardner	Англия		87—225
Demolon	Франция	600	102—464
Corpenet			350—480
Бобринская	СССР	385—565	50—200
Базилинская и	»		
Шаймухаметова			50—80
Киндерис	»		30—300

сткованных почвах начинают преобладать малоподвижные формы азота, в связи с чем азотное питание растений ухудшается. Внесение извести в ранее произвесткованную почву приводит к повторной вспышке мобилизации почвенного азота.

Сроки повторного известкования зависят от дозы извести, внесенной при основном известковании. Продолжительность эффективного действия доз извести примерно следующая. Влияние малых доз извести ( $1/8$ — $1/10$  от полной) проявляется лишь на той культуре, под которую они внесены. Действие четвертной дозы извести продолжается не более 3—4 лет, половинные дозы эффективны в течение ротации шести-семипольного севооборота. Действие полных (близких к однократной гидролитической кислотности) доз извести обычно бывает достаточно высоким и во второй ротации севооборота. О необходимости повторного известкования в этом случае судят по результатам агрохимических анализов почвы.

Методические подходы к определению критериев нуждаемости почв в повторном известковании и величины дозы извести разработаны недостаточно. М. Ф. Корнилов и А. Н. Небольсин (1967), сопоставляя урожаи кормовой свеклы с реакцией почвы при первичном и повторном известковании в полевом опыте, пришли к выводу, что урожай этой культуры тесно связан с величиной рН почвы независимо от того, достигнута она при первичном или повторном известковании. Авторы рекомендуют устанавливать необходимость повторного известкования теми же методами, что и первичного, а оптимальную дозу извести — по величине остаточной кислотности почвы.

Результаты немногих опытов, проведенных в нашей стране, показали, что повторное внесение извести приводит к дальнейше-

му приросту урожая сельскохозяйственных культур. Его эффективность определяется дозой извести при первичном известковании. Чем ниже дозы извести при первичном известковании, тем выше эффект от повторного. Например, на Гомельской опытной станции прибавка урожая от повторного известкования на фоне половинной дозы извести составила 16 ц/га, а на фоне полной — лишь 6 ц/га кормовых единиц (Тараева, 1979).

Основным методом определения доз извести при повторном известковании является химический анализ почвы.

Возрастающие объемы применения известковых удобрений требуют рационального их применения. Поэтому одной из важнейших задач агрохимической службы является правильное планирование работ по известкованию почв и контроль за качеством проведения этого мероприятия. Работы по известкованию кислых почв в колхозах и совхозах должны осуществляться по проектно-сметной документации, при составлении которой проводятся исследовательские работы, включающие изучение информации о почвенной карте, агрохимической характеристике почв и другие сведения. Составление проектно-сметной документации целесообразно проводить с помощью ЭВМ. Завершает эту работу обязательное осуществление контроля за качеством выполнения этого мероприятия (соответствие выбора участков, правильность установления доз, равномерность распределения извести по поверхности поля, соответствие достигнутого уровня реакции планируемому и др.).

## ГИПСОВАНИЕ СОЛОНЦОВ

Одним из резервов увеличения производства зерна и животноводческой продукции является мелиорация солонцовых земель. По данным еще незавершенных почвенных обследований, эти земли занимают в СССР свыше 100 млн. га. Больше всего их имеется в Казахстане — около 73 млн. га, в РСФСР около 20 млн. га, в УССР 2,5 млн. га.

Солонцовые территории представлены почвами разной степени солонцеватости с пятнами солонцов, занимающими от 10 до 80% площади почвенного комплекса. В естественном состоянии солонцовые почвы малопродуктивны. Обработка земельных массивов с пятнами солонцов сильно затрудняется их неоднородностью по увлажнению (особенно в период проведения весенних работ) и плотности почвы. Согласно подсчетам, улучшение свойств пашни на солонцовых землях (составляющей 23,9 млн. га, или около 11% пахотных угодий страны) даст дополнительно 3 млн. т зерна в год. Сбор сена на мелиорированных солонцовых лугах повышется (даже без орошения) до 12—15 ц/га против 1—3 ц/га сена низкого кормового качества на тех же лугах до их улучшения.

Отрицательные водно-физические и агрономические свойства солонцов и сильно солонцеватых почв обязаны наличию в них илювиального горизонта с повышенным содержанием илистых частиц и преобладанием в составе поглощенных ионов натрия и магния. Эти катионы способствуют диспергированию почвенной массы, ее плохой водопроницаемости, заплываемости и набуханию во влажном состоянии, сильному уплотнению и растрескиванию на глыбы при высыхании. Устранение перечисленных свойств почв, улучшение их водно-воздушного, солевого и питательного режимов, создание нормальных условий развития культурных растений достигаются двумя путями: внесением различных химических веществ-мелиорантов и проведением глубокой мелиоративной вспашки, обеспечивающей рыхление плотного солонцового горизонта и вовлечение в пахотный слой почвенных соединений кальция для самомелиорации солонцов.

Специфические особенности солонцов обусловлены разными причинами. Классическими опытами К. К. Гедройца (1928) доказано, что вхождение ионов натрия в состав почвенного поглощающего комплекса сопровождается развитием всех признаков солонцеватости почвы. В связи с этим длительное время единственным фактором солонцеобразования считался поглощенный натрий. Сейчас большая роль в формировании солонцовых почв отводится воднопептизируемому (свободному) илу и подвижным

или вторичным почвенным компонентам типа разнообразных гидрофильных гелей, коллоидных и органо-минеральных образований, некоторых глинистых минералов и т. д. (Андреев, 1954; Ковда, 1937, 1939, 1963; Градобоев, 1966, 1971; Панов, 1969, 1972; Пак, 1975; Михайличенко, 1979, и др.).

Существует мнение, что солонцеватость почв обуславливается не только поглощенным натрием, но и магнием (Гоголев и Волошин, 1968; Половицкий, 1968; Соколов, 1963; Цуриков, 1971; Панов, 1972; Пак и Цюрупа, 1974). Однако в качестве критерия степени солонцеватости почв при расчете доз химических мелиорантов пока принимается только количество поглощенного натрия.

Солонцовые почвы наиболее широко распространены в степной и полупустынной зонах. По глубине залегания плотного иллювиального (солонцового горизонта) солонцы разделяются на корковые и мелкие (мощность надсолонцового перегнойно-элювиального горизонта до 5—8 см), средние (мощность надсолонцового горизонта 12—15 см) и глубокие (мощность этого горизонта больше 15 см\*). На корковых, мелких и некоторых средних солонцах растения обычно не развиваются без осуществления специальных мелиоративных приемов, но на глубоких солонцах в благоприятные по увлажнению годы собирают достаточно высокие урожаи зерновых и кормовых культур, часто не уступающие их урожаю на окружающих зональных почвах.

По своему генезису и химизму засоления солонцы СССР подразделяются на два основных вида: хлоридно-сульфатные с нейтральной реакцией и содово-сульфатные со щелочной реакцией. Солонцы хлоридно-сульфатного типа засоления характеризуются менее злостными свойствами, чем солонцы содово-сульфатные и особенно содовые. Их плодородие значительно выше, чем солонцов с высокой щелочностью.

Щелочные содово-сульфатные солонцы обычно располагаются пятнами разных размеров среди солонцеватых или солончаковых черноземов. Они распространены главным образом в Центрально-Черноземной зоне, на Западно-Сибирской низменности, в лесостепной зоне Украины, в некоторых районах Поволжья и Предкавказья. Таким образом, содово-сульфатные солонцы находятся в наиболее важных в сельскохозяйственном отношении районах страны. Поэтому они давно привлекают внимание почвоведов, и в настоящее время мы располагаем обширными материалами по мелиорации почв черноземно-солонцовых комплексов.

Благодаря физико-химическим особенностям солонцов Центрально-Черноземной зоны и сравнительно высокому уровню атмосферных осадков в районах их распространения освоение указанных солонцов осуществляется путем химической мелиорации.

---

\* Принятая почвоведомы-солончеведомы классификация солонцовых почв описана в «Типовых рекомендациях по мелиорации солонцовых почв» (М., «Колос», 1977).

До последних лет основным химическим мелиорантом солонцовых почв являлся сыромолотый гипс, получаемый посредством помола естественного гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Сейчас он постепенно уступает место отходам разных отраслей промышленности, но все же гипсование остается важным приемом мелиорации солонцов Центрально-Черноземной зоны.

Теоретическое обоснование гипсования солонцовых почв было дано К. К. Гедройцем (1928) согласно реакции вытеснения поглощенного натрия почвы кальцием гипса. В результате этой реакции нейтрализуется щелочность почвы, происходит гидрофобизация и коагуляция почвенных коллоидов, ослабляются отрицательные водно-физические и структурно-механические свойства солонцов. При высоком содержании в почве поглощенного магния гипсование снижает возможность образования токсичных гуматов магния и улучшает режим кальциевого питания растений.

Поскольку реакция взаимодействия кальция гипса с поглощенными катионами почвы может идти как в ту, так и в другую сторону, необходимо удалять образующиеся соли из почвенной толщи (особенно при высоком уровне грунтовых вод). При несоблюдении этого условия часто развивается вторичное осолонцевание или засоление почвы.

Активность взаимодействия кальция гипса (и других мелиорирующих веществ) с поглощенными натрием и магнием определяется растворимостью мелиоранта в воде. Последняя зависит от размера частиц гипса (табл. 142).

**142. Влияние тонины помола гипса на его растворимость в воде при комнатной температуре** (соотношение гипс : вода = 1 : 100)

Размер частиц (в мм)	Растворимость кальция (в % валового содержания в гипсе) за время			
	1 сутки	6 суток	12 суток	24 суток
<0,25	22,5	48,7	65,5	88,8
0,25—0,50	15,7	37,2	57,9	75,4
0,50—1	15,7	36,0	55,7	71,0
1—3	15,2	32,9	51,4	67,2
>3	14,8	32,5	48,8	67,5

На основании этих данных лаборатории солонцов Почвенного института в 1965 г. Министерством сельского хозяйства СССР были утверждены действующие понные технические условия на сыромолотый гипс (МРТУ 2—65), в которых установлено содержание  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  не ниже 85% (класс А) и 70% (класс Б); содержание частиц <0,25 мм не ниже 75%.

Гипсование довольно медленно действующий прием, требующий больших денежных затрат. В нашей стране с 1974 г. оно (как и мелиоративные вспашки) финансируется государством из средств госбюджета и проводится в строгом соответствии с про-



**143. Нормы гипсования солонцов Центрально-Черноземной зоны,  
рассчитанные по содержанию натрия в пахотном слое почвы**

Почва, местоположение	Доза гипса (в т/га)	Авторы
Солонец степной средний, Воронежская область	9	И. А. Юрин, И. Ф. Порошков, 1968
Солонец луговой, Воронежская область	15	То же
Солонец степной средний малонатриевый, Воронежская область	6	Л. А. Морякова, 1968
Солонец луговой содовый мелкий, Куйбышевская область	11,5	В. В. Кобзев, 1968
Солонец степной малонатриевый, Ставропольский край	5	И. Ф. Горбунов, Л. Н. Петров, 1968
Солонец содовый корковый, северная лесостепная часть Украины	10 (5+5)	Г. Н. Самбур и соавторы, 1967
Солонцы луговые средние, Челябинская область	8 (5+3)	А. И. Оборин и соавторы, 1972
Солонцы степные мелкие и корковые высококарбонатные, Молдавия	4	И. Л. Шестаков, 1968
Солонцы степные средние и глубокие высококарбонатные, Молдавия	7	То же
Комплекс солонцов лугово-степных мелких, солонцов корковых и лугово-черноземных солонцеватых почв, Кокчетавская область	17	Л. Ф. Кисляков, В. Н. Михайличенко, 1972
Солонец степной средний осокоделый солончаковатый высококарбонатный, Кустанайская область	2,5	Н. Г. Кудашев, 1972

ектно-сметной документацией, составляемой агрохимической службой.

Поскольку основной принцип мелиорации солонцов методом гипсования заключается в замене поглощенного натрия в обрабатываемом слое почвы кальцием, то нормы внесения гипса в солонцы различных районов СССР колеблются в широких пределах (табл. 143). Некоторые исследователи рекомендуют дробное внесение гипса в почву—в начале освоения солонца и в мелиоративный период.

При гипсовании солонцов обычно применяют машины, предназначенные для внесения минеральных удобрений или навоза: РУМ-3, ИПТУ-3-5, РПТУ-2 с приспособлением РКМ-50, КСА-3 и др. Эти машины могут вносить гипсовую муку в дозах от 1 до 6—8 т/га с производительностью 40—70 га за смену.

В зависимости от глубины залегания солонцового горизонта рекомендуются разные способы внесения гипса в почву. На глубоких солонцах, где при обычной вспашке с оборотом пласта солонцовый горизонт не извлекается на поверхность почвы или только слегка затрагивается плугом, 75% установленной дозы гипса следует вносить под вспашку и 25% —поверхностно под

культивацию. На мелких солонцах, где во время вспашки на поверхность почвы выворачивается большая часть солонцового слоя, рекомендуется вносить гипс поровну под вспашку и под культивацию. Сейчас в ряде научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро разрабатываются новые машины для обработки солонцов с внесением мелиорантов непосредственно в солонцовый горизонт.

Очень полезно сочетать гипсование солонцов с внесением навоза, компоста и запашкой зеленых сидератов. Это способствует повышению биологической активности почвы, усиленному продуцированию углекислоты и как следствие увеличению растворимости гипса и почвенных кальцийсодержащих образований.

Положительное влияние на плодородие черноземных солонцов и урожай высеваемых культур оказывает также совместное применение гипса и минеральных удобрений. Так, по данным А. М. Можейко (1966), за 17 учетных лет средний урожай зерновых культур на корковых солонцах Среднего Приднепровья повысился при совместном внесении гипса, навоза и минеральных удобрений на 7,6 ц/га по сравнению с контролем. Урожай ячменя на солонцах подзоны обыкновенных черноземов Алтайского края после внесения гипса (5 т/га), азотных ( $N_{18}$ ) и фосфорных ( $P_{50}$ ) удобрений увеличился на 3—3,5 ц/га по сравнению с контрольными участками (Баркан и др., 1967).

Эффективность совместного применения гипса и удобрений на солонцовых почвах засушливой каштановой зоны проявляется только во влажные годы (преимущественно на фоне глубокой обработки, способствующей повышению влагообеспеченности почвы). Следует отметить, что при достаточно высоком содержании естественных солей кальция в пахотном слое солонцов после проведения мелиоративной вспашки, мобилизующей внутрипочвенные запасы гипса или извести, надо ограничиваться внесением удобрений. Гипсование не дает в этом случае должного эффекта даже при орошении (Пак, 1975).

Поскольку процесс растворения гипса сильно зависит от влажности почвы, важно правильно определять сроки гипсования солонцов и место этого приема в севообороте. При богарном земледелии лучшие условия для растворения гипса в почве создаются на чистых парах, поэтому весь гипс или его большую часть вносят при вспашке парового поля. В хозяйствах, где нет чистых паров, гипс вносят обычно под пропашные культуры осенью, при зяблевой вспашке. В кормовых севооборотах гипс вносят на поля, отводимые под посев многолетних трав.

На слабо- и среднесолонцеватых черноземно-луговых почвах хорошо зарекомендовало себя предложенное А. М. Гринченко (1955) рядковое внесение гипса в дозе 3—4 ц/га при высеве комбинированными сеялками или путем смешивания гипсовой муки с семенами.

Как правило, гипсование солонцов на второй-третий год после его проведения способствует увеличению относительного содержания поглощенного кальция, снижению натрия и магния. Однако на луговых и лугово-степных солонцах иногда наблюдается ухудшение состава поглощенных катионов после внесения гипса; это обуславливается особенностями минералогического состава почвы или плохой дренированностью осваиваемой территории.

Исследования советских ученых показали, что гипсование положительно влияет не только на размеры, но и на качество урожая. Гипс способствует увеличению количества свободной воды в тканях растений, повышению интенсивности транспирации, уменьшению гидрофильности биокolloидов и осмотического давления клеточного сока растений, выращиваемых на солонцах, увеличению содержания сахара в сахарной свекле и снижению ее заболеваемости корневой гнилью.

По данным А. И. Оборина и соавторов (1972), внесение гипса в черноземно-луговой солонец способствует значительному увеличению количества нитратов, но некоторому снижению содержания подвижных форм фосфора в отдельные сроки наблюдений. Уменьшение количества фосфатов эти авторы объясняют их поглощением растениями или образованием труднорастворимых соединений фосфора с кальцием.

Анализ многолетних данных по влиянию гипсования солонцов на урожай высеваемых культур в хозяйствах Воронежской области, Поволжья, Западной Сибири и Украины подтверждает целесообразность его применения в случае достаточной влагообеспеченности почвы, но одновременно подчеркивает необходимость строгого подхода к дозировке мелиоранта. Изменение количества гипса часто приводит к двойному убытку: недобору продукции и затрате лишних средств на проведение гипсования. В связи с полной неясностью вопроса нормирования мелиорантов на малонатриевых солонцах, Московской сельскохозяйственной академией им. К. А. Тимирязева поставлены полевые опыты по изучению эффективности доз гипса, фосфогипса, серной кислоты и железного купороса, рассчитанных разными методами (Панов и соавт., 1978, 1980).

Экономическая эффективность гипсования солонцов во многом определяется расходами на его транспортировку и внесение в почву. По данным Ростовского отделения Госкомсельхозтехники СССР, перевозка гипсосодержащих материалов на 100 км и более увеличивает стоимость мелиорации 1 га с 50 до 80—100 руб.

По расчетам Л. В. Березина (1973, 1976) среднегодовой доход на каждый рубль затрат на гипсование солонцов Омской области составляет 1,3 руб., а при совместном внесении гипса и навоза — 1,8 руб. Расходы на проведение гипсования окупаются за 3,5—4 года. В совхозе «Измайловский» Люблинского района

области благодаря повышению урожая на гипсованных черноземных солонцах за 5 лет было получено дополнительной продукции на сумму 492 тыс. руб. (по 61,6 руб. на каждую тонну внесенного гипса). Самые низкопродуктивные корковые содовые солонцы Омской области за 1970—1974 гг. при гипсовании дозой 40 т/га дали в среднем с 1 га 18,7 ц кормовых единиц полевых культур и 12,6 ц кормовых единиц многолетних трав, тогда как с негипсованных участков этих солонцов урожая не собрали совсем.

В связи с расширением работ по мелиоративному освоению малопродуктивных земель страны возникла необходимость интенсивного использования в сельском хозяйстве отходов разных отраслей промышленности. Основным химическим мелиорантом солонцов на ближайшие годы определен отход производства экстракционной фосфорной кислоты — фосфогипс.

Применение фосфогипса для мелиорации солонцов целесообразно не только с точки зрения утилизации промышленного отхода, накапливающегося на заводах и загрязняющего окружающую территорию, но и благодаря свойствам этого продукта: кислотной реакцией (насыщенный раствор фосфогипса имеет pH 4—5), высокому содержанию сульфата кальция (до 90—92%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  массы воздушно-сухого вещества вместо установленных МРТУ 2—65 85% для сыромолотого гипса класса А и 70% класса Б), значительной примеси фосфорной кислоты (0,4—2,5% водорастворимой  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и относительно высокой дисперсности материала, обеспечивающей его хороший контакт с почвой.

Существенными недостатками фосфогипса являются высокая влажность (до 40%) и примесь фтора (0,1—0,8% массы воздушно-сухого вещества). При мелиорации солонцов фосфогипсом в почву за один прием на 1 га может поступать до 120 кг фтора. Через 7—10 лет фосфогипсование (как и гипсование) будет повторяться, что вызовет дополнительное поступление фтора в почву. В связи с необходимостью охраны окружающей среды в процессе сельскохозяйственного использования территории в ряде научных учреждений СССР изучаются следующие вопросы: 1) судьба фтора, попадающего в мелиорируемую почву (закономерности его передвижения и фиксации в разных горизонтах почвогрунтовой толщи); 2) возможность накопления фтора в почвах и природных водах в количествах, превышающих его допустимую концентрацию в указанных объектах; 3) доступность внесенного в почву фтора культивируемым растениям. Согласно введенным в ноябре 1978 г. техническим условиям (ТУ 6-08-418-78), общая влажность фосфогипса не должна превышать 18—20%. Избыточная вода способствует смерзанию фосфогипса в зимних условиях, затрудняет внесение его в почву и является балластом при транспортировке.

Полученные в последние годы сведения о мелиоративной роли фосфогипса на неорошаемых солонцовых почвах свидетельст-

вуют о его несомненном положительном влиянии на урожай высеваемых культур. Так, в условиях лесостепной зоны УССР внесение 1 т фосфогипса дает прибавку урожая 2,8—3 ц кормовых единиц с гектара. В Ставропольском крае, согласно данным Ставропольского НИИСХ, средняя ежегодная прибавка урожая зерна при фосфогипсовании черноземных солонцов составила за период 1964—1975 гг. 3 ц/га; наряду с увеличением урожайности отмечалось улучшение качества зерна.

В опытах Института почвоведения Академии наук Казахской ССР на южных черноземах Целиноградской области внесение равнозначных доз гипса и фосфогипса на солончаковатые мелкие солонцы способствовало значительному улучшению водно-физических свойств этих почв, их рассолению и рассолонцеванию, что способствовало повышению урожайности высеянных трав.

В последние годы значительно расширилось использование в мелиоративных целях и других отходов промышленности, в частности железного купороса и серной кислоты.

Применение хорошо растворимых и жидких веществ (особенно минеральных кислот) для улучшения свойств почв аридных территорий уже давно привлекает внимание исследователей. После 1935 г. в ряде стран (особенно в США) стали широко использовать концентрированную или разбавленную серную кислоту для мелиорации засоленных карбонатных почв разной степени солонцеватости и увеличения подвижности кальция, фосфора, марганца, цинка и других элементов в карбонатных почвах (Миамото и др., 1975). Для орошаемого земледелия (как показывает опыт Армении) этот вопрос практически решен. Установлено, что слабоконцентрированные растворы серной кислоты в условиях дренажа позволяют успешно мелиорировать сильно засоленные солончаково-солонцеватые почвы на любую заданную мощность слоя. Разработана технология кислования солонцов с последующей промывкой почвы высокими нормами воды. Эффективным на этих почвах было и применение железного купороса.

Для богарных условий высокая мелиоративная роль железного купороса подтверждена многолетними опытами (Оборин и соавт., 1966, 1972) на луговых черноземных солонцах челябинского Зауралья. Однако вопрос об использовании серной кислоты на неорошаемых солонцах еще находится в стадии разработки.

Таким образом, опыты научных учреждений и многолетняя практика сельскохозяйственного производства показали, что химическая мелиорация солонцов методом гипсования достаточно эффективна в лесостепной и черноземной зонах, характеризующихся широким распространением содово-сульфатных солонцов и удовлетворительной влагообеспеченностью почвы. Сочетание гипсования и глубокой обработки солонцов на фоне дополнительного влагонакопления (путем посева кулис, снегопахов, щелевания и др.) позволяет увеличить сбор зерна на неорошаемых солонцовых землях на 2—6 ц/га, при орошении на 6—8 (до 12—

**144. Урожайность сельскохозяйственных культур при разных способах вспашки каштанового степного солонца (богарные условия)**

Вспашка	Урожай (в ц/га)					
	зерна пшеницы	сена житняка				
		1-й год	2-й год	3-й год	4-й год	среднее за 4 года
Обычная на 22—25 см	8,5	7,6	17,3	23,7	20,8	17,4
Безотвальная на 45—50 см	11,5	10,0	34,6	26,2	23,2	23,5
Плантажная на 40—50 см	12,0	13,9	41,3	27,3	23,0	26,4
Ярусная на 40—50 см	12,9	15,1	41,9	33,0	25,2	28,8
Вспашка на 35—40 см с почво- углублением на 10—15 см	13,3	15,7	41,9	36,8	27,0	30,4

15) ц/га. Положительное влияние гипса проявляется довольно быстро, и затраты на проведение гипсования обычно окупаются за 2—5 лет.

Однако по мере нарастания засушливости климата (при переходе к каштановым и бурым почвам) химическая мелиорация солонцов в неорошаемых условиях перестает обеспечивать улучшение их свойств и не оправдывает себя ни с мелиоративной, ни с экономической стороны. В этих условиях решающее значение для освоения солонцовых земель приобретают глубокие мелиоративные вспашки и особенно разработанный в 50-х годах И. Н. Антиповым-Каратаевым и К. П. Паком агробиологический метод мелиорации солонцов, включающий: а) специальную мелиоративную обработку (с вовлечением в пахотный слой почвенных карбонатов или гипса для самомелиорации почвы); б) систему влагонакопительных приемов; в) посев культур-фитомелиорантов; г) внесение органических и минеральных удобрений. Улучшение водного, воздушного, солевого и питательного режимов солонцов благодаря их глубокой обработке способствует значительному увеличению урожайности сельскохозяйственных культур даже в крайне засушливых условиях Калмыцкой АССР (табл. 144) и темно-каштановой подзоны Кустанайской области (табл. 145).

Анализ данных по влиянию различных видов обработки на засоренность посевов показал, что глубокие мелиоративные вспашки резко снижают количество сорняков на полях с однолетними культурами и многолетними травами, тогда как на фоне мелкой отвальной и безотвальной обработок почвы засоренность всех посевов заметно увеличивается. Последствие глубокой мелиоративной вспашки на уменьшение развития сорной растительности и повышение влагообеспеченности пахотного слоя солонцовых почв прослеживается в течение нескольких лет.

В орошаемых условиях глубокие вспашки целесообразно сочетать с внесением минеральных удобрений. Гипсование по фону мелиоративных обработок, мобилизующих внутрипочвенные за-

**145. Влияние разных видов вспашки солонцовых почв на урожай сельскохозяйственных культур в подзоне темно-каштановых почв**

Культура	Способ вспашки	Урожай (в ц/га)			
		1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.
Совхоз «Тобольский»					
Пшеница яровая (зерно)	Отвальная (контроль)	—	—	3,4	1,6
	Безотвальная	—	—	4,2	1,7
	Двухъярусная	—	—	6,0	2,0
	Трехъярусная	—	—	6,1	2,1
	Плантажная	—	—	8,6	3,2
Ячмень (зерно)	Отвальная (контроль)	3,7	8,8	—	—
	Безотвальная	2,5	7,5	—	—
	Двухъярусная	3,7	5,1	—	—
	Трехъярусная	5,5	12,4	—	—
	Плантажная	5,4	9,3	—	—
Просо (зерно)	Отвальная (контроль)	3,6	7,9	—	—
	Безотвальная	3,2	10,6	—	—
	Двухъярусная	5,5	9,8	—	—
	Трехъярусная	7,8	16,6	—	—
	Плантажная	6,6	16,6	—	—
Донник (сено)	Отвальная	—	4,0	—	7,5
	Безотвальная	—	4,1	—	7,0
	Двухъярусная	—	8,0	—	9,4
	Трехъярусная	—	13,2	—	9,8
	Плантажная	—	13,8	—	10,1

**Совхоз «Бестюбинский»**

Просо (зерно)	Отвальная (контроль)	3,8	12,6	—	—
	Безотвальная	3,6	7,8	—	—
	Трехъярусная	4,9	17,5	—	—
Донник (сено)	Отвальная (контроль)	—	13,8	—	11,8
	Безотвальная	—	7,5	—	9,9
	Трехъярусная	—	14,4	—	18,2
Многолетние травы (сено)	Отвальная (контроль)	—	14,4	7,7	7,0
	Безотвальная	—	10,2	13,4	8,8
	Трехъярусная	—	23,1	19,8	14,8

Примечание. Производственные опыты проводились в 9 совхозах Кустанайской области в 1971—1974 гг. под методическим руководством К. П. Пака. Площадь опытных участков составляла 35—70 га.

пасы кальция, обычно не дает ощутимого эффекта. Затраты на проведение мелиоративных вспашек обычно окупаются за 1—3 года.

## ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ

Важную роль в подъеме урожайности играют органические удобрения. В 1981 г. колхозы и совхозы страны внесли в почву 883 млн. т этих удобрений. В общем балансе вносимых в почву питательных веществ на их долю в 1981 г. приходилось около 40%.

**Навоз** — удобрение длительного действия, продолжительность которого зависит главным образом от механического состава почвы и величины внесенной дозы удобрения. Суммарная прибавка урожая всех культур севооборота от последствия навоза обычно намного больше, чем от прямого действия. Поэтому эффективность его как удобрения оценивается оплатой 1 т навоза суммарной прибавкой урожая всех культур севооборота (табл. 146).

146. Оплата навоза прибавками урожая в опытах научных учреждений

Севообороты	Число		Среднегодовая доза навоза (в т/га)	Оплата 1 т навоза	
	опытов	ротаций		в ц зерновых единиц	в %
Зернотравяные	8	18	6,3	0,66	100
Зернопаровые	18	70	7,3	0,72	109
Зернольнянотравяные	9	17	4,8	0,88	133
Зернопаропропашные	26	80	7,5	0,88	133
Зернопропашные	4	8	8,3	1,02	155
Плodosменные	83	127	6,0	1,04	158
Пропашные	10	14	10,2	1,09	165

Оплата навоза прибавками урожая в севооборотах с пропашными культурами значительно выше, чем без пропашных.

Применение достаточного количества подстилки скоту способствует увеличению накопления навоза, повышению его качества, а также улучшению зоогигиенических условий содержания животных (табл. 147).

При использовании достаточного количества подстилки накопление навоза в расчете на одну корову за стойловый период 9—10 т (табл. 148).

В моче животных азотсодержащие соединения в основном представлены мочевиной, в меньшем количестве гиппуровой и мочевой кислотами. Гидролитическое расщепление мочевины до углекислого аммония под влиянием уробактерий протекает очень быстро по уравнению:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .



**147. Влияние количества подстилки на накопление навоза и сохранение в нем азота (по данным ВИАУ)**

Вид подстилки	На одну корову в сутки подстилки (в кг)	Накопление навоза от одной коровы за стойловый период — 200 дней (в т)	Потери азота за 3,5 месяца хранения навоза (в %)
Солома ржаная	2	6,8	43,9
» »	4	8,2	31,2
» »	6	9,4	12,4
Торф верховой	6	10,4	12,6
» низинный	20	12,2	3,4

Процесс распада азотистых соединений мочи животных до аммиака продолжается в жижеборниках и в штабелях навоза, но он протекает там значительно медленнее, чем на открытом воздухе. Объясняется это тем, что воздух внутри штабеля и в жижеборниках над поверхностью мочи насыщен углекислым газом. В этих условиях углекислый аммоний распадается на углекислый газ, аммиак и воду медленно, по мере улетучивания углекислого газа из среды.

Следует отметить, что в навозе идет не только процесс распада азотистых соединений до аммиака. При наличии в нем значительных количеств клетчатки и других углеводов азот аммиака закрепляется в микробной плазме, то есть происходит вторичный синтез белков.

В соломистом навозе при широком отношении углерода к азоту (превышающем 40:1) процесс аммонификации азотистых соединений в течение определенного времени в количественном выражении почти равен процессу потребления аммиака микроорганизмами. В этом случае процесс минерализации органического вещества навоза и сопутствующий ему процесс гумификации протекают при незначительных потерях азота или полном их отсутствии.

Имеющийся экспериментальный материал позволяет констатировать, что азот из навоза не всегда теряется в форме аммиака. Если в штабеле навоза создаются благоприятные условия для процесса нитрификации аммиака, то значительная часть азота образовавшихся нитратов в результате их восстановления

**148. Примерное количество навоза, получаемого в год от одного животного при содержании на соломенной подстилке**

Вид скота	Количество навоза (в т) при стойловом периоде (в днях)		
	240—220	220—200	200—180
Крупный рогатый скот	9—10	8—9	6—8
Лошади	7—8	5—6	4—4,5
Свиньи	2,25	1,75	1,5
Овцы	1,0	0,9	0,6—0,8

(процесса денитрификации) теряется в форме элементарного азота. В свежем негумифицированном навозе, содержащем большое количество энергетического материала, нитрифицирующие бактерии, а следовательно, и нитраты, как правило, отсутствуют. Когда органическое вещество навоза достигает значительной степени гумификации и перестает быть хорошим энергетическим материалом для большинства микроорганизмов, а навоз становится рыхлым для проникновения в штабель воздуха, тогда возникает процесс нитрификации аммиака и сопутствующий ему процесс денитрификации.

По имеющимся в литературе данным, даже при рыхлой укладке навоза в штабель в его порах содержится кислород только в поверхностных слоях. В более глубоких слоях поры навоза почти полностью заполнены углекислым газом и метаном. Отсутствие внутри штабеля не только кислорода, но и азота говорит о том, что в глубокие слои навозного штабеля воздух почти не поступает. Что касается безазотистых соединений, в первую очередь углеводов, клетчатки, пентозанов и крахмала, то при хорошем доступе воздуха под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов они минерализуются до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  по уравнению:  $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 + 6\text{O}_2 = 6\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$ . В анаэробных условиях углеводы в результате метанового брожения дают метан и углекислый газ по уравнению:  $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} = 3\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2$ . Как в аэробных условиях, так и при метановом брожении, кроме углеводов, процессы разложения подвергаются органические кислоты и жиры. Крайне медленно поддается минерализации лигнин. Несколько быстрее под воздействием грибов лигнина разлагается при достаточном доступе кислорода в кислой среде.

Скорость минерализации органического вещества навоза и степень его гумификации в огромной мере зависят от соотношения безазотистых и азотсодержащих (белковых и других) форм органического вещества. При минерализации и гумификации клетчатки и других углеводов микроорганизмы потребляют из внешней среды большое количество азота в форме нитратов или аммиака, которые образуются в результате аммонификации почвенного гумуса и дальнейшей нитрификации аммиака. Азот, закрепленный в плазме микроорганизмов, оказывает положительное действие на урожай последующих культур севооборота. Нередко внесение соломы с осени под пропашные культуры, например картофель, не снижает или даже повышает их урожай. Это объясняется тем, что поглощенный микроорганизмами под влиянием соломы минеральный азот к моменту вегетации или в течение вегетации растений начинает вновь освобождаться в форме аммиака и нитратов.

Обобщенные результаты анализов химического состава навоза различных видов сельскохозяйственных животных перед внесением его в почву приведены в таблице 149. Различают четыре стадии разложения навоза, приготовленного на соломенной

**149. Химический состав навоза по анализам зональных агрохимических лабораторий**

Вид навоза	Содержание при натуральной влажности (в %)						Влаж- ность (в %)	pH	C : N
	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	органи- ческого веще- ства	золы			
	общего	аммиач- ного							
Крупного рогатого скота	0,44	0,07	0,23	0,41	18,3	4,7	77,0	8,0	21
Свиной	0,84	0,15	0,58	0,62	21,9	17,4	60,7	7,9	13
Конский	0,59	0,09	0,26	0,59	22,6	8,4	69,0	7,9	21
Овечий	0,86	0,14	0,47	0,88	28,0	23,0	49,0	7,9	17

подстилке: свежий, полуперепревший, перепревший и перегной.

В свежем, слаборазложившемся навозе солома незначительно изменяет цвет и прочность. В полуперепревшем навозе солома приобретает темно-коричневый цвет, теряет прочность и легко разрывается. В этой стадии разложения навоз теряет 10—30% первоначальной массы и такое же количество органического вещества. Перепревший навоз представляет собой однородную массу. Солома разлагается настолько, что нельзя обнаружить отдельные соломины. При доведении до такой степени разложения навоз теряет около 50% массы и сухого органического вещества. Перегной — рыхлая темная масса. В этой стадии разложения навоз теряет до 75% массы и сухого органического вещества.

Не следует доводить навоз до перепревшего состояния или перегноя. При длительном разложении навоза количество органического вещества уменьшается в нем в 2—4 раза.

Существует рыхлый, или горячий, способ хранения, когда навоз не уплотняется; горячепрессованный (способ Кранца), когда навоз рыхлой укладки после разогревания до 50—60 °С уплотняется, и холодный, или плотный, способ хранения, при котором удаленный из животноводческого помещения навоз сразу уплотняют. Горячепрессованный способ применяют при необходимости подвергнуть навоз биотермическому обеззараживанию. Рыхлый способ хранения навоза не рекомендуется из-за больших потерь азота и органического вещества.

Для получения навоза хорошего качества его надо хранить холодным способом. Для этого после удаления из животноводческого помещения его укладывают на ферме или на поле в большие уплотненные штабеля шириной не менее 5—6 м и высотой в уплотненном состоянии не менее 2—3 м. Оптимальная масса штабеля для хранения в зимнее время на поле 100—200 т (при массе менее 100 т штабель сильнее промерзает, а более 200 т существенно снижается производительность навозоразбрасывателей). При использовании высокопроизводительных разбрасывателей масса штабеля может быть существенно увеличена. При хране-

150. Средние потери органического вещества и азота при разных способах хранения навоза в течение четырех месяцев (данные ВИУА и НИУИФ)

Навоз	Потери из навоза (в %) на подстилке			
	соломенной		торфяной	
	органического вещества	азота	органического вещества	азота
Рыхлый	32,6	31,4	40,0	25,2
Горячепрессованный	24,6	21,6	32,9	17,1
Плотный	12,2	10,7	7,0	1,0

нии навоза в уплотненных штабелях из него меньше теряется азота и органического вещества (табл. 150).

Совершенно недопустимо хранить навоз в мелких кучах. При таком хранении улетучивается почти весь аммиачный азот, а другие питательные вещества вымываются талыми водами и дождями, в результате чего удобрительное действие его сильно снижается. Почва под кучами долго не оттаивает, что задерживает своевременную обработку ее весной. Так, в одном из опытов ВИУА при внесении навоза, хранившегося зимой в уплотненных штабелях, прибавка урожая картофеля составила 74 ц, а при внесении навоза, хранившегося в мелких кучах, — только 33 ц/га. Кроме того, навоз в мелких кучах замерзает, не разлагается, а содержащиеся в нем семена сорняков сохраняют всхожесть.

По обобщенным данным результатов опытов, эффективность навоза при осеннем и весеннем внесении одинаково высокая. Эффективность зимнего внесения навоза по замерзшей зяби и по снегу, как правило, ниже, чем осеннего или своевременного весеннего. Это объясняется в основном потерями аммиачного азота из навоза при разбрасывании его по снегу. Возможны также потери калия и фосфора вместе с талыми водами. Потери аммиака из торфяного навоза и торфонавозных компостов намного меньше, чем из навоза, приготовленного на соломенной подстилке.

Из-за недостатка навозоразбрасывателей зимнее внесение рекомендуется в качестве вынужденного приема только в отношении той части навоза, которая не может быть равномерно внесена весной в оптимальные сроки. Зимой целесообразно вносить навозоразбрасывателями торфяной навоз, торфонавозный компост, а также навоз с низким содержанием аммиачного азота. Недопустимо зимнее внесение на затопляемых площадях, склонах, по снегу глубиной более 20 см и при морозе более 10°C.

Разница в действии на урожайность навоза, внесенного в различные сроки, на всех культурах севооборота сглаживается, и она тем меньше, чем меньше аммиачного азота содержит навоз. На черноземах эта разница невелика.

**Птичий помет.** В зависимости от типа содержания птицы различают помет подстилочный, получаемый при содержании птицы на глубокой несменяемой подстилке (молодняк и маточное поголовье птицефабрик), и помет, получаемый при клеточном содержании кур-несушек на птицефабриках. Куриный помет по своим удобрительным качествам превосходит навоз, а по скорости и эффективности действия не уступает минеральным удобрениям.

Подстилочный куриный помет характеризуется невысокой влажностью, достаточной сыпучестью; его можно использовать как обычный навоз в дозах, рассчитанных по азоту. При влажности 56% он содержит примерно 1,6% азота, 1,5% фосфора и 0,9% калия. Бесподстилочный куриный помет имеет более высокую влажность и повышенное содержание азота, представляет собой липкую мажущуюся массу с неприятным запахом. Этот помет при влажности 64% содержит 2,1% азота (в том числе 0,52% аммиачного), 1,44% фосфора и 0,64% калия.

Помет гусей и уток более водянист и по содержанию питательных веществ приближается к обычному навозу.

При клеточном содержании от одной курицы-несушки накапливается 150—200 г помета в сутки, или 55—70 кг в год. При свободном выгульном содержании птицы сбор помета меньше, от 100 кур он составляет 6—8 ц, от 100 уток — 8—10 ц, от 100 гусей — 10—12 ц в год.

При хранении подстилочного помета в кучах он сильно разогревается, что сопровождается потерями азота, достигающими за 1,5—2 месяца хранения 30—60% общего содержания его в помете.

При напольном содержании птицы наиболее надежным приемом для сохранения азота в помете, улучшения его физических свойств, снижения затрат труда и повышения продуктивности кур является применение глубокой подстилки. Для подстилки используют торф, солому и опилки.

На птицефабриках при содержании птицы в клеточных батареях наилучшим способом сохранения питательных веществ помета является термическая сушка при температуре 600—800 °С. При хранении его в течение шести месяцев теряется всего 2—8% азота и 4—11% органического вещества. Термическая сушка помета позволяет в корне улучшить технологию его применения. Не снижая удобрительных свойств помета, превращает его в высококонцентрированное быстродействующее органическое удобрение с благоприятными физическими свойствами, лишенное зловонного запаха.

Термически высушенный куриный помет при влажности 17% содержит 4,54% азота (в том числе 0,56% аммиачного), 3,65% фосфора и 1,74% калия. Помет, высушенный в барабанных сушилках, без дополнительной обработки превращается в сыпучее гранулированное удобрение. Высушенный помет на 56,5% пред-

ставлен фракцией 1—5 мм и на 34,9% — фракцией более 5 мм. Содержание пылящей фракции (менее 1 мм) составляет 8,6%.

Внесение высушенного куриного помета в почву может быть легко механизировано. При норме 2—4 т/га с этой работой хорошо справляются машины для внесения минеральных удобрений и извести типа РУМ-3. При более высоких дозах можно использовать навозоразбрасыватели.

Термически высушенный куриный помет обладает сильным действием на урожайность сельскохозяйственных культур, но незначительным последствием. В зоне дерново-подзолистых почв наиболее эффективно совместное применение высушенного помета с минеральными азотными удобрениями или с полным минеральным удобрением, вносимым с учетом потребности растений в азоте, фосфоре и калии и содержания их в помете.

Ценность торфа для сельского хозяйства определяется в первую очередь его высокой влагоемкостью и поглощательной способностью. Благодаря этим свойствам он широко применяется для подстилки животным и компостирования с навозом. Использование его для этих целей позволяет сохранить от потерь жидкие экскременты и аммиак, которые обычно в значительном количестве теряются из навоза при хранении (табл. 151).

151. Химический состав различных типов нормальнозольного торфа

Торф	Содержание (в % сухого вещества)			рН солевой вытяжки
	азота	фосфора	калия	
Верховой	0,8—1,2	0,06—0,12	0,1	2,8—3,5
Переходный	1,0—2,3	0,1—0,2	0,1	3,5—4,7
Низинный	2,3—3,3	0,12—0,50	0,15	4,7—5,5

Содержащийся в торфе азот находится в органических соединениях и очень плохо усваивается растениями. Расходы на добычу и применение торфа в чистом виде, как правило, не окупаются прибавкой урожайности.

Для приготовления торфонавозных компостов пригодны все виды торфа: верховой, переходный и низинный, влажность которых не превышает 60%.

Заготовку торфонавозных компостов осуществляют разными способами.

Послойный способ применим в любое время года. На площадке разгружают торф и бульдозером разравнивают его слоем 40—50 см. На торф вывозят навоз и разравнивают слоем 40—50 см. Затем снова укладывают торф, на него навоз и т. д. Завершают штабель слоем торфа толщиной 40—50 см. Готовый штабель имеет ширину у основания 3—4 м, высоту около 2 м, длину произвольную. В зимнее время, чтобы компост не промер-

зал, закладку каждого штабеля необходимо завершать за 1—2 дня.

Очаговый способ от послойного отличается тем, что навоз укладывают на торфяную подушку отдельными кучами на расстоянии 1 м друг от друга, а промежутки между ними засыпают торфом. Очаговый способ компостирования навоза с торфом обеспечивает лучшее разогревание компостов в зимнее время.

Площадочный способ заключается в том, что на торфяную подушку слоем 25—30 см сгружают и разравнивают необходимое количество навоза. Затем двух-трехкратным дискованием тяжелой дисковой бороной перемешивают навоз с торфом и смесь сгребают бульдозером в штабеля для компостирования. Этот способ наиболее приемлем при заготовке компостов в весенне-летний и осенний периоды. В то же время компосты можно готовить и таким способом. На край удобряемого поля подвозят автосамосвалами и тракторными прицепами торф и укладывают кучами в ряд на расстоянии 5 м одну от другой. Затем подвозят навоз и сгружают его между кучами торфа. Таким образом, размещают три ряда куч навоза и торфа. После этого сначала сдвигают бульдозером два крайних ряда к среднему, а затем перемещают массу в двух противоположных направлениях и сгребают в большие штабеля.

**Использование излишков соломы на удобрение.** Один из приемов применения излишков соломы, не планируемых для покрытия дефицита в кормах в других районах,— использование ее в качестве удобрения и для мульчирования.

По данным полевых опытов ВИУА, а также обобщенным результатам опытов Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева, Института микробиологии АН СССР, Всесоюзного института сельскохозяйственной микробиологии и других научных учреждений, запахивание в почву соломы в тех количествах, которые обычно остаются на поле после уборки зерна (2—5 т/га), не всегда приводит к повышению урожайности. Чаще урожайность первой культуры не изменяется или незначительно понижается, а урожайность следующих культур несколько повышается от последствий соломы. При систематическом внесении эффективность соломы постепенно увеличивается.

Химический состав соломы довольно широко изменяется в зависимости от почвенных и погодных условий. В среднем она содержит 0,5% азота, 0,25% фосфора, 0,8% калия и 35—40% углерода в форме различных органических соединений. При запахивании соломы, оставляемой на поле после уборки зерна, в почву возвращается (в расчете на 1 га): 12—15 кг азота, 7—8 кг фосфора и 20—24 кг калия.

После того как солому измельчат и разбросают по полю (делать это лучше одновременно с уборкой), приступают к обработке почвы. Сразу запахивать солому на большую глубину нецелесообразно. Лучше всего сначала неглубоко заделать ее в

почву дискованием или лущением на 8—10 см. В этом случае разложение соломы пойдет более энергично, без накопления токсических веществ. При заделке соломы на такую глубину более интенсивно размножаются свободноживущие азотфиксирующие микроорганизмы.

На площадях, удобренных соломой, в первую очередь желательно размещать бобовые или пропашные культуры. При посеве на этих площадях злаковых культур целесообразно увеличить дозу азотных минеральных удобрений до 5—10 кг/га.

Дополнительное внесение азотных удобрений не только предотвращает возможное снижение урожайности от соломы в первый год после внесения, но даже повышает общую эффективность удобрений. Минеральные азотные удобрения можно также заменить полужидким бесподстилочным навозом из расчета не менее 3—5 т на 1 т соломы. При таком сочетании эти удобрения будут действовать не хуже обычного подстилочного навоза.

На очистных сооружениях крупных городов получается большое количество **осадков сточных вод**. По удобрительной ценности осадок влажностью 75—80% не уступает навозу. В зависимости от степени подсушивания осадков содержание в них основных питательных элементов может резко колебаться (табл. 152).

152. Средний состав осадков сточных вод (данные Люберецких полей фильтрации)

Осадок	Содержание (в % сухого вещества)					
	азота общего	азота под- вижного	фосфора	калия	кальция	магния
Сброженный	3,07	0,27	2,33	0,21	3,48	—
Сброженный с активным илом	3,95	0,70	3,70	0,18	3,29	0,96
После термической сушки	1,96	—	3,92	—	5,21	5,81

Практика колхозов им. Мичурина, им. Димитрова, им. Горького и плодово-ягодного совхоза им. Ленина Ленинского района Московской области показала, что осадки сточных вод при умелом их использовании являются высокоэффективным удобрением. При разрешении местной санитарной службы они могут быть использованы для удобрения любых сельскохозяйственных культур, однако выгоднее использовать их под сахарную и кормовую свеклу и силосные культуры.

Термически высушенный осадок содержит значительное количество извести и железа. Применение его под культуры, отзывчивые на известь, например капусту, более эффективно, чем применение осадка с иловых площадок. Дозы осадков сточных вод колеблются от 20 до 100 т/га, в зависимости от их влажности и удобряемой культуры.



**Основные принципы эффективного применения органических удобрений.** Во всех районах нашей страны навоз следует применять, как правило, в полуперепревшем состоянии. Возможно также внесение и свежего навоза, особенно под культуры с длинным периодом вегетации. При внесении под ранние яровые культуры солоmistый навоз целесообразно дополнять минеральным азотом.

Органические удобрения нужно вносить в первую очередь под те культуры, которые оплачивают их наиболее высокой прибавкой урожайности. К таким культурам относятся все пропашные культуры: картофель, овощи, кормовые корнеплоды и др.; из технических — сахарная свекла, конопля, хлопчатник и др. Дозы навоза под эти культуры 25—40 т/га.

Хорошо оплачивают органические удобрения озимые зерновые культуры и многолетние бобовые травы. В районах Нечерноземной зоны, где применяют севообороты с посевом клевера или смеси бобовых и злаковых многолетних трав, навозное удобрение следует вносить под покровную озимую культуру. Средняя доза органических удобрений под озимые 20—25 т/га.

В северных и северо-западных холодных и влажных районах, а также на слабо окультуренных почвах применяют более высокие дозы навоза и компостов. Озимые и яровые зерновые культуры при прочих равных условиях требуют менее высоких доз навоза, чем картофель, кукуруза и кормовая свекла. Наиболее высокие дозы применяют под коноплю, силосные и овощные культуры (огурцы, капуста и др.).

На дерново-подзолистых почвах при удобрении свеклы, картофеля, кукурузы навоз и компосты следует дополнять в первую очередь минеральными азотными удобрениями, на легких песчаных и супесчаных почвах — азотными и часто калийными. Особенно это важно соблюдать при использовании торфонавозных компостов.

При сочетании навоза и минеральных туков эффективность их применения обычно существенно повышается по сравнению с раздельным внесением такого же количества удобрений на равной площади.

Преимущество сочетания органических и минеральных удобрений наблюдается не только на отдельных культурах, но и в целом по севообороту (табл. 153).

Чтобы получить высокий экономический эффект от применения органических и минеральных удобрений, их надо сочетать при внесении в первую очередь под интенсивные культуры и, разумеется, только на тех полях, куда вывозка органических удобрений не потребует больших затрат.

При внесении под яровые культуры на почвах, где азот находится в минимуме, для повышения коэффициента использования фосфора и калия навоза его целесообразно дополнять азотными минеральными удобрениями. Чем меньше аммиачного азо-

**153. Эффективность сочетания навоза и минеральных удобрений  
в севооборотах на разных типах почв**

Показатель	Дерново-подзоли- стые почвы		Черно- земы	Окультуренные почвы (зару- бежный опыт)
	легкосу- глинистые и супес- чаные	тяжело- и средне- суглини- стые		
Число опытов	7	4	23	10
Количество ротаций	11	17	36	41
Урожай на контроле (в ц зерновых единиц с 1 га):	17,1	31,8	29,0	—
прибавка урожая				
по навозу	9,4	13,2	7,9	13,1
по минеральным удобрениям	7,6	18,4	7,8	14,3
в среднем от раздельного вне- сения удобрений	8,5	15,8	7,8	13,7
по сочетанию половинных доз навоза и минеральных удобрений	10,4	17,0	8,2	14,9
Увеличение прибавки от сочетания удобрений:				
в ц зерновых единиц	1,9	1,2	0,4	1,2
в %	23	8	5	9

та содержится в навозе, тем в большем количестве требуется до-  
бавлять к нему минеральные азотные удобрения.

Важными показателями качества навоза являются отношение  
в нем углерода к азоту (C:N) и общее содержание азота. На-  
воз, в котором содержание общего азота в расчете на абсолютно  
сухую массу не ниже 2% и отношение углерода к азоту (C:N)  
не превышает 20:1, можно вносить под любую культуру без рис-  
ка, что он вызовет азотное голодание растений в начальный пе-  
риод их развития. Чем уже отношение C:N и чем выше содер-  
жание азота в навозе, тем выше удобрительное действие навоза,  
и наоборот.

#### БЕСПОДСТИЛОЧНЫЙ НАВОЗ

Дальнейшее углубление специализации и концентрации жи-  
вотноводства, переход к индустриальным методам производства  
мяса, молока и другой продукции потребовали коренных измене-  
ний в технологии содержания животных и применения навоза.  
Технологией промышленного животноводства предусматривается  
бесподстильное содержание животных. Получаемый при этом  
бесподстильный навоз (смесь кала и мочи) в отличие от тра-  
диционного подстильного имеет влажность 89—93% и обладает  
свойством текучести, что упрощает уборку его из животновод-  
ческих помещений, создает условия для полной механизации и  
автоматизации комплекса трудоемких работ с навозом.

Выход экскрементов определяют по справочным данным о ежесуточном выделении кала и мочи различными половозрастными группами животных или по количеству сухого вещества корма, расходуемого за год. Количество смеси экскрементов при обычной влажности их около 90% определяют по формуле:

$$\Gamma = \left[ (C_{\text{вр}} - \Pi) \cdot \frac{100 - K}{100} + \Pi \right] \cdot 10$$
, где  $\Gamma$  — годовой выход смеси экскрементов (в т);  $C_{\text{вр}}$  — годовой расход сухого вещества рациона (в т);  $\Pi$  — потери сухого вещества корма при кормлении (в т);  $K$  — коэффициент переваримости корма животными в пересчете на сухое вещество рациона. Обычно средний коэффициент переваримости кормов, используемых свиньями на крупных комплексах промышленного типа, близок к 0,7, а крупным рогатым скотом — 0,6.

Бесподстильный навоз, получаемый на крупных фермах и комплексах промышленного типа при скормливанием животным значительного количества концентрированных кормов, отличается повышенным содержанием питательных веществ для растений (табл. 154).

154. Химический состав экскрементов животных на крупных комплексах (средние данные ВИАУ)

Питательное вещество	Содержание (в %) в экскрементах			
	крупного рогатого скота		свиней на откорме	овец
	молодняка на откорме	коров		
Сухое вещество	14,5	10,0	9,8	28,3
Азот общий	0,77	0,43	0,72	0,95
Фосфор	0,44	0,28	0,47	0,22
Калий	0,76	0,50	0,21	0,75

В бесподстильном навозе от 50 до 70% азота находится в аммонийной форме, в которой он хорошо усваивается растениями в первый же год. Поэтому действие его на первую (удобренную) культуру несколько сильнее, чем подстильного навоза, а последствие, наоборот, слабее. Фосфор и калий навоза используются растениями не хуже, чем из минеральных удобрений.

Бесподстильный навоз по действию на урожай не уступает подстильному. Потери азота и органического вещества при хранении бесподстильного навоза значительно меньше, чем при хранении подстильного навоза (табл. 155).

Бесподстильный навоз при хранении разделяется на три слоя с образованием на поверхности плотной корки. Поэтому для надежной эксплуатации насосов, трубопроводов, цистерн-разбрасывателей и дождевальных установок его необходимо систематически перемешивать, а попадающие в него твердые включения

**155. Потери органического вещества и азота при хранении коровьего навоза (данные ВИУА)**

Вид навоза	Потери (в %) при хранении			
	зимой 4,5 месяца		летом 3 месяца	
	органиче-ского ве-щества	азота	органиче-ского ве-щества	азота
Подстилочный	31—34	36—40	35—40	35—37
Бесподстилочный	5—8	3—8	9—15	4—14

(сено, сенаж, силос и др.) измельчать. Но перемешивание неизбежно приводит к увеличению потерь азота. Однако, несмотря на это, размер их все же намного меньше, чем при хранении подстилочного навоза.

Для различных культур рекомендуются следующие примерные дозы в расчете на ежегодное удобрение бесподстилочным навозом всей площади сельскохозяйственных угодий (табл. 156).

На сеяных и природных сенокосах и пастбищах с высоким содержанием в травостое бобовых растений дозу навоза уменьшают. На пастбищах бесподстилочный навоз лучше вносить зимой, до начала вегетации или по окончании вегетации трав.

Допускается подкормка пастбищ за 25—30 дней до очередного травливания. При запоздании с подкормкой пастбищ в период вегетации ухудшается поедаемость зеленого пастбищного корма, поэтому пастбища надо подкармливать сразу же после травливания. В условиях крупных животноводческих хозяйств надо стремиться к круглогодовому внесению навоза. Не рекомендуется вносить бесподстилочный навоз зимой лишь на затопляемых площадях и склонах, где возможен прямой смыв навоза при весеннем снеготаянии.

Разбавление навоза водой приводит к значительному уменьшению концентрации питательных веществ и соответствующему увеличению объемов навозных стоков, возрастанию потребности в емкостях для хранения и транспортных средств для доставки удобрений на поле. Поэтому различные системы гидросмыва для уборки навоза из каналов навозоудаления не могут быть рекомендованы для проектирования.

Разделение навоза на фракции путем естественного отстаивания или с применением механических средств не обеспечивает получение такого осадка (твердой фракции), который по содержанию сухого вещества был бы пригоден для биотермии. Кроме того, ухудшается отношение в нем  $C:N$  и еще более  $C:NH_4$ , в результате чего действие осадка на урожай резко уменьшается. В связи с этим не следует разделять на фракции навоз, используемый для удобрения с помощью цистерн-разбрасывателей. Разделение может быть целесообразным для повышения надежности работы системы трубопроводов и дождевательных устано-

вок при использовании бесподстилочного навоза для удобрительных поливов. Для достижения надежности следует применять такие технические средства и способы разделения, которые обеспечивают высокую полноту выделения взвешенных веществ в твердую фракцию и получение ее с содержанием сухого вещества не менее 30%.

Аэрация и биологическая очистка навозных стоков в аэротенках приводят к огромным потерям азота, резкому увеличению объемов биологически очищенного фильтрата, применяемого для удобрительных поливов (до 2000 м<sup>3</sup>/га), усилению поверхностного стока и инфильтрации, загрязнению нитратами водных источников. Поэтому аэрация и биологическая очистка не могут быть рекомендованы для проектирования систем использования навоза в качестве удобрения.

**156. Примерные дозы, сроки внесения и способы заделки бесподстилочного навоза крупного рогатого скота**

Культура	Примерная годовая доза (в т/га)*	Время внесения	Способ заделки
Зерновые	35	Под основную обработку	Под плуг
Озимые на зерно	25	Зимой для подкормки	Весеннее боронование
Картофель столовый	40—60	Осенью, зимой и весной под весеннюю вспашку	Под плуг
Картофель фуражный	60—100	То же	То же
Сахарная свекла (фабричная)	50—60	Осенью, зимой и весной под весеннюю обработку	Под плуг или дисковый лушильник
Кормовая и сахарная свекла на корм скоту	80—90	То же	То же
Кукуруза на зеленый корм и силос	60—80	» »	» »
Многолетние злаковые и бобово-злаковые травосмеси на сено и зеленый корм	60—80**	Зимой и после укосов	Боронование после укосов
Луга	50—60**	То же	То же
Пастбища	50—60	По окончании вегетации, зимой до вегетации, при удобрительных поливах после стравливания	Боронование в начале вегетации
Однолетние травы	30—40	Осенью под зябь, зимой или весной под предпосевную обработку	Под плуг, дисковый лушильник
Рожь на зеленый корм	35	Под вспашку или предпосевную обработку	Под плуг, дисковый лушильник, культиватор
Рожь на зеленый корм	25	Зимой для подкормки	Весеннее боронование

\* Примерные дозы даны в расчете на не разбавленный водой бесподстилочный навоз, содержащий около 0,4% азота.

\*\* Годовая доза вносится частями в 2—3 срока.

Из способов термической обработки для обеззараживания навоза от патогенных бесспоровых микроорганизмов предпочтительнее прогревание его в течение суток при 56 °С, а также термофильное метановое сбраживание. Из химических способов возможна обработка навоза формалином.

Для экономической оценки эффективности применения бесподстилочного навоза себестоимость приготовления и внесения его в почву можно определить по следующей формуле:

$$З = \frac{N}{K_3} \cdot C_3 + \frac{N}{K_n} \cdot (0,07 + 0,25 \cdot R),$$

где  $З$  — себестоимость приготовления и внесения навоза (в руб./га);  $N$  — доза азота навоза (в кг/га);  $K_3$  — содержание азота в экскрементах (в кг/т);  $C_3$  — стоимость питательных веществ 1 т экскрементов (в руб.); 0,07 — себестоимость погрузки и разбрасывания 1 т навоза (в руб.); 0,25 — себестоимость 1 т/км (в руб.);  $R$  — расстояние транспортировки (в км);  $K_n$  — содержание азота в навозе (в кг/т).

Первое слагаемое формулы  $\frac{N}{K_3} \cdot C_3$  — стоимость питательных веществ в гектарной дозе экскрементов (кал + моча); второе  $\frac{N}{K_n} \cdot (0,07 + 0,25 \cdot R)$  — себестоимость работ по погрузке и разбрасыванию фактически использованного навоза (то есть в какой-то степени разбавленных экскрементов) вместе с затратами на его транспортировку.

Проектированию животноводческих комплексов и крупных ферм промышленного типа должна предшествовать разработка технико-экономического обоснования (ТЭО). По этому обоснованию в отношении применения навоза площадь сельскохозяйственных угодий должна быть достаточной для полного его использования в качестве удобрения. Для определения площади следует принимать максимально допустимую среднегодовую норму внесения азота навоза (не более 200 кг/га). Под отдельные культуры в севообороте норма может быть больше или меньше в зависимости от потребности их в питательных веществах и особенностей питания культур. Для расчета необходимой площади можно также пользоваться следующими нормативами нагрузки животных на 1 га сельхозугодий: коров 2, или выращиваемых и откармливаемых бычков 4, или выращиваемых и откармливаемых свиней 25.

Для разработки системы удобрения применительно к принятым системам кормопроизводства определяют валовое содержание питательных веществ в годовом выходе навоза. Его подсчитывают по количеству и химическому составу экскрементов.

Для определения годового выхода навоза в расчетах следует пользоваться следующими нормативами (разработанными ВИЖ)

### 157. Суточный выход экскрементов свиней

Группы животных	Количество экскрементов (в кг/сутки)	Влажность экскрементов (в %)
Хряки	11,1	89,4
Свиноматки:		
холостые	8,8	90,8
супоросные	10,0	91,0
с поросятами	13,3	93,1
Поросята-отъемыши массой до 30 кг	2,4	86,0
Молодняк на откорме массой:		
до 40 кг	3,5	86,6
40—80 кг	5,1	87,0
более 80 кг	6,6	87,5

выхода экскрементов от различных половозрастных групп животных при скормливании им значительного количества концентратов (табл. 157 и 158).

Приведенные в этих таблицах нормы являются ориентировочными средними, так как они не дифференцированы в зависимости от вида и количества скормливаемых кормов. Поэтому расчет годового выхода экскрементов, полученный по этим нормам, целесообразно проверить еще по формуле, приведенной на стр. 349.

Химический состав экскрементов принимают по результатам анализов местной зональной агрохимической лаборатории, а при отсутствии их — по примерным данным о химическом составе экскрементов (см. табл. 154).

Площадь сельскохозяйственных угодий, необходимую для полного использования навоза в качестве удобрения (при среднегодовой дозе азота навоза 200 кг/га и потерях из него при хранении 10% азота), определяют по формуле:  $\Pi = 0,9 \cdot \frac{A \cdot T}{20}$ , где

### 158. Суточный выход экскрементов крупного рогатого скота (при средней влажности 90%)

Группы животных	Выделение одним животным в сутки (в кг)		
	экскрементов	в том числе	
		кала	мочи
Быки-производители	40	30	10
Коровы	55	35	20
Нетели	27	20	7
Телята до 6 месяцев, на откорме до 4 месяцев	7,5	5,0	2,5
Молодняк 6—12 месяцев, на откорме 4—6 месяцев	14	10	4
Молодняк 12—18 месяцев, на откорме 6—12 месяцев	26	14	12
Молодняк на откорме старше 12 месяцев	35	23	12

П — необходимая площадь сельхозугодий (в га); А — содержание азота в навозе (в %); Г — годовой выход навоза (в т).

Применительно к принятой специализации для комплексов крупного рогатого скота следует проектировать, как правило, травяные и зернотравяные севообороты, а для свиноводческих — зернотравяные и зернопаровые севообороты (в районах недостаточного увлажнения).

При проектировании систем уборки экскрементов из каналов навозоудаления, а также способов уборки и дезинфекции помещений следует до минимума сокращать расход воды, так как при разбавлении экскрементов водой резко возрастают объемы получаемых навозных стоков:

влажность (в %)	. . . . .	90	92	94	95	96	97	98	99	99,5
объем (в %)	. . . . .	100	125	167	200	250	333	500	1000	2000

Для сокращения расхода воды и уменьшения разбавления навоза следует проектировать не круглосуточное, а регламентированное автопоение вволю.

Навозоприемники или центральный коллектор должны быть оборудованы устройствами для извлечения попадающих в навоз инородных включений и измельчения остатков корма, а хранилища — установками для перемешивания бесподстильного навоза, обеспечивающими выгрузку его в однородном (гомогенном) состоянии. Навоз от заразных животных подвергают дезинфекции по указанию ветеринарной службы, которая определяет возможность его дальнейшего использования.

Емкость хранилищ в зависимости от почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условий должна быть рассчитана на хранение навоза от 2 до 6 месяцев. Суммарный объем навозохранилищ вместе с емкостью навозоприемников, каналов и коллекторов навозоудаления должен обеспечивать хранение такого количества навоза, которое накапливается за время, когда его нельзя использовать для удобрения (осеннее или весеннее бездорожье, отсутствие свободных полей и т. д.). Емкость хранилищ проектируется в зависимости от продолжительности такого периода и выхода навоза, однако она, как правило, должна обеспечивать по меньшей мере двухмесячное хранение навоза. Потери азота при хранении бесподстильного навоза следует принимать в расчетах в среднем в размере 10%.

Во избежание послыйного намораживания бесподстильного навоза при заполнении хранилища зимой необходимо обеспечить устройство для подачи его в хранилище снизу. Закрытые емкости должны быть оборудованы принудительной вентиляцией, так как при хранении навоза в них накапливается значительное количество аммиака, метана, сероводорода, углекислого газа, индола, скатола, меркаптана и других зловонных веществ.

Вокруг хранилища следует предусматривать устройство водосточных канав во избежание разбавления навоза водой с площа-



ди водосбора. Подъездные пути к хранилищам должны иметь твердое покрытие, рассчитанное на передвижение большегрузного автомобильного транспорта и тракторов класса 3—5 т.

При проектировании систем использования навоза следует предусматривать рациональное сочетание удобрительных поливов с внесением навоза цистернами-навозоразбрасывателями на площадях, непригодных для орошения.

Бесподстилочный навоз, используемый для удобрительных поливов, можно разделять на фракции для повышения надежности работы трубопроводов и дождевальных установок. Для выполнения этой работы в проектах следует предусматривать способы и технические средства для фракционирования, обеспечивающие высокую полноту выделения органического вещества в твердую фракцию (осадок), а также получение ее с содержанием сухого вещества не менее 30%, достаточным для процессов биотермии. Разделять навоз на фракции целесообразно сразу после карантинирования.

Бесподстилочный навоз, используемый для удобрения с помощью цистерн-разбрасывателей, нецелесообразно разделять на фракции, так как это приводит к ухудшению соотношения элементов питания растений (N:P:K) и вызывает необходимость дополнения твердой фракции (осадка) азотом, а иногда и калием, а жидкой фракции — фосфором.

Следует принимать способы обработки навоза, обеспечивающие сохранность не менее 80% азота от исходного валового содержания его в экскрементах. Недопустимо проектировать так называемую биологическую очистку навоза, так как она требует огромных затрат, а обеззараживание навоза обесценивает его как удобрение.

В целях экономии затрат на строительство емкостей для хранения навоза следует проектировать по возможности круглогодное использование его, в том числе и в зимний период, на площадях со спокойным рельефом, за исключением затопляемых участков и склонов, где возможен смыв навоза талыми водами.

При агроэкономической оценке применения навоза рекомендуется принимать в расчетах суммарные прибавки урожая основной и побочной продукции всех культур севооборота от среднегодовой дозы азота навоза 200 кг/га для травяных и зернотравяных севооборотов 12,9 ц, для зернопаровых 14 ц зерновых единиц с 1 га.

При расчете дозы бесподстилочного навоза принимают во внимание потребность культуры в питательных веществах, тип почвы и содержание в ней элементов питания растений, предшественник, расстояния транспортировки, размеры накопления навоза и реакцию культур на высокие дозы удобрений. Недостающее в навозе или продуктах его обработки количество питательных элементов дополняется минеральными удобрениями. Для удобрительных поливов вегетирующих растений навоз разбавля-

ют водой в 6—8 раз непосредственно перед внесением. Во вневегетационный период его разбавляют водой в 2—4 раза.

Компостировать бесподстилочный навоз с торфом или соломой на крупных животноводческих комплексах не рекомендуется. На мелких и средних фермах при отсутствии техники для применения бесподстилочного навоза его компостируют в хранилищах или на бетонированных площадках. На 1 т навоза влажностью около 90% добавляют не более 1 т торфяной крошки влажностью не выше 60%. Потери азота при компостировании принимают равными 20%.

Для эффективного применения бесподстилочного навоза в качестве удобрения с помощью цистерн-разбрасывателей максимально допустимые затраты на хранение и все виды обработок, по данным ВИУА, не должны превышать норм, приведенных в таблице 159.

**159. Максимальные нормы затрат на все виды обработок и хранение навоза (в руб/т)**

Влажность навоза (в %)	Зернотравяные севообороты			Зернопаровые севообороты		
	коровий навоз	навоз молодняка крупного рогатого скота	свиной навоз	коровий навоз	навоз молодняка крупного рогатого скота	свиной навоз
90	0,70	1,20	2,30	0,90	1,50	2,70
95	—	—	0,80	—	—	1,10
96	—	—	—	—	—	0,30

При использовании навоза, навозных стоков или продуктов их обработки для удобрительных поливов безубыточное применение, по данным ВИУА, может быть обеспечено при соблюдении следующих максимально допустимых норм эксплуатационных затрат в расчете на 1 т подготовленных и внесенных в почву питательных веществ ( $N$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ), содержащихся в удобрительной смеси (табл. 160).

При соблюдении агрономических требований к проектированию бесподстилочный навоз может быть эффективно использован для удобрения, как правило, по следующим технологическим

**160. Максимальные нормы эксплуатационных затрат на 1 т подготовленных и внесенных в почву питательных веществ (в руб. на 1 т NPK навоза)**

Зернотравяные севообороты			Зернопаровые севообороты		
коровий навоз	навоз молодняка крупного рогатого скота	свиной навоз	коровий навоз	навоз молодняка крупного рогатого скота	свиной навоз
200	230	300	215	250	330

схемам, предусматривающим строительство как прифермских, так и полевых навозохранилищ:

1) прифермское навозохранилище — цистерна — полевое навозохранилище — цистерна-разбрасыватель — поле;

2) прифермское навозохранилище — трубопровод — полевое навозохранилище (гидрант) — цистерна-разбрасыватель — поле;

3) навозохранилище — трубопроводная сеть — дождевальная установка — цистерна-разбрасыватель — поле.

Первая схема применяется, когда нет трубопровода для перекачивания навоза из прифермского хранилища в полевое. В этом случае его выгружают из прифермского навозохранилища в цистерны-разбрасыватели, вывозят на поле и заполняют полевые навозохранилища для хранения до момента внесения в почву.

Наряду с тремя приведенными технологическими схемами в случае выхода с фермы в сильной степени разбавленных навозных стоков, а не навоза приходится как вынужденный и крайне нежелательный прием применять разделение навозных стоков на твердую и жидкую фракции. Разделение на фракции имеет смысл, если нет приспособлений для тщательного измельчения твердых включений, нет устройств для гомогенизации навоза во время хранения, а дождевальные установки не имеют эластичных распылителей. В таком случае этот прием может обеспечить более надежную работу системы трубопроводов, дождевальных установок и цистерн-разбрасывателей. Разделять стоки на фракции нужно сразу после карантинирования их в навозоприемниках.

Твердую фракцию укладывают в штабель. При влажности твердой фракции 65—67% температура внутри штабеля может достигать летом 60—65°C. Твердую фракцию используют для удобрения как и традиционный подстилочный навоз. Жидкую фракцию хранят в навозохранилищах, ее обязательно используют для удобрения, так как она содержит не менее 70% питательных веществ, имевшихся в исходном навозе до разделения его на фракции.

При работе по любой схеме солому, если ее не используют на корм скоту или для других целей, разбрасывают в измельченном виде по поверхности убранного поля. Для этого на зерновые комбайны устанавливают приспособление ПУН-5 или ПУН-6 для измельчения соломы. В этом случае комбайны работают без соломокопнителей и измельченная солома остается за комбайном на стерне. При отсутствии указанных приспособлений оставшуюся за комбайном солому подбирают, измельчают и разбрасывают по поверхности почвы косилками-измельчителями КИР-1,5 или КИК-1,4. Чтобы не снизился урожай от закрепления микроорганизмами усвояемого азота почвы, на эти поля вносят дополнительно (сверх потребности на запланированный урожай) бесподстилочный навоз или азотные минеральные удобрения из расчета 0,5—1,3 кг азота на 1 ц соломы.

По данным ЦНИИМЭСХ и научных учреждений ГДР, затраты труда на раздельное применение бесподстилочного навоза и оставляемой на поле соломы примерно в 2 раза меньше, чем на внесение их в составе подстилочного навоза или компоста.

Компостировать бесподстилочный навоз с торфом или соломой на крупных животноводческих фермах промышленного типа не рекомендуется, так как накапливается, как правило, достаточное количество навоза для удобрения всей площади сельхозугодий. Однако в ряде хозяйств из-за отсутствия техники для применения бесподстилочного навоза компостирование его может оказаться временно вынужденным приемом, обеспечивающим подготовку навоза для применения с помощью обычных погрузчиков, транспортных средств и навозоразбрасывателей.

Компостируют навоз в хранилищах и на площадках возле ферм. На 1 т торфяной крошки влажностью не выше 60% берут не более 1 т навоза влажностью около 90%. Такие компосты зимой иногда замерзают. Весной после оттаивания их перемешивают бульдозером, передвигая на другое место. В разрыхленном компосте температура быстро поднимается, и он хорошо созревает до внесения в пары, под вспашку парозанимающих культур и под зябь.

Компостирование же навозных стоков с торфом совершенно недопустимо. Для этого потребовалось бы его в несколько раз больше, чем стоков, что может быть определено расчетом по следующей формуле:  $M_t = \frac{M_k \cdot (C_k - C_n)}{C_t - C_n}$ , где  $M_t$  — необходимая масса торфа для компостирования (в т);  $M_k$  — заданное количество торфонавозного компоста (в т);  $C_k$  — содержание сухого вещества в торфонавозном компосте (в %);  $C_n$  — содержание сухого вещества в навозных стоках (в %);  $C_t$  — содержание сухого вещества в торфе (в %).

Например, для приготовления 100 тыс. т пригодного для биотермии торфонавозного компоста влажностью 70% из торфа влажностью 60% и навозных стоков, содержащих 5% сухого вещества, потребовались бы 71 429 т торфа и 28 571 т стоков. По действию на урожай компост с таким широким отношением торфа к стокам мало отличается от чистого торфа.

Для погрузки навоза, получаемого на крупных животноводческих фермах промышленного типа, наиболее пригоден высокопроизводительный погрузчик-измельчитель ПНЖ-250, который перемешивает навоз на всей глубине хранилища, измельчает твердые включения и грузит в цистерны или перекачивает по трубопроводу на расстояние 300 м. Для транспортировки и внесения бесподстилочного навоза на поверхность удобрения поля применяют цистерны-разбрасыватели РЖТ-4, РЖТ-8 и РЖТ-16. Гомогенизированный навоз, в котором предварительно измельчены все твердые включения, транспортируется по трубопроводам с помощью фекальных насосов 5Ф-6, 5Ф-12, 5Ф-9 и др.

Годовую дозу внесения навоза при удобрительных поливах следует определять для каждой культуры севооборота. Ее рассчитывают с учетом выноса питательных веществ урожаем, содержания их в навозе и коэффициентов использования этих веществ культурами. Содержание доступных питательных веществ в почве можно не принимать во внимание, за исключением высокогумусированных черноземов, обрабатываемых в севооборотах с чистым паром. На хорошо окультуренных почвах с очень высоким содержанием подвижного фосфора и обменного калия коэффициенты использования их также можно не принимать во внимание.

Годовую дозу навоза рассчитывают для каждого элемента отдельно по следующей формуле:  $D = \frac{B}{10 \cdot K \cdot C}$ , где  $D$  — годовая доза навоза (в т/га);  $B$  — вынос элемента питания растений планируемым урожаем (в кг/га);  $K$  — коэффициент использования элемента питания растений удобренной культурой;  $C$  — содержание элемента питания растений в навозе (в %).

Коэффициенты использования питательных веществ навоза культурами на разных почвах при внесении его в различные сроки неодинаковы. Для ориентировочных расчетов могут быть рекомендованы следующие коэффициенты использования элементов питания растений в первый год действия навоза при орошении: по азоту — 0,4—0,5, по фосфору — 0,3 и по калию — 0,8.

За дозу внесения не разбавленного водой навоза или навозных стоков принимается минимальная из трех расчетных величин. Недостающее количество двух других питательных элементов вносят в виде минеральных удобрений. Ниже приводим пример такого расчета для кукурузы. Допустим, в навозных стоках свиноводческого комплекса при влажности 98,4% содержалось 0,114% азота, 0,085% фосфора и 0,039% калия. С запланированным урожаем зеленой массы кукурузы 700 ц/га вынос азота из почвы составит приблизительно 170 кг, фосфора 65 кг, калия 210 кг с 1 га. Годовые дозы навозных стоков, необходимые для возмещения такого выноса питательных веществ, составят в этом случае:

$$\begin{aligned} \text{по азоту } \frac{170}{10 \cdot 0,5 \cdot 0,114} &= 298 \text{ т/га; по фосфору } \frac{65}{10 \cdot 0,3 \cdot 0,085} = 255 \text{ т/га;} \\ \text{по калию } \frac{210}{10 \cdot 0,8 \cdot 0,039} &= 673 \text{ т/га.} \end{aligned}$$

В данном примере дозу внесения навоза принимают по потребности кукурузы в фосфоре. При внесении дозы, рассчитанной по калию, в почву поступили бы избыточные количества азота и фосфора, намного превышающие потребность в них кукурузы.

Недостающие количества азота и калия, которые необходимо внести в почву в дополнение к навозу в виде минеральных удо-

брений, будут следующими (с учетом коэффициентов использования азота минеральных туков 0,5, калия 0,8):

$$\text{азота } \frac{(298 - 255) \cdot 0,114 \cdot 10 \cdot 0,5}{0,5} = 49 \text{ кг/га};$$

$$\text{калия } \frac{(673 - 255) \cdot 0,039 \cdot 10 \cdot 0,8}{0,6} = 163 \text{ кг/га}.$$

В связи с коренными изменениями отношений азота к фосфору и калию при различных способах подготовки навоза к использованию приводится еще один пример расчета годовой дозы при внесении под кукурузу фильтрата после второй ступени биологической очистки. Предположим, что содержание в нем было азота 0,01%, фосфора 0,006% и калия 0,021%. При урожае зеленой массы кукурузы 700 ц/га и таких же, как в предыдущем примере выносах NPK, годовые дозы фильтрата составят в данном примере:

$$\text{по азоту } \frac{170}{10 \cdot 0,5 \cdot 0,01} = 3400 \text{ т/га}; \text{ по фосфору } \frac{65}{10 \cdot 0,3 \cdot 0,006} = 3611 \text{ т/га};$$

$$\text{по калию } \frac{210}{10 \cdot 0,8 \cdot 0,021} = 1250 \text{ т/га}.$$

В данном случае дозу внесения навоза следует принять по потребности кукурузы в калии. Недостающие количества азота и фосфора для внесения в виде минеральных удобрений будут в этом примере следующими (с учетом коэффициента использования фосфора минеральных туков 0,2):

$$\text{азота } \frac{(3400 - 1250) \cdot 0,01 \cdot 10 \cdot 0,5}{0,5} = 215 \text{ кг/га};$$

$$\text{фосфора } \frac{(3611 - 1250) \cdot 0,006 \cdot 10 \cdot 0,3}{0,2} = 212 \text{ кг/га}.$$

Дозу навоза или стоков, рассчитанную по питательным веществам, следует дополнить чистой водой до оросительной нормы по водопотреблению, так как она, как правило, значительно меньше оросительной нормы и не обеспечивает растения достаточным количеством воды. Дренажные стоки с орошаемых площадей следует направлять на повторное орошение.

Для удобрительных поливов жидким навозом и водой используют мобильные, позиционные и стационарные дождевальные установки. Наибольшее распространение в нашей стране получила позиционная дальнеструйная дождевальная машина ДДН-70, агрегируемая с тракторами класса 3 т (ДТ-54, ДТ-74 и ДТ-75). Площадь полива этой машины с одной позиции 0,94 га, расход до 70 л/с. Расстояние между позициями 100—110 м. Производительность при норме полива 300 м<sup>3</sup>—0,78 га/ч.

При наличии стационарной оросительной сети целесообразно использовать среднеструйные дождевальные аппараты, имеющие эластичные сопла, пропускающие твердые частицы размером до 25—30 мм. Радиус действия этих аппаратов до 25 м, расход до

5 л/с, напор 25—55 м водяного столба. Автоматизированные стационарные дождевальные установки имеют преимущество при круглогодичном удобрительном поливе жидким навозом в тех районах, где не бывает сильных морозов. После каждого удобрительного полива систему трубопроводов и дождевальные установки промывают чистой водой.

В районах с сильными морозами в зимний период предпочтительнее поверхностно-самотечные способы полива, особенно по глубоким длинным бороздам, которые нарезают осенью. Для применения этого способа обычно требуется планировка орошаемых земель.

Строительство систем орошения должно быть закончено до ввода в действие животноводческих ферм, так как после заполнения хранилищ некуда будет принимать навоз и его придется вывозить только цистернами. Техника полива является предметом специальных рекомендаций Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР.

Устройство полей орошения с использованием жидкого навоза не разрешается на территориях зон санитарной охраны источников водоснабжения, минеральных источников, в зонах санитарной охраны курортов, а также на площадях с выходами на поверхность закастованных, сильно трещиноватых пород и в местах выклинивания водоносных горизонтов.

## ЗЕЛЕНОЕ УДОБРЕНИЕ

Зеленое удобрение, или сидерация,—одно из надежных средств повышения производительности почв, прежде всего дерново-подзолистых легкого механического состава.

Легкие песчаные почвы имеют широкое распространение в нашей стране. В центральных районах Нечерноземной зоны ими занято около 20% всей пашни. Крупные массивы песчаных почв имеются в республиках Прибалтики, в Белоруссии, на Украине, в Башкирии. Общая площадь под песчаными и супесчаными почвами, освоенными для сельского хозяйства, только в европейской части составляет около 15 млн. га.

На связных дерново-подзолистых почвах эффективность зеленого удобрения также очень высокая. Наиболее благоприятны для применения зеленого удобрения районы достаточного увлажнения (не менее 350 мм осадков в год), а именно Прибалтика, запад и северо-запад РСФСР, центральные районы Нечерноземной зоны, Белоруссия, Полесье Украины; весьма эффективно оно в условиях Сибири и Дальнего Востока.

Зеленое удобрение, как и навоз, содержит все вещества, необходимые для питания растений; по эффективности оно почти равноценно навозу. Это удобрение оказывает на почву многостороннее положительное воздействие: улучшает пищевой режим и физические свойства почвы, усиливает жизнедеятельность почвенных микроорганизмов. Наряду с навозом способствует созданию бездефицитного баланса гумуса и даже некоторому его накоплению.

На зеленое удобрение можно использовать различные сельскохозяйственные культуры, однако наибольшее производственное значение имеют бобовые. Эта группа культур усваивает азот из атмосферы, а их корневая система способна извлекать фосфор и другие элементы питания из труднодоступных соединений почвы.

Среди бобовых культур-сидератов основное значение имеют люпин (узколистный, желтый кормовой и многолетний), белый и желтый донники, сераделла.

Наиболее ценным является желтый кормовой люпин, который широко используют в зоне песчаного земледелия как кормовую культуру и как средство повышения плодородия почвы. Посевы кормового люпина в целом по СССР занимают площадь около 2 млн. га, в том числе 0,5 млн. га на семена; сосредоточены они в основном в Белоруссии, в Полесье Украины и в Центральном



районе РСФСР (главным образом в Брянской области). Желтый кормовой люпин предпочитает почвы легкого механического состава, тяжелые заплывающие почвы для него непригодны.

Основное применение однолетнего кормового люпина комплексное. Зеленую массу полностью или частично, в зависимости от хозяйственной целесообразности, используют на корм; отросшую отаву, стерню и корни — на удобрение. На почвах слабо окультуренных удобрительное действие стерни необходимо усиливать внесением органических и минеральных удобрений.

Желтый кормовой люпин по праву признан лучшей парозанимающей культурой песчаных почв, не менее выгодно использовать его и в качестве предшественника картофеля и других пропашных культур. В этом случае в районах с длинным вегетационным периодом люпин используют как поукосную или пожнивную культуру. Люпин с увеличенной (на 10—20%) нормой высева выращивают после ржи, вико-овсяной смеси и других рано убираемых на зеленый корм культур; поздно осенью его убирают на корм или запахивают под картофель и другие яровые культуры. Весьма перспективен в отдельных случаях и подсевной способ использования. Люпин высевают рано весной врозь дисковой сеялкой поперек рядков с последующей уборкой озимой ржи на зеленый корм.

В последние годы для южных районов Украины и Молдавии все большее значение приобретает белый кормовой люпин, который используют прежде всего как фуражную культуру.

В тех районах страны, где кормовой люпин в пару из-за короткого вегетационного периода малоурожаен, рекомендуется возделывать узколистный люпин. Это прежде всего на северо-западе европейской части (Ленинградская, Вологодская, Костромская области) и частично в Смоленской, Владимирской и Горьковской областях.

Узколистный алкалоидный люпин характеризуется неприхотливостью к условиям возделывания, хорошо растет на почвах, бедных органическим веществом, как супесчаных, так и суглинистых. Предпочитает почвы повышенной кислотности. Легко переносит недостаток подвижных питательных элементов и прежде всего фосфора, так как усваивает его из почвенных соединений. Основное место использования узколистного алкалоидного люпина — в пару под озимые культуры.

Многолетний люпин представляет интерес главным образом для северных районов страны, Дальнего Востока и Сибири. Он нетребователен к почве, холодостоек, энергичный азотфиксатор; характеризуется мощным наращиванием зеленой массы и корней. Семена вызревают повсеместно вплоть до Архангельска, коэффициент размножения семян высокий.

Многолетний люпин неприхотлив к условиям выращивания и может расти на самых различных по механическому составу почвах, лучшими для него являются связные супеси и легкие суглин-

ки. Предпочитает слабокислую реакцию почвы, но может хорошо расти в очень широком интервале рН — от 4,0 до 6,5.

По данным Белорусского НИИЗ, наиболее перспективным является зимний подсев люпина в озимую рожь с использованием его как промежуточной культуры в звене севооборота занятый пар — озимая рожь с подсевом многолетнего люпина — картофель. При таком использовании с зеленой массой и корнями многолетнего люпина на 1 га вносится 160—180 кг N, около 50 кг  $P_2O_5$  и свыше 70 кг  $K_2O$ . Этот прием дает возможность под картофель использовать частично промежуточную культуру многолетнего люпина, что позволит некоторое количество навоза вносить под зерновые культуры.

На дерново-подзолистых почвах легкого механического состава наряду с люпином в качестве сидерата хорошо зарекомендовала себя сераделла. Зеленая масса этой культуры по питательности не уступает клеверу, и ее используют на корм, а на удобрение запахивают отаву. Наибольшие посевы сераделлы размещены в Белоруссии, Полесье Украины, Прибалтике, Брянской области.

Подсеянная ранней весной в озимые, она к моменту уборки покровного растения имеет незначительную высоту и не повреждается при уборке ржи комбайном. Интенсивное отрастание сераделлы начинается лишь после уборки покровного растения, и к поздней осени урожай зеленой массы достигает 100—150 ц/га (Алексеев, 1969).

По песчановынослivosti сераделла приближается к люпину, но лучше произрастает на мелких слабоглинистых песках и супесях. Она способна расти на слабоудобренных и даже на неудобренных почвах. Однако значительно большие урожаи дает на более окультуренных почвах, ранее удобрявшихся навозом; как и люпин, предпочитает почвы с повышенной кислотностью. Сераделлу высевают как чистым посевом в основном в пару, так и под покров зерновых культур.

Исключительно ценным сидератом для Сибири, Прибалтики и Черноземной зоны РСФСР является культура донника. Это высокоурожайная кормовая культура, богатая белком и другими питательными веществами. Достоинством донника является раннее образование большой зеленой массы, мощное развитие корневой системы, высокая зимостойкость и засухостойчивость, интенсивное накопление азота, большой коэффициент размножения. Урожаи семян донника составляют 3—5 ц/га, а в отдельные благоприятные годы они могут достигать 10 ц/га. В наших опытах, проведенных на ЦОС ВИА, урожай семян донника колебался от 4 до 14 ц/га.

Распространенные виды донника — двулетние растения. Из них в культуре известен белый и желтый донник. Желтый донник дает меньший урожай зеленой массы, менее облиствен, стебли его сильнее и быстрее древеснеют. Однако противопостав-

лять один вид донника другому неправомерно, у каждого вида имеются свои достоинства, которые могут проявиться в определенной почвенно-климатической зоне.

В условиях короткого сибирского лета наиболее подходящим для возделывания в паровом клину является желтый донник. В Оренбургской области, где лето более продолжительное, для этой цели высевают белый донник. Широко распространен белый донник и на дерново-карбонатных почвах Эстонии, урожаи зеленой массы его достигают там 400—700 ц/га (Артюков, 1973).

Донник — растение засухоустойчивое, но максимальные урожаи дает в годы с достаточным увлажнением. Он нетребователен к плодородию почвы, хорошо переносит засоленность и солонцеватость почвы, растет как на суглинистых, так и на песчаных почвах, мирится со щелочностью, но очень чувствителен к кислотности почв. Кислые почвы следует обязательно известковать. Основной способ использования донника на зеленое удобрение — отавный.

Среди способов использования зеленого удобрения наибольший интерес представляют следующие: запашка на удобрение всей зеленой массы, отавный способ, посев промежуточных культур-сидератов. Выбор того или другого способа зависит от культуры, возделываемой для сидерации, почвенно-климатических условий и хозяйственной целесообразности.

Данными многочисленных опытов доказана высокая эффективность зеленого удобрения. В длительных опытах Новозыковской опытной станции на песчаной почве благодаря возделыванию однолетнего люпина в пару на зеленое удобрение урожай зерна ржи в среднем за 23 года увеличился на 5,4 ц/га, соломы — на 9,6 ц/га по сравнению с чистым неудобренным паром. Картофель, идущий второй культурой после зеленого удобрения, в среднем за 21 год дал дополнительно 53,9 ц клубней с 1 га, третья культура — овес увеличил урожай на 1,9 ц/га.

Также эффективны зеленые удобрения и на дерново-подзолистых суглинистых почвах (табл. 161).

На определенном этапе развития нашего сельскохозяйственного производства, а именно в довоенный период и в первые годы после Великой Отечественной войны сидерация сыграла весьма положительную роль. Страна не имела достаточных количеств

**161. Продуктивность звена севооборота с сидеральным паром на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве в Центральном Предуралье (данные М. И. Гуренева)**

Вид пара	Зеленое удобрение (в ц/га)	Сбор кормовых единиц (в ц/га)		
		озимой ржи, 1967—1970 гг.	яровой пшеницы, 1968—1970 гг.	клевера, 1969—1970 гг.
Черный	—	28,5	30,2	46,9
Люпиновый	400	36,2	35,0	54,0

минеральных удобрений, и необходимо было мобилизовать все ресурсы органических удобрений. В настоящее время при интенсификации сельскохозяйственного производства изменились наши представления о роли сидерации, разработаны новые приемы использования культур-сидератов, расширился их выбор.

Исследования наших и зарубежных ученых показали, что заплата зеленой массы в пару, несмотря на высокую эффективность, имеет ряд слабых сторон. Прежде всего при таком использовании зеленого удобрения поле в течение всего вегетационного периода занято культурой-сидератом, которая, по существу, не дает продукции.

Очень невысок и коэффициент использования азота из зеленого удобрения. По данным Новозыбковской опытной станции, он не превышает 27% (расчеты проводились разностным методом), с увеличением количества запаханной зеленой массы коэффициент снижался до 22% и ниже.

В нашем вегетационном опыте использование азота из зеленой массы учитывалось двумя последующими культурами: овсом и ячменем. Коэффициент использования азота из зеленого удобрения, меченного  $^{15}\text{N}$ , составил по первой дозе азота (100 мг/кг) 23,6%, по второй ( $\text{N}_{300}$  мг/кг) — 25,1%, то есть был примерно одинаковым. В полевых условиях он может быть даже ниже, что обусловлено прежде всего условиями разложения зеленой массы в пару.

Как правило, в пару люпин запахивают в фазе цветения и разложение его протекает очень быстро. При благоприятных погодных условиях через 2—3 недели после заделки молодой зеленой массы накапливается значительное количество нитратов, достигающее 150 кг/га и более.

Наши исследования, проведенные на песчаных почвах разной окультуренности, показали, что на хорошо окультуренной почве на 20-й день после заделки образовалось 156 кг нитратного азота на 1 га, на слабо окультуренной — 87 кг.

Только небольшая часть азота используется с осени молодыми растениями озимых культур, основная масса бесполезно теряется с осенне-зимними осадками. Одновременно с азотом вымываются из пахотного слоя почвы и другие ценные питательные элементы: кальций, магний, калий.

Внесение молодой растительной массы с узким соотношением  $\text{C}:\text{N}$  может способствовать также разложению почвенного гумуса. Такие опасения не без оснований были высказаны И. В. Тюриным и В. К. Михновским, которые считают, что запахивать следует более зрелую зеленую массу люпина не в фазе цветения, а в фазе блестящих бобиков и поле использовать под яровые культуры. При таком использовании почти в 2 раза повышаются урожаи зеленой массы и содержание в ней азота, уменьшаются потери азота благодаря замедленному ходу процессов минерализации органического вещества. Такой же эффект может быть

достигнут при заашке одновременно с зеленым удобрением торфа, соломы или при посеве культур-сидератов в смеси со злаковыми.

Заашка на удобрение всей зеленой массы на современном этапе развития сельского хозяйства сохраняет свое значение прежде всего для участков с очень низким плодородием, удаленных от животноводческих ферм, а также при освоении и рекультивации земель.

Исследованиями К. П. Пака было показано, что заашка сидератов может способствовать мелиорации солонцов. Благодаря заашке на зеленое удобрение тригонеллы наблюдался процесс рассолонцевания. Если исходная почва содержала до 26% поглощенного натрия, то к концу третьего года после заашки сидерата его содержание снизилось до 5,6%. Заашка сидератов может найти применение и при мелиорации глубоких песчаных почв.

Заашку всей зеленой массы следует широко рекомендовать как один из основных приемов удобрения садов и цитрусовых плантаций. Зеленое удобрение наряду с другими органическими способствует лучшему росту плодовых деревьев, усилению плодоношения, большей устойчивости к заболеваниям. Площадь сада, которая в первую половину вегетации содержится под чистым паром, во второй половине лета, особенно в конце его, целесообразно занимать различными культурами, чтобы уменьшить приток азота к молодым растущим побегам. В результате этого приостанавливается их рост, ускоряется созревание древесины, повышается зимостойкость деревьев.

Основное требование при выборе культуры-сидерата и способа использования зеленого удобрения сводится к тому, чтобы не создавать конкуренции за почвенную влагу и питательные вещества между деревом и сидеральной культурой.

В зоне достаточного увлажнения в качестве сидератов могут быть использованы различные бобовые и злаковые культуры, как яровые, так и озимые. По мнению Е. А. Алексеева, в этих условиях прежде всего должны найти применение на зеленое удобрение многолетние люпины и донники. Высокоэффективными сидератами в садах признаны горчица, фацелия, горох или вика с овсом.

Перспективно использование отавы бобовых на зеленое удобрение. Интерес к такому приему возрос с появлением в производстве кормового люпина. Изучение комплексного использования (на корм и удобрение) начато в нашей стране в 1937 г. на Новозыбковской опытной станции Ф. Ф. Юхимчуком. Высокая эффективность этого приема обусловлена прежде всего тем, что при заашке небольших количеств органического вещества достигается наиболее полное использование азота. В опытах М. С. Жукова коэффициент использования азота люпина при заашке всей массы был равен 13,9%, отавы—34,4%, стерни и корневых остат-

жков — 69,8%. При отрастании отавы люпина повышается активность клубеньковых бактерий, удлиняется период их жизнедеятельности, благодаря чему увеличивается содержание азота в надземной массе и корнях отавы.

В условиях Белоруссии и Украины, то есть в районах с длинным вегетационным периодом, при влажной погоде после скашивания отава может быть запахана под озимые культуры, в центральных и более северных районах — под яровые.

Использование отавы под яровые возможно и в районах с недостатком влаги, в этом случае наиболее полно используются осенние осадки. Изучение этого приема в Предуралье показало, что на достаточно окультуренной дерново-подзолистой почве количество запаханной отавы в среднем за 5 лет составило 310 ц/га, что обеспечило увеличение продуктивности звена севооборота на 43 ц кормовых единиц с 1 га, или на 33%, в сравнении с звеном, включающим чистый пар. На песчаной почве продуктивность четырехпольного севооборота увеличилась на 32 ц кормовых единиц с 1 га, или на 26% (Гуренев, 1974).

Однако большая зависимость отрастания отавы от условий погоды, прежде всего от осадков, и ряда других факторов является отрицательной стороной отавного способа и делает этот прием неустойчивым.

Другим весьма эффективным приемом является запашка на удобрение высокой стерни. Было предложено скашивать люпин не в середине лета, как при отавном способе, а непосредственно перед посевом озимых культур на высоком срезе и на удобрение запахивать стерню и корни люпина. На почвах, достаточно окультуренных, этот прием может оказаться почти таким же эффективным, как и запашка на удобрение всей зеленой массы.

По данным Новозыбковской опытной станции, в среднем за 4 года урожай озимой ржи по запашке всей зеленой массы (369 ц/га) составил 21,1 ц/га, а по высокой стерне (убрано на корм 198 ц/га) — 20,9 ц/га; урожай картофеля — соответственно 280 и 267 ц/га.

Изучение действия стерни люпина на картофель в условиях Подмосковья свидетельствует о целесообразности использования люпина не только как парозанимающей культуры, но и как предшественника яровых культур, в частности картофеля. При таком использовании увеличивается урожай картофеля, заметно повышается его крахмалистость. Особенно значительное повышение урожая достигается при запашке высокой стерни с полным минеральным удобрением.

Прибавка урожая от запашки высокой стерни люпина в сочетании с внесением  $N_{30}P_{60}K_{90}$  составила 59 ц/га по сравнению с запашкой стерни озимой ржи; содержание крахмала увеличилось на 0,8%, а сбор крахмала — на 11 ц/га (Савина, 1972).

На окультуренных почвах действие обычной низкой стерни люпина также может быть довольно высоким. Как показали ис-

следования, оно равноценно в среднем внесению на 1 га 50 кг минерального азота (Хабарова, 1970).

Перспективной формой использования сидератов являются посевы их в качестве промежуточных культур. Ценность таких посевов заключается в том, что они не занимают самостоятельного поля, а возделываются в промежутке между основными культурами. Промежуточные культуры при использовании их на удобрение положительно влияют на баланс органического вещества в почве, при недостатке навоза и других органических удобрений становятся одним из основных источников органических удобрений.

В последние годы во многих странах, в том числе и в СССР, значительно расширяются посевы зерновых культур. В отдельных районах насыщение севооборота зерновыми может достигать 70—80%. Введение промежуточных посевов в специализированные севообороты в значительной степени предотвращает снижение урожаев зерновых и одновременно в зависимости от нужд хозяйства способствует решению кормовой проблемы и проблемы баланса органического вещества в почве. В опытах Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева (Лошаков, Иванова, 1975) проводили исследования по насыщению полевых севооборотов зерновыми культурами до 75—100% с использованием промежуточных кормовых и сидеральных культур. Введение таких севооборотов, внесение оптимальных норм минеральных удобрений способствовали увеличению выхода зерна и значительному повышению общей продуктивности севооборота.

Промежуточное зеленое удобрение можно применять почти на всех полях, освобождающихся после озимых и ранних яровых зерновых культур, под которые не подсевают многолетние травы и не планируется отводить их в качестве предшественников озимых. Особенно широко промежуточные посевы могут внедряться в южных районах нашей страны с теплой продолжительной осенью: в Западном Полесье и Лесостепи Украины, Прикарпатье, Средней Азии, на Северном Кавказе, в Закавказье и других районах. Посев сидеральных культур в качестве промежуточных является там основной формой использования сидератов. Урожай зеленой массы в годы с достаточным увлажнением может достигать 200—300 ц/га. В более северных районах нашей страны можно практиковать подсевные культуры, зеленую массу которых запахивают под пропашные и яровые зерновые.

Среди бобовых культур для посева их в качестве промежуточных рекомендуются люпин (Прибалтика, БССР, Центральный район Нечерноземной зоны), донник (Нечерноземная зона, Урал, Сибирь), шавдар, александрийский клевер (орошаемые районы Средней Азии, Поволжья, Краснодарского края).

Для песчаных почв прекрасным уплотнителем посевов является сераделла. Использовать подсевную сераделлу лучше на участках с близким залеганием грунтовых вод. Среди однолетних

бобовых растений сераделла — единственная культура, которую можно возделывать при подсеве в зерновые культуры. Подсевную сераделлу запахивают обычно под яровые культуры, чаще под картофель. На рыхлой песчаной почве Новозыбковской опытной станции урожай картофеля по навозу без зеленого удобрения составил 168 ц/га, по навозу и подсевной сераделле — 229 ц/га. Запашка подсевной сераделлы в среднем за 2 года увеличивала урожай моркови на 30 ц/га, турнепса на 46 ц/га.

В настоящее время, когда поставки удобрений сельскому хозяйству значительно увеличены, в качестве промежуточных культур рекомендуется использовать крестоцветные (белая горчица, озимый и яровой рапс, масличная редька, фацелия), урожай зеленой массы которых достигает 150—200 ц/га. Их можно повсеместно высевать в Белоруссии, Прибалтике, в областях Нечерноземной зоны, расположенных южнее линии Ленинград — Калинин — Иваново — Горький — Казань — Уфа. Возможно, что и севернее этой линии такие культуры, как белая горчица и другие с более коротким вегетационным периодом, можно успешно высевать в пожнивный период на корм и зеленое удобрение при условии обеспечения их оптимальной дозой азотных удобрений.

Быстрорастущие культуры из семейства крестоцветных: горчица белая, озимый и яровой рапс, редька масличная, озимая сурепица при внесении азотных удобрений в условиях Московской области в годы с нормальным увлажнением могут давать зеленой массы более 200 ц/га. Так, в опытах ТСХА, проведенных на дерново-подзолистой почве в 1973 г., урожай горчицы белой при внесении  $N_{90}P_{45}K_{90}$  составил 238,5 ц/га, озимого рапса — 238,8 ц/га. Удвоенная доза азота повысила урожай зеленой массы горчицы и рапса соответственно до 341 и 370,2 ц/га (Черенков, 1974).

В условиях Московской области урожай картофеля по сидеральным пожновым культурам увеличивался на 19,4—27,3%, а от внесения навоза в дозе 20—25 т/га — на 15—23%. В последствии урожай второй культуры овса или ячменя возрастал на 12—14%. Урожай озимой пшеницы при запашке сидератов под парозанимающую вико-овсяную смесь увеличивался на 23—32%, а по навозу (20 т/га) — на 21%. В целом общая продуктивность севооборота увеличивалась на 18—20% (Лошаков, 1975).

В опытах, проведенных на Гомельской областной сельскохозяйственной опытной станции (1973—1977 гг.), от запашки пожновых сидератов (узколистный люпин, пелюшка, яровая и озимая вика, озимый рапс, горчица, масличная редька, фацелия) с полной дозой минеральных удобрений ( $N_{90}P_{60}K_{90}$ ) прибавка урожая картофеля в сравнении с запашкой пожновых и корневых остатков указанных сидератов и внесением той же дозы минеральных удобрений составила 25—30 ц/га (урожай на контроле 315 ц/га), зеленой массы кукурузы — 50 ц/га (на контроле 480 ц/га) и в последствии зерна ячменя и овса — 4—7 ц/га.



В последние годы на зеленое удобрение с высокой эффективностью применяют и другие культуры. Так, в совхозе им. Чкалова Черниговской области на серых оподзоленных почвах в качестве зеленого удобрения под картофель использовали озимую рожь. Прибавка урожая по сидерату составила 31 ц/га, по навозу — 37 ц/га (на контроле 221 ц/га) (Данько, Колонтай, 1978).

На песчаных почвах экспериментального хозяйства Новозыбковского филиала ВИУА (Прищеп, 1978) запашка озимой ржи и пожнивного люпина повысила урожай картофеля в сравнении с контролем на 41—44 ц/га, а при сочетании сидерата с минеральными удобрениями ( $N_{120}P_{120}K_{120}$ ) — на 102—115 ц/га. Содержание крахмала в клубнях картофеля по зеленому удобрению увеличивалось в среднем на 0,4—0,5%.

Высокое действие зеленого удобрения отмечается и на кукурузе. В опытах Херсонского СХИ изучали эффективность пожнивных зеленых удобрений (горохо-овсяной смеси) на урожай кукурузы. В среднем за три года урожай зеленой массы кукурузы на контроле составил 339 ц/га, при запашке зеленых удобрений—476 ц/га, сидератов в сочетании с минеральными—584 ц/га. Чистый доход с 1 га составил соответственно 220, 308 и 354 руб. (Мелуа, 1974).

Однако расширение площадей под быстрорастущими пожнивными сидератами (озимым и яровым рапсом, горчицей, масличной редькой, фацелией и другими небобовыми культурами) требует большого количества минерального азота, которое не каждое хозяйство может выделить. В связи с этим на современном этапе в качестве промежуточных и пожнивных культур необходимо шире использовать бобовые культуры; многолетний и однолетний узколистый люпин, озимую и яровую вику, сераделлу и другие, которые для своего роста не требуют дополнительного внесения азотных удобрений. В условиях Белоруссии и Нечерноземной зоны с нормальным увлажнением такую функцию успешно может выполнить многолетний люпин.

По нашим расчетам, только в Белоруссии при ежегодной запашке многолетнего люпина в качестве промежуточной культуры в полях севооборота на площади 150 тыс. га (3% пашни) и при коренном улучшении суходольных лугов на площади 150 тыс. га (5% таких лугов) можно ежегодно получать дополнительно около 14 млн. т органического вещества. Если добавить к этому почти полное отсутствие потерь (под растущим многолетним люпином) элементов питания, то значение этого сидерата еще больше возрастет.

Опыты Судогодской опытной станции ВИУА, проведенные в 1975—1977 гг., показали, что на легких по механическому составу почвах по запаханному многолетнему люпину урожай картофеля повышается на 60—100 ц/га, зерна озимой ржи — на 4—12 ц/га, сена многолетних трав — на 20—30 ц/га (Алтунин, 1977).

На легких почвах большое значение имеет однолетний люпин.

При использовании этой культуры в качестве промежуточной ее высевают сразу же после уборки ранних зерновых, не позднее второй декады июля, и запахивают весной под яровые. Урожай картофеля возрастает на 40—50 ц/га, а иногда и на 70 ц/га, что равноценно действию 20 т навоза.

В условиях западной Лесостепи Украины и Прикарпатья желтый кормовой люпин, посеянный после озимых на зеленый корм, обеспечивает такой же урожай зеленой массы, как и при весеннем его посеве. На серых оподзоленных лесных почвах урожай зеленой массы люпина весеннего посева составил 374 ц/га, а после вико-ржаной смеси, убранной на зеленый корм, — 380 ц/га. На песчаных почвах более северных районов урожай зеленой массы люпина невысокий — 50—100 ц/га. Однако запашка и такого сравнительно небольшого количества зеленой массы повышала урожай картофеля на 49—55 ц/га (Алексеев, Салова, Юхимчук, 1963).

Опыты последних лет свидетельствуют о том, что эффективно сочетать запашку зеленой массы сидеральных промежуточных культур с внесением соломы. Такой прием компенсирует дефицит азота в органической массе соломы, и для ее разложения необходимо добавлять только фосфор из расчета 5—7 кг  $P_2O_5$  на 10 ц соломы. Регулярное сочетание запашки соломы и зеленой массы сидератов улучшает физические свойства почвы, усиливает ее биологическую активность и тем самым повышает урожай (Лошаков, 1971).

При узкой специализации по производству зерна, картофеля, овощей и других сельскохозяйственных культур возникает опасение почвоутомления, поражения культурных растений болезнями и вредителями, сильной засоренности полей. По данным С. А. Воробьева, В. Г. Лошакова, Г. С. Гусева (1977), запашка зеленых удобрений в 2 раза снижала количество клубней картофеля, пораженных паршой обыкновенной, и почти в 3 раза — склероциями ризоктониоза, уменьшала заболевание ячменя корневой гнилью. При использовании сидератов пожнивного посева засоренность посевов уменьшалась в 1,5—1,6 раза. В целом применение пожнивного сидерата (белая горчица) привело к увеличению урожая первых культур (картофеля и ячменя) соответственно на 24,1 и 16,6—17,5%, второй (ярового ячменя) на 7,9—11,4%.

В опытах на экспериментальной базе «Устье» Могилевской области (Довбан, 1978), где запахивали сидеральный многолетний люпин за восьмилетнюю ротацию севооборота трижды, количество сорняков уменьшилось по сравнению с фоном, где вносили навоз, более чем в 2 раза. Особенно резко уменьшается после сидерата численность таких злостных сорняков, как осот желтый, василек, ромашка, хвощ и др. Картофель по запаханному многолетнему люпину значительно меньше повреждался колорадским жуком, алкалоиды люпина токсичны для колорадского жу-

ка (Гончар, 1977). В районах хлопкосеяния введение промежуточных культур в севооборот, особенно при монокультуре хлопчатника, снижает заболеваемость хлопчатника вилтом.

Велика роль промежуточных культур в охране окружающей среды, в борьбе с водной и ветровой эрозией, в предотвращении потерь питательных элементов, вносимых в почву с удобрениями, о чем свидетельствуют многочисленные данные отечественной и зарубежной литературы.

Благоприятные условия для возделывания и использования культур-сидератов складываются в условиях орошения благодаря наличию достаточного количества тепла и влаги. По своему действию на орошаемых землях сидераты не уступают навозу, внесенному в равном по массе количестве. Почти все культуры орошаемого земледелия, независимо от почвенной разности, положительно отзываются на зеленое удобрение, но особенно высоко оплачивают затраты на него хлопчатник и рис.

Орошение — очень дорогостоящее мероприятие, поэтому для полевого земледелия необходимо выбирать наиболее рациональные формы зеленого удобрения.

В настоящее время сидераты в поливных условиях высевают только в виде промежуточных культур в позднесенний, зимний и ранневесенний периоды.

В Средней Азии, Краснодарском крае, Поволжье, в районах субтропиков при орошении рекомендуются осенние или подзимние посевы сидератов. Сеют их в сентябре — октябре, а запахивают весной следующего года.

Исследования показали, что в условиях орошения на рост сидератов и разложение зеленой массы решающее влияние оказывает влажность почвы. Эффективность сидератов находится в еще большей зависимости от наличия влаги в почве, чем действие навоза или минеральных удобрений. В связи с этим подбор сидератов для этих условий приобретает особое значение.

Люцерна — основной предшественник хлопчатника — обеспечивает заметное повышение плодородия почвы. За три года она накапливает сухой корневой массы до 50—56 т/га, в результате гумификации которой на 1 га образуется до 20—25 т перегноя и высвобождается до 500 кг биологического азота. Но климатические условия Средней Азии способствуют быстрой минерализации гумуса, происходит вымывание минеральных элементов с оросительными водами, в связи с чем урожаи хлопчатника вскоре после заделки пласта перестают увеличиваться. Введение посевов культур-сидератов может предотвратить это нежелательное явление.

Исследованиями Таджикской комплексной опытной станции (Паришкура, 1970) установлено, что лучшими сидератами являются шабдар и берсим (александрійский клевер).

Шабдар высевают непосредственно в растущий хлопчатник, вразброс, без заделки семян; норма посева 20 кг/га. Лучшие спо-

ки посева с 20 августа по 10 сентября. Шабдар отличается высокой зимостойкостью, не вымерзает даже при  $-26^{\circ}\text{C}$ . По многолетним данным Таджикской опытной комплексной станции, урожай зеленой массы ранней весной составляет 350—650 ц/га.

Запашка шабдара на зеленое удобрение обеспечивает в среднем повышение урожая хлопчатника на 9 ц/га в год запашки и на 6,6 ц/га на следующий год. Перед запашкой шабдара рекомендуются прикатывание или малование зеленой массы, дискование в перекрестном направлении. Запахивают его через 5—7 дней плугом с предплужником на глубину 30—35 см. К сожалению, зеленая масса шабдара сильно полегает, в результате чего уборка его на семена бывает затруднена.

В опытных учреждениях Средней Азии в последние годы изучали возможность использования в качестве сидерата берсима. Исследования показали, что за три укоса до 1—10 июня эта культура дает 850—1000 ц зеленой массы с 1 га, или 140—170 ц сухого сена. Первые два укоса рекомендуется использовать на корм, а последний — запахивать на зеленое удобрение.

Большой интерес представляют промежуточные посевы растений из семейства крестоцветных: рапса и сурепицы (озимой и яровой), горчицы, кормовой капусты, брюквы и т. д.

Рапс яровой при посеве 10—25 сентября к 1—20 декабря накапливает большое количество зеленой массы для запашки под зябь: 400—500 ц/га в чистом посеве и до 300—350 ц/га при посеве в растущий хлопчатник. Зеленую массу крестоцветных рекомендуется запахивать до начала массового цветения (с 25 февраля по 10 марта).

Для зимней сидерации наиболее эффективной культурой является горчица в чистом виде или в смеси с ячменем или горохом. Урожай зеленой массы этих культур составляет 300—360 ц/га, запашка ее повышала урожай хлопка-сырца на 5—7 ц/га.

Исключительно эффективным приемом является применение зеленого удобрения в рисовых севооборотах. Испытание в качестве сидератов целого ряда бобовых культур в мелиоративном поле показало, что наиболее перспективны для этой цели горох, донник и вика (Буйбулов, 1971). Урожай зеленой массы гороха составил 390 ц/га, донника — 384—399 ц/га. Наибольшее количество корней накоплено донником — 153 ц/га с содержанием в них азота 261 кг/га.

При разложении зеленой массы сидератов в почве увеличивалось количество олигонитрофильных микроорганизмов, что способствовало усилению фиксации атмосферного азота. Урожай риса при сидерации возрастал на 20—52%.

На орошаемых землях сидераты могут быть с успехом использованы и под другие сельскохозяйственные культуры — свеклу, картофель, кукурузу.

Эффективно использование культур-сидератов в орошаемых

садах. Как показали исследования последних лет, наиболее рациональны летние посевы сидератов. Изучение горчицы, гороха и озимой ржи в качестве сидератов показало, что предпочтение следует отдать культуре гороха (Билаонов, 1972).

После двух-трехлетней запашки зеленой массы гороха урожайность плодовых деревьев повысилась в среднем на 22,6%, а средняя масса плода — на 4,8% по сравнению с контрольным участком, на котором почва содержалась под чистым паром.

Весьма эффективны зеленые удобрения в садоводстве и без орошения. Исследования, проведенные БелНИИКПО, показали, что сидеральная система повышает урожай яблок в 2,6 раза в сравнении с дерновой системой, преобладающей в настоящее время в садах Белоруссии (Резвякова и др., 1978).

Молдавским НИИ садоводства, виноградарства и виноделия НПО «Кодру» (Васкан, 1975) установлено, что система содержания сада под черным паром является эффективной лишь в том случае, когда один раз в три года вносят навоз (30 т/га) или в междурядья сада ежегодно весной, летом, а во влажные годы и осенью высевают сидераты. Урожай яблок при сидеральной системе был на 33,9 ц/га выше по сравнению с паровой системой.

Изучение показало, что в условиях недостаточного увлажнения Центрально-Черноземной зоны СССР яровые сидераты неэффективны. Рост люпина, фацелии, горчицы и других при летних посевах совпадает с засушливым периодом года, в результате чего они мало образуют зеленой массы и сильно иссушают почву. В этих условиях в качестве сидератов в садах целесообразнее применять озимые культуры, развитие которых приходится на период лучшего обеспечения влагой благодаря осенне-зимним осадкам. Одним из лучших сидератов в этой зоне является смесь озимой ржи с викой. Исследования показали, что уже в первой половине мая эти посевы способны накопить на 1 га до 280—420 ц зеленой массы, запашка которой стимулирует рост и плодоношение плодовых деревьев (Рябых, 1973).

Установлена высокая эффективность зеленого удобрения и в условиях субтропической зоны. Исследования, проведенные во Всесоюзном научно-исследовательском институте чая и субтропических культур на красноземной почве, показали, что применение зеленого удобрения способствовало заметному увеличению урожая чая, плодов мандаринов и улучшало их качество. Урожай мандаринов увеличивается на 25% по сравнению с фоном  $\text{NPK} + \text{CaCO}_3$ . Возрастало содержание в плодах органических кислот и сахарозы. Урожай чайного листа был на 26% выше по сравнению с неудобренным контролем и на 15% выше, чем по фону NPK (Таварткиладзе, 1969).

Приведенные данные свидетельствуют о высокой эффективности зеленого удобрения в различных условиях, а также о необходимости детальных исследований по данному вопросу и широкого внедрения этого приема.

## МЕХАНИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Комплексная механизация подготовки и внесения удобрений является одним из основных условий их эффективного применения. За последние годы созданы и выпускаются промышленностью технические средства для выполнения многих трудоемких операций по транспортировке и внесению минеральных удобрений, известковых материалов и гипса. Сельское хозяйство получает высокопроизводительные разбрасыватели органических удобрений. Выпускаются машины для транспортировки и внесения пылевидной известняковой муки. Широкое распространение получил авиационный способ посева удобрений. Внедряются новые технологические схемы и рациональные формы организации механизированных работ.

Но наряду с этим комплексная механизация процессов применения удобрений еще не завершена. Сельское хозяйство не имеет достаточного количества машин для загрузки удобрениями, туковывсевающих аппаратов, туковых и комбинированных сеялок. Не полностью удовлетворяется потребность колхозов и совхозов в машинах кузовного типа для внесения минеральных удобрений, разбрасывателях известняковой и фосфоритной муки и др. Хозяйства не обеспечены достаточным количеством механизированных складов и оборудованием для выполнения погрузочно-разгрузочных работ с минеральными удобрениями.

В связи с этим на ближайшую перспективу ставится задача разработать и внедрить в сельскохозяйственное производство недостающие в комплексе машины для подготовки и внесения удобрений, резко увеличить сроки службы и качество их работы, найти более эффективные формы организации применения органических удобрений, а в связи с увеличением поставок минеральных удобрений в незатаренном виде особое внимание уделять развитию складского хозяйства.

**Склады минеральных удобрений и механизация складских работ.** Основным местом хранения удобрений являются склады хозяйств и пунктов химизации. В зависимости от климатических условий к началу весенне-полевых работ в них накапливается 50—60% годового потребления удобрений. В связи с этим разовую емкость их определяют из расчета полутора-двукратного годового грузооборота. Прирельсовые склады служат перевалочными пунктами и работают с пятикратным грузооборотом.

В настоящее время действуют типовые проекты прирельсовых складов разовой емкостью от 1600 до 15 000 т удобрений, а глубинных складов — от 400 до 8000 т. Для пылевидных форм удоб-

рений рекомендованы склады силосного типа разовой емкостью от 500 до 3000 т.

Для строительства в колхозах и совхозах рекомендуются типовые складские комплексы на 800—8000 т удобрений и ядохимикатов (табл. 162).

Гипросельхозпром разработал серию проектов (типовое решение 705-0-5) на складские комплексы емкостью 800, 1200, 1600, 2000 и 3000 т с применением клееных деревянных арок пролетом 18 м в складе обычных (невзрывоопасных) видов удобрений.

Типовые проекты Росгипрониисельстроя предусматривают строительство складских комплексов вместимостью от 400 до 3000 т, имеющие в своем составе склады павильонного типа с каркасом из облегченных железобетонных конструкций.

В последние годы утверждены типовые решения 705-0-2 и 705-0-3 на складские комплексы емкостью 1200, 1600, 2000, 5000 и 8000 т со зданиями арочного типа для взрывобезопасных удобрений, разработанные институтом ЦИТЭПсельхозпром.

Затраты на хранение и транспортировку удобрений составляют значительную часть общих затрат на их применение. Поэтому правильное размещение складов и определение их оптимальных емкостей имеют важное значение. При определении оптимальной емкости склада исходят из суммарных приведенных затрат на хранение и транспортировку удобрений.

В настоящее время по методике Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института по организации и экономике материально-технического снабжения сельского хозяйства, технологии хранения и использования удобрений (ВНИИМССХ) разработаны планы перспективной дислокации базовых, прирельсовых и портовых складов почти для всех областей и республик страны. Методика предполагает разработку плана размещения складов и выбор экономических схем снабжения сельского хозяйства удобрениями с учетом данных по существующим складам и возможным пунктам размещения новых складов, количеству и дислокации потребителей (хозяйств), объему и сезонности поступления и применения удобрений и др. По экономическим показателям просчитывается на ЭВМ большое число возможных схем прикрепления потребителей к складам и в результате определяется оптимальный вариант плана размещения и развития баз и складов.

На прирельсовых складах технология приема и отгрузки удобрений состоит из следующих операций: разгрузки вагона, транспортирования удобрений от вагона к месту хранения на складе с укладкой в штабель на высоту 5—6 м, забора их из штабеля с транспортированием к месту отгрузки и загрузки транспортного средства. Выгрузку незатаренных удобрений из закрытых вагонов во всех случаях осуществляют с помощью вагоноразгрузочных машин типа МВС-3М, МВС-4 и МГУ. На складах вмести-

# 162. Техническая характеристика складских комплексов

Номер типового решения и проекта склада	Вместимость склада (в т)		Размеры здания (в м)				Шаг опор (в м)	Сметная стоимость склада (в тыс. руб.)	На 1 т хранения и переработки удобный				
	общая	в том числе для ядо- хим- иков	длина	ширина	высота после- крытия	ворота (ширина X высота)			капитальные вложения (в руб.)	эксплуатационные издержки (в руб.)	прямые затраты (в руб.)	затраты труда (в чел.-ч)	
Типовое решение 705-0-1 Госгипрониишпострой													
Комплекс на 800 т													
705-1-78	615	—	30	12,0	5,4	4×4,2	6,0	98,5	6,69	13,7	0,91		
705-2-24	185	—	30,7	12,0	4,8	3×3,6	6,0	36,5					
709-137	—	—	24	12,0	5,4		6,0	45,5					
Комплекс на 1200 т													
705-1-79	940	—	36,0	12,0	5,4	4×4,2	6,0	113,6	4,95	10,26	0,64		
705-2-25	260	—	40	12,0	4,8	3×3,6	6,0	42,9					
709-137	—	—	24	12,0			6,0	54,1					
Комплекс на 1600 т													
705-1-80	1230	—	48	12,0	5,4	4×4,2	6,0	132,3	4,16	8,73	0,52		
705-2-26	370	—	46	12,0	4,8	3×3,6	6,0	53,8					
709-137	—	—	24	12,0	5,4		6,0	61,9					
Комплекс на 2000 т													
705-1-81	1350	—	60	12,0	5,4	4×4,2	6,0	150,2	3,67	7,78	0,44		
705-2-27	470	—	52	12,0	4,8	3×3,6	6,0	61,9					
709-137	—	—	24	12,0	5,4		6,0	16,6					
Комплекс на 3000 т													
705-1-84	2300	—	60	18,0	5,4	4×4,2	6,0	190	2,97	6,39	0,34		
705-1-85	700	—	51	18,0	4,8	3×3,6	6,0						
705-137	—	—	24	12,0	5,4		6,0	32,97					



*Типовое решение 705-0-5  
Гипронисельхозпрома*

Комплекс на 800 т

705-1-117	670	18	18,8	7,14	3,6×3,6
705-2-35	160	18	18,0	3,0	3×3

Комплекс на 1200 т

705-1-118	960	22,5	18,0	7,14	3,6×3,6
705-2-36	940	42,0	12,0	3,0	3×3

Комплекс на 1600 т

705-1-119	1280	27	18,0	7,14	3,6×3,6
705-2-37	320	36	18,0	3,0	3×3

Комплекс на 2000 т

705-1-120	1600	31,5	18,0	7,14	3,6×3,6
705-2-38	400	42	18,0	3	3×3

Комплекс на 3200 т

705-1-121	2600	49,5	18,0	7,14	3,6×3,6
705-2-39	600	60,0	18,0	3,0	3,0×3,0

*Типовое решение 705-0-3  
ЦИТЭПсельхозпрома*

Комплекс на 5000 т

705-1-107	4000		67,5	24,0	16,5	3,6×3,6
705-2-33	1250	250	48,0	24,0	4,8	3,6×3,6

Комплекс на 8000 т

705-1-109	6300		99,0	24,0	16,5	3,6×3,6
705-2-34	2100	400	66,0	24,0	4,8	3,6×3,6

Номер типового решения и проекта склада	Вместимость склада (в т)		Размеры здания (в м)				Шаг эпоп (в м)	Сметная стоимость склада (в тыс. руб.)	На 1 т хранения и переработки удобрения			
	общая	в том числе для «до- хими- натов	длина	ширина	высота пере- крытия	высот (ширина)Х ХХХХХ			эксплу- атационные расходы (в руб.)	прямые де- ные затраты (в руб.)	затраты тр/да (в чел.-ч)	
Типовое решение 705-0-2 ЦИТЭП-сельхозпрома												
Комплекс на 1200 т												
705-1-103	600		53,17	12,0	9,6	3,0×3,0	4,5	95,88	44,88	5,35	10,33	0,59
705-2-30	240	48	36,0	12,0	3,6	3,0×3,0	6,0					
Комплекс на 1600 т												
705-1-104	1280		62,17	12,0	9,6	3,0×3,0	4,5	103,88	36,4	4,29	8,33	0,46
705-2-31	320	64	42,0	12,0	3,6	3,0×3,0	6,0					
Комплекс на 2000 т												
705-1-105	1600		71,17	12,0	9,6	3,0×3,0	4,5	111,47	31,2	3,66	7,12	0,39
705-2-32	400	80	48,0	12,0	3,6	3,0×3,0	6,0					
Складской комплекс на 7500 т ЦНИИЭСельсхоз												
340 ПН	6300		75,3	30	11,2	3,6×3,6	4,5	882,6	60,91	5,3	11,6	0,16
705-1-7 тип 2	1200	50	30,2	24	6,0	3,0×3,0	6,0					

Примечание. По каждому комплексу в левой строке приведены номера типового проекта и характеристика склада пожаробезопасных удобрений, во второй — аммиачной селитры и ядохимикатов, в третьей — навеса для приготовления тукосмеси.

мостью до 3500 т удобрения от вагона к месту хранения транспортируют с помощью системы последовательно установленных ленточных конвейеров КЛП-400-5, С-948, ЛТ-6, ЛТ-10, ПКС-80 и др. Для штабелевания используют последний конвейер цепочки. Высота укладки удобрений с помощью указанных конвейеров, как правило, не превышает 3 м.

Для выгрузки удобрений из склада по проектам 705-1-21, 705-1-28 и др. рекомендуется следующая схема: вагоноразгрузочная машина с цепочкой связанных с ней конвейеров забирает удобрения из штабеля, транспортирует их за пределы склада и загружает в транспортное средство.

Затаренные удобрения при поступлении их на поддонах выгружают из вагона электропогрузчиками типа ЭП-103. Этими же погрузчиками доставляют поддоны к месту хранения и укладывают их в 2—3 яруса при плоских поддонах и в 3—4 яруса при стоечных.

На складах по проектам 705-1-24 на 5500 т принятая планировка и технологическое оборудование обеспечивают прием незатаренных удобрений из вагонов различного типа: крытых универсальных, специализированных с нижней разгрузкой и открытых люковых с инвентарным укрытием.

Из крытых вагонов удобрения выгружают машиной МВС-4, а из люковых полувагонов и вагонов типа «Хоппер» — самотеком в подрельсовый бункер. Из бункера удобрения подаются с помощью двух наклонных транспортеров на горизонтальный подвижный конвейер с реверсивной лентой. Передвигаясь вдоль склада, конвейер равномерно заполняет отсеки склада отдельными видами удобрений.

Затаренные удобрения из вагона выгружают с помощью электропогрузчика. Мешки с удобрениями предварительно укладывают на поддоны, которые транспортируют электропогрузчиком в зону действия крана-штабелера, который устанавливает их в 3—4 яруса на высоту до 4,5 м.

Пересыпное устройство, установленное на стыке наклонных транспортеров, позволяет отгружать удобрения из вагона непосредственно в автотранспорт, минуя складское здание.

Полная механизация работ осуществлена в крупных складах на 7500 и 10 000 т. В дополнение к системе ленточных конвейеров там предусмотрены мостовой грейферный кран и отгрузочный бункер с рыхлителем.

Незатаренные удобрения из подрельсового бункера системой наклонных конвейеров подают на горизонтальный транспортер с двухбарабанным сбрасывателем, установленный с боковой стороны отсеков. Распределение материала по отсеку осуществляют с помощью мостовой кран-балки, оборудованной грейферным ковшом емкостью 1,5 или 2,5 м<sup>3</sup>, грузоподъемность 5 т.

Для отгрузки незатаренных удобрений из склада в транспортные средства используют специальные отгрузочные бункера,

установленные непосредственно в отсеке удобрений. Они оснащены рыхлящим устройством и отгрузочным транспортером.

В складах по проектам 705-1-39 и 705-1-40 для механизации работ применены кран-балка с грейферным ковшом и продольный боковой ленточный конвейер.

В складах по проектам 705-1-55 (56, 57, 58), 705-1-62 (63), 705-1-75, 705-1-88 (89), 705-1-95 и 705-1-123 продольный транспортер размещен под коньком крыши. Такое же размещение продольного транспортера принято в складах арочного типа по проектам 705-1-76, 705-1-90 (91, 92), 705-1-100 и 705-1-116.

В складских комплексах хозяйственных и межхозяйственных пунктов химизации, построенных по проектам Росгипрониисельстроя и рассчитанных на применение мобильного оборудования, незатаренные удобрения, доставляемые обыкновенными самосвальными средствами, выгружают непосредственно в отсек склада. Для укладки удобрений в бурт высотой до 3 м можно использовать тракторные погрузчики с поворотной стрелой ПЭ-0,8Б, а также погрузчик ПГ-0,2 или экскаватор ЭО-2621 в комплекс с ленточным конвейером ПКС-80. В этих случаях буртование удобрений осуществляется непрерывно, по мере завоза их транспортными средствами.

Увеличение высоты бурта удобрений с 3 до 5 м позволяет на 20—30% увеличить вместимость склада и таким образом снизить затраты на хранение удобрений. В связи с этим для буртования удобрений на такую высоту необходимо иметь специальную машину.

Для приема незатаренных удобрений, доставляемых на склад автомобильными и тракторными поездами с боковой разгрузкой груза, в составе складского комплекса под навесом для приготовления тукосмесей предусмотрен специальный отсек размером 6×12 м и с боковой стенкой высотой 1,5 м. Отсюда удобрения доставляют к месту постоянного хранения (в отсек склада) фронтальными погрузчиками ПФ-0,75. Для крупных складов, рассчитанных на 2000 и 3000 т средств химизации, можно рекомендовать использование автономного фронтального погрузчика ТО-6 грузоподъемностью 1,8 т, выпускаемого предприятиями Минст-ройдормаша.

Иногда удобрения доставляют на склад на поддонах, являющихся принадлежностью базового перевалочного склада. На глубинном складе удобрения с этих поддонов перегружают на свои поддоны, а при отсутствии их укладывают непосредственно в штабель. Из-за возможного повреждения мешкотары перепрузку их с поддона следует осуществлять в предназначенном для них отсеке склада.

При доставке мешков с удобрениями без поддонов на глубинном складе их укладывают на поддоны. При отсутствии последних мешки из транспортных средств укладывают непосредственно в штабель при помощи ленточного конвейера ПКС-80.

Для измельчения слежавшихся удобрений используют стационарные установки из двух измельчителей ИСУ-4. Производительность их достигает 10—12 т/ч. Так как измельчительная установка размещена под самостоятельным навесом между складами аммиачной селитры и обычных удобрений, то слежавшиеся в отсеке удобрения доставляют к ней и загружают с помощью фронтальных погрузчиков ПФ-0,75, ТО-6 и др. Измельченные установкой удобрения подают конвейером ПКС-80 в бункер туко-смесительной установки, кузов транспортного средства или разбрасыватель удобрений.

Машины для приготовления тукосмесей устанавливают под навесом перед складами аммиачной селитры и обычных удобрений, а при отсутствии навеса — на прискладской площадке с твердым покрытием. Загрузка различных видов удобрений в отсеки бункеров смесительных устройств производится фронтальными погрузчиками ПФ-0,75 и ТО-6.

В складах арочного типа на 800—3200 т по типовым решениям 705-0-2 и 705-0-5 для заправки удобрений в склад применяют стационарное оборудование. Удобрения, доставляемые автосамосвалами и тракторными прицепами, выгружают в приемный бункер нории. По проектам ЦИТЭПсельхозпрома бункер и нижняя головка нории заглублены в грунт на 2,5 м. Размеры бункера позволяют принимать удобрения от автомобилей-самосвалов ЗИЛ-ММЗ-554, ЗИЛ-ММЗ-555, ЗИЛ-ММЗ-4502, ГАЗ-САЗ-53Б и тракторных прицепов грузоподъемностью до 6 т.

На перспективу предусмотрен вариант склада без заглубления нории в грунт. В этом случае подача удобрений в приемную камеру нории будет осуществляться специальным бункером-перегрузателем, принимающим удобрения из самосвальных транспортных средств.

От нории удобрения распределяются по отсекам склада горизонтальным конвейером, оборудованным плужковым сбрасывателем. Максимальная высота отсыпки буртов удобрений 5 м.

Технология подготовки удобрений к внесению в складских комплексах ЦИТЭПсельхозпрома аналогична описанной для складов по проектам Росгипронисельстроя. Для приготовления тукосмесей по технологии ЦИТЭПсельхозпрома предусматривается строительство специального навеса, под которым устанавливают измельчитель и тукосмесительную установку. Погрузочно-разгрузочные работы предусмотрено выполнять погрузчиком ПФ-0,75.

**Аппараты для разбросного внесения минеральных удобрений.** Разбросное внесение удобрений выполняется машинами, оборудованными аппаратами броскового типа. В мировой практике наибольшее распространение получили одно-двухдисковые центробежные аппараты с вертикальной осью вращения дисков, лопастный ротор с горизонтальной осью вращения и маятниковые аппараты. В нашей стране выпускались также машины с упругокольцевыми метателями.

Центробежными дисковыми аппаратами оборудованы выпускаемые в последние годы отечественные разбрасыватели минеральных удобрений. При использовании горизонтальных дисковых аппаратов ширина захвата и качество распределения удобрений по поверхности почвы определяются непрерывностью, характером и местом схода с диска струи удобрений, что, в свою очередь, зависит от места подачи, плотности, площади и конфигурации сечения поступающей на диск струи, а также от параметров самого диска (диаметра, числа оборотов, высоты, числа и расположения лопаток и др.). Но так как в практических условиях невозможно сделать переменными все указанные факторы, на машинах для внесения удобрений качество рассева материала регулируют, как правило, изменением места подачи его на диск.

Существенным преимуществом аппаратов центробежного действия является их простота, надежность в эксплуатации и значительная дальность разброса удобрений, обеспечивающая большую ширину захвата удобрителей. Но наряду с этим на качество внесения удобрений центробежными аппаратами неблагоприятное действие оказывают изменение рельефа местности и скорость ветра. Равномерность распределения туков по поверхности почвы в сильной степени снижается из-за невозможности точно выдержать заданное расстояние между последовательными проходами агрегатов.

В производственных условиях машины с дисковыми центробежными аппаратами по ширине захвата рассеивают удобрения, как правило, неравномерно. Большая часть удобрений попадает на среднюю часть удобряемой полосы, а к краю количество их, постепенно уменьшаясь, сходит на нет. Для более равномерного распределения удобрений по поверхности почвы их вносят с перекрытием краев. Чем больше перекрытие, тем меньше ширина рабочего захвата и выше качество распределения удобрений по поверхности почвы. Аммиачную селитру рассеивают с допустимой неравномерностью внесения 25% при рабочей ширине захвата машины 1-РМГ-4 не более 7—8 м, при вдвое большем захвате агрегата (14 м) неравномерность внесения возрастает в 3,5 раза (табл. 163).

По мере улучшения физико-механических свойств удобрений и выпуска высококонцентрированных сложных форм в гранулированном или крупнокристаллическом виде задача конструкторов по созданию аппаратов для точной дозировки и равномерного внесения удобрений в значительной мере будет облегчена. В настоящее время в научно-исследовательских институтах изучают аппараты пневматического и вибрационного действия.

**Механизация работ по вывозке и внесению минеральных удобрений.** Вывозку и внесение минеральных удобрений можно организовать по одной из следующих схем:

доставку удобрений на поле осуществлять обычным автотранспортом или тракторными прицепами, заправку бункера туко-

**163. Зависимость качества внесения удобрений машиной I-PMГ-4 от ее рабочей ширины захвата (данные Б. А. Главацкого)**

Ширина захвата (в м)	Неравномерность распределения аммиачной селитры (в %) при дозах (в кг/га)			
	150	200	250	300
14	—	—	—	83,1
13	68,2	60,0	64,9	77,0
12	58,5	50,2	55,0	69,3
11	52,2	49,0	51,5	44,8
10	43,5	39,3	30,6	40,7
9	36,3	37,1	28,3	35,8
8	29,5	32,9	26,9	23,9
7	24,2	24,8	22,3	21,0
6	18,8	17,5	18,0	17,9
5	12,1	13,8	12,9	11,1

вых ящиков, кузовов разбрасывателей — вручную или тракторными грейферными погрузчиками, внесение — любыми существующими машинами;

вывозку на поле и заправку машин для внесения выполнять автозагрузчиком сеялок, внесение — туковыми сеялками и разбрасывателями всех типов;

вывозку удобрений на поле и перегрузку в разбрасыватели осуществлять автосамосвалом с предварительным подъемом платформы типа САЗ-3502, внесение — кузовными машинами типа I-PMГ-4;

удобрения вывозить специальными автомобильными перегрузчиками, вносить самоходными разбрасывателями;

вывозку и внесение удобрений осуществлять одной машиной — разбрасывателями типа КСА-3, I-PMГ-4 и др. Последний вариант носит название прямоточного и является экономически выгодным при малых расстояниях вывозки (табл. 164).

**164. Предельные радиусы эффективного применения разбрасывателей минеральных удобрений при работе по прямоточной схеме (данные ВНИИМССХ)**

Дозы удобрений (в ц/га)	Предельно рациональный радиус доставки и внесения удобрений (в км) при работе		Дозы удобрений (в ц/га)	Предельно рациональный радиус доставки и внесения удобрений (в км) при работе	
	I-PMГ-4	КСА-3		I-PMГ-4	КСА-3
1	11,0	—	9	2,0	14,0
2	6,0	—	10	2,0	13,0
3	4,4	29,0	11	1,9	12,5
4	3,4	24,0	12	1,85	12,0
5	2,9	20,0	13	1,75	11,5
6	2,7	18,0	14	1,65	11,0
7	2,4	16,5	15	1,6	10,9
8	2,3	15,0			

При наличии достаточного количества машин, хорошем состоянии дорог и невысоких дозах удобрений бесперевалочный способ можно рекомендовать и при большей удаленности удобряемых полей от склада. В хозяйствах, в которых имеются кузовные разбрасыватели типа I-РМГ-4, применяют преимущественно бесперевалочный способ. С увеличением выпуска автомобильных разбрасывателей повышенной грузоподъемности доля бесперевалочной технологии возрастет еще больше, так как для этих машин она выгодна при больших расстояниях вывозки.

Высокая сменная выработка разбрасывателей удобрений и транспортных машин достигается при работе их групповым методом. Сущность его заключается в том, что несколько агрегатов для внесения удобрений работает на близко расположенных участках или в пределах одного поля (участка) и обслуживается группой транспортных средств. При правильном количественном соотношении транспортных средств и разбрасывателей удобрений работа их может быть организована с минимальными простоями.

В тех случаях, когда удобрения разбрасывают кузовными машинами I-РМГ-4, необходимое число автозаправщиков для их обслуживания определяют путем деления времени рабочего цикла разбрасывателя на время цикла перегрузчика или заправщика. Основным способом движения агрегатов при внесении минеральных удобрений является челночный.

При работе с широкозахватными агрегатами и малой длине гона может быть применен загонный способ обработки поля (с перекрытием краев удобряемых полос). Этот способ сокращает ширину поворотной полосы по сравнению с челночным способом на  $\frac{1}{3}$ .

Установке разбрасывателей центробежного действия (НРУ-0,5, I-РМГ-4) на норму высева предшествует определение рабочей ширины захвата машины. Для различных видов удобрений ее находят по данным заводских инструкций или путем замера на поверхности почвы ширины той части удобряемой полосы, на которой рассеивается основная масса удобрений.

Когда машины предполагается использовать для внесения смеси, составляемой из удобрений различного гранулометрического состава, рабочую ширину захвата принимают по тому компоненту, который рассеивается более узкой полосой. Например, если рассеивается смесь гранулированного суперфосфата с мелкокристаллическим хлористым калием, то машина должна работать лишь с таким захватом, который соответствовал бы ширине посева хлористого калия.

В последние годы практикуется применение растворимых минеральных удобрений с поливной водой. К дождевальным машинам и установкам выпускаются специальные гидравлические подкормщики, с помощью которых осуществляется дозирование подачи удобрений, их растворение (перемешивание) и выпуск раствора в дождевальную магистраль.



Для вывозки удобрений от склада до поля применяют любые имеющиеся в хозяйстве транспортные средства. Но целесообразнее иметь машины, предназначенные не только для вывозки, но и для последующей заправки удобрениями туковых и комбинированных сеялок.

Для разбросного внесения минеральных удобрений в почву наряду с туковыми сеялками РТТ-4,2 и СТШ-2,8 выпускаются разбрасыватели I-РМГ-4, КСА-3, НРУ-0,5.

Навесной разбрасыватель удобрений НРУ-0,5 агрегируется с тракторами 0,6, 0,9 и 1,4 тс. Состоит из рамы, бункера, дозирующего и разбрасывающего устройств механизма привода. Бункер в сечении трапецевидный. На передней и задней стенках его имеются сводоразрушители. Сверху бункер закрывается предохранительной сеткой, а в неблагоприятную погоду — тентом. Дозирующее устройство выполнено в виде двух поворотных клапанов, фиксируемых рычагом и зубчатым сектором. Норма высева регулируется изменением величины щели между кромкой клапана и днищем бункера, а также изменением амплитуды колебаний высевающей планки. При колебательном движении высевающей планки удобрения выталкиваются из бункера через переднюю и заднюю высевные щели и попадают на два разбрасывающих диска, снабженных лопатками желобчатого профиля. Машина снабжена ветрозащитным устройством.

Разбрасыватель удобрений I-РМГ-4 представляет собой сменный кузов на шасси прицепа I-ПТС-4. Состоит из кузова с рамой, транспортера с приводом, механизма прижима ролика и дозирующего, разбрасывающего и ветрозащитного устройств.

Дозирующее устройство выполнено в виде заслонки, перемещающейся в пазах заднего борта кузова.

Для регулировки разбрасывания удобрений предусмотрена возможность изменения места схода струи удобрений на диск путем перемещения направителей в продольном направлении и перестановки внутренней стенки направляющих рукавов.

Производительность агрегата достигает 12 га/ч чистой работы.

Автомобильный разбрасыватель удобрений КСА-3 выполнен в виде сменного кузова на шасси автосамосвала ЗИЛ-ММЗ-555 и предназначен для транспортировки и разбрасывания минеральных удобрений и извести. По устройству и принципу действия аналогичен разбрасывателю I-РМГ-4. Состоит из кузова, разбрасывающего и дозирующего устройств, транспортера, гидропривода, ветрозащитного устройства и приводного колеса. Дозирование подачи материала осуществляется заслонкой.

Рассев удобрений производится на I—II передачах автомобиля. Рабочая скорость до 15—20 км/ч. Производительность 15—17 га/ч чистой работы.

Для припосевного внесения минеральных удобрений под зерновые культуры применяют зернотуковые сеялки СЗ-3,6 и созданные на их базе комбинированные узкорядные сеялки СЗУ-3,6 и зернотуковые СЗП-3,6. Рядковое внесение удобрений под зерновые культуры возможно также комбинированными льяными сеялками СУЛ-48, СЛН-48А и др.

Разрабатывается самоходная машина с комплектом сменных агрегатов для внесения удобрений. Достоинствами ее являются низкое удельное давление на почву, высокая проходимость и маневренность, которые позволяют использовать ее на ранневесенней подкормке озимых культур и лугопастбищных угодий.

Зернотуковая гидрофицированная сеялка СЗ-3,6 предназначена для посева зерновых и зернобобовых культур с одновременным внесением в рядки минеральных удобрений. Оборудована устройством автоматического контроля за работой высевających аппаратов и сошников. Имеется дистанционная связь между сеяльщиком и трактористом.

Одна сеялка агрегируется с трактором класса 0,9 и 1,4 тс, а несколько сеялок при помощи сцепок СП-15 и СП-16 — с тракторами более высокого класса (3 и 5 тс).

Основными узлами сеялки являются: рама, опорноприводные колеса, зернотуковые ящики, механизм подъема сошников, передаточный механизм, сошники и семяпроводы. Катушечные высевające аппараты имеют регулируемое дно, что позволяет использовать их на посеве крупных семян зернобобовых культур. Для высева туков применен штифтово-катушечный аппарат.

Сошники двухдисковые, угол раствора дисков 10°. По требованию заказчика сеялка может оборудоваться комплектами двухдисковых сошников с ребордами для посева семян риса на глубину 1—3 см, а также полозовидных для посева на глубину 1—2 см. Норма высева семян регулируется изменением длины рабочей части катушки и скорости вращения вала высевających аппаратов.

Аппараты приводятся в движение от опорно-ходовых колес через систему цепных и зубчатых передач. На вале зерновых аппаратов можно получить четыре скорости вращения, на вале туковых — шесть.

Зернотуковая узкорядная сеялка СЗУ-3,6 разработана на основе базовой модели сеялки СЗ-3,6. На ней установлены двухдисковые сошники с углом раствора 18° на шариковых подшипниках и с делительной воронкой для узкорядного сева. Посев проводится с междурядьем 7,5 см с одновременным внесением в рядки гранулированного суперфосфата.

Прессовая зернотуковая сеялка СЗП-3,6 предназначена для рядового посева семян зерновых и зернобобовых культур с одновременным внесением гранулированных минеральных удобрений и прикатыванием почвы в засеянных рядках. Для

эксплуатации в нормальных климатических условиях вместо прикатывающих катков устанавливается приспособление, включающее два пневматических опорноприводных колеса. Сеялка гидрофицирована и оборудована устройством автоматического контроля и сигнализации. По устройству и принципу работы высевających аппаратов не отличается от сеялки СЗ-3,6.

Зернотравяная комбинированная сеялка СЗТ-3,6 создана на базе основной модели СЗ-3,6. Предназначена для одновременного или раздельного посева семян зерновых культур с междурядьем 150 мм, семян трав с междурядьем 75 мм и гранулированных минеральных удобрений. Рядковое удобрение и междурядные подкормки пропашных культур проводят туковыми севающими аппаратами, установленными на посевные и посадочные машины и культиваторы для междурядной обработки почвы.

Ранневесеннюю подкормку озимых культур азотными удобрениями осуществляют при помощи самолетов и вертолетов, оборудованных специальной аппаратурой.

Рассев удобрений проводят последовательными заходами самолета или вертолета на участок и перекрытием краев удобряемых полос. Рассевают удобрения при равномерной скорости и небольшой высоте полета аппарата. Качественное распределение удобрений достигается при правильном наложении полос и соблюдении установленной высоты полета (табл. 165).

**165. Рекомендуемая высота полета самолета АН-2 при различных направлениях и скорости ветра**

Условия рассева	Высота полета при расसेве удобрений самолетом АН-2 (в м)				
	гранулированных удобрений	аммиачной селитры	суперфосфата	сульфата аммония	хлористого калия и калийной соли
Штиль, встречный и попутный ветер	50	20	20	15	20
Боковой ветер:					
до 2 м/с	50	20	15	15	15
» 4 м/с	30	20	10	10	10
более 4 м/с	20	15	10	10	10

С увеличением высоты полета самолета ширина рассева удобрений увеличивается, но только до определенной величины. Гранулированный суперфосфат рекомендуется рассевать с высоты 50 м, при работе на этой высоте производительность самолета повышается благодаря сокращению времени на развороты. Аммиачную селитру (гранулированную) рассевают с высоты 20 м, суперфосфат и калийную соль — 20 м, сульфат аммония — 15 м. Высота рассева удобрений в значительной мере зависит от силы

и направления ветра. С учетом влияния ветра рекомендуется вносить поправки к высоте полета.

Место для загрузки самолета отводят рядом с боковой границей летного поля с таким расчетом, чтобы самолет после загрузки мог взлететь без продолжительного руления по аэродрому и воздушная струя от винта самолета не попадала на загрузочную площадку. Для вертолетов оборудуют взлетно-посадочные площадки размером не менее  $15 \times 30$  м. Площадка под взлетно-посадочную полосу должна быть ровной, с уклоном не более  $10^\circ$ .

Для загрузки самолетов типа АН-2 выпускается гидрофицированный ковш ПСМ-30 к тракторному стогометателю СНУ-0,5. Приспособление состоит из рамки-удлинителя, ковша, предохранительной стойки и механизма отвода стоек. Ковш в виде бункера формы усеченного конуса. Дном бункера служит заслонка, управляемая с помощью гидроцилиндра. Предохранительные стойки служат для фиксации стрелы с ковшом в верхнем поднятом положении. Этим устраняется опасность повреждения самолета и обслуживающего персонала.

Загрузчик самолетов ЗУН-1,5 агрегатируется с тракторами класса 3 тс, оборудованными погрузчиком-бульдозером ПБ-35. Представляет собой бункер со шнеком и наклонным элеватором.

Удобрения забирают ковшом погрузчика и перекидным способом сбрасывают в бункер загрузчика. Бункер заполняют за 1—2 цикла машины. Производительность загрузчика до 45 т/ч чистой работы.

Для качественного рассева удобрений необходимо, чтобы каждый последующий проход самолета над удобренными участками осуществлялся параллельно предыдущему, причем на одинаковом, заранее установленном расстоянии друг от друга и при постоянной высоте полета. Параллельность удобряемых полос достигается с помощью сигнальщиков на рабочем участке. Хозяйства, в которых работают авиационные подразделения, должны постоянно контролировать качество (правильность расхода удобрений на 1 га, равномерность рассева и др.) и проводить учет выполняемых работ.

**Доставка и внесение жидких удобрений.** Доставка водного аммиака в хозяйстве осуществляется через промежуточные прирельсовые склады. Основным местом хранения водного аммиака являются глубинные склады объединений Союзсельхозхимии. Для каждого хозяйства емкость склада рассчитывается на хранение 35—40% годового потребления аммиачной воды.

Для перевозки водного аммиака от прирельсовых складов до глубинных, а также для вывозки его на поле используют специальные автоцистерны АЦА-3,85-53А емкостью 3850 л на шасси автомобиля ГАЗ-53А.

На вывозке жидких удобрений от глубинного склада до поля, кроме автоцистерн, применяют тракторные заправщики-жижераз-

брасыватели ЗЖВ-1,8 (РЖ-1,7) и заправщики ЗУ-3,6. В практике применения водного аммиака в ряде республик и областей страны получили распространение полевые передвижные резервуары вместимостью 5—25 м<sup>3</sup>.

Доставка безводного аммиака с завода до хозяйства осуществляется как непосредственно, так и через промежуточные прирельсовые склады. В этих случаях в общую технологическую линию может включаться также хранение безводного аммиака на глубинных складах. Прямая доставка аммиака с завода до хозяйства возможна в радиусе до 70—80 км.

Вывозку и внесение аммиака можно организовать по короткой схеме (аммиаковоз — машина для внесения) или по развернутой (аммиаковоз — промежуточное хранилище — машина для внесения). При второй схеме рабочая группа (звено) комплектуется транспортным средством, промежуточной компенсирующей емкостью и несколькими машинами для внесения аммиака. В качестве емкости-компенсатора может быть использован тракторный или автомобильный прицеп-заправщик. Его вместимость должна соответствовать емкости цистерны транспортной машины. При совместной работе транспортных средств, заправщиков и машин для внесения аммиака максимальная выработка достигается правильным соотношением их в рабочей группе. В производственных условиях наибольшее распространение получила схема с использованием полевых промежуточных заправщиков.

Для транспортировки жидкого аммиака используют заправщики на шасси автомобиля ЗИЛ-130 и автомобильного прицепа ГKB-817, а также полуприцепную цистерну МЖА-6-130В1 (емкостью 6 т) к автомобильному тягачу ЗИЛ-130В1.

Вносят жидкий аммиак машинами АБА-0,5 и АБА-0,5 М, агрегатируемыми с тракторами класса 1,4—3 тс. Это прицепные одноосные тележки, на которые устанавливают резервуар, дозирующий насос и распределительную систему. В отличие от известных машин чехословацкого и французского производства они оборудованы навеской, аналогичной трехточечной навесной системе трактора.

Для хранения, транспортировки и внесения растворов и суспензий ЖКУ используют имеющиеся в хозяйстве склады и машины, предназначенные для водного аммиака, а также приспособленные опрыскиватели, разбрасыватели жидких органических удобрений и др.

Для перевозки жидких комплексных удобрений разработаны и испытываются полуприцепы-цистерны модели 9653 грузоподъемностью 9 т к автомобилю ЗИЛ-130В1-76, модели 9677 грузоподъемностью 13 500 кг к автомобилю КамАЗ-5410, модели ОЗТП-9625 грузоподъемностью 4500 кг к тракторам класса 14 кН и модели ОЗТП-9654 грузоподъемностью 9000 кг к тракторам класса 30 кН. Полуприцепы оборудованы модельными стеклопластиковыми емкостями вместимостью по 3200 л, имеют гидравличе-

скую коммуникацию с соединительной и запорной арматурой, указатели уровня, продувочное устройство и бачок для чистой воды. У тракторных полуприцепов-цистерн в состав рабочего оборудования входит центробежный насос Х45/31Д-С-У4.

В настоящее время проходят испытания опытные образцы машин грузоподъемностью 2,5 т, 5 и 10 т, предназначенные для внесения ЖКУ поверхностно с помощью штанги, а также локально в почву специальными культиваторами.

**Доставка и внесение известковых материалов.** Известняковую муку к местам применения доставляют автотранспортом или в железнодорожных вагонах. Заводы-изготовители известняковой муки имеют силосные склады, из которых пылевидный материал с помощью пневматических устройств перегружают в специальные вагоны-цементовозы или автоцистерны.

Для приема и сохранения извести в периоды бездорожья или в перерывах в его вывозке служат прирельсовые склады. К настоящему времени разработаны склады силосного типа для хранения пылевидных материалов емкостью от 500 до 3000 т. Доставку извести на поле и рассев ее осуществляют по бесперегрузочной схеме с помощью одного агрегата или при плохой проходимости по полю автоцементовозов и автомобильных разбрасывателей, ее вносят тракторным агрегатом.

В настоящее время выпускаются специальные разбрасыватели пылевидных материалов АРУП-8 на базе автоцементовоза С-927 и РУП-8 — цистерна-полуприцеп с подкатной тележкой, предназначенная для работы с тракторами класса 3 тс.

Автомобильный разбрасыватель АРУП-8 представляет собой автопоезд: седельный тягач ЗИЛ-130В1 и одноосная цистерна-полуприцеп. Тягач оборудован компрессорной установкой РК-611 с инерционным масляным воздухоочистителем. Цистерна оборудована загрузочным, распыливающим и запорным устройствами, а также двумя ступенями очистки воздуха. Для равномерного распределения материала в цистерне в ее верхней части имеется труба с щелевой прорезью. Самозагрузка цистерны осуществляется с помощью рукава и заборного сопла. Материал засыпается в цистерну воздушным потоком благодаря вакууму, создаваемому ротационным компрессором при работе в режиме вакуум-насоса. Машину можно загружать и с помощью других загрузчиков пневматического действия. О заполнении цистерны сигнализирует специальный мембранный датчик.

Разгрузку проводят путем аэрирования материала воздухом, проходящим через пористое днище (перегородку) цистерны. Распыливающее устройство состоит из поворотного рукава и наконечника с регулируемой выходной щелью. К машине придаются распыливающие наконечники двух типов: со щелью размером 110 и 50 мм. В зависимости от направления ветра и способа движения агрегата материал выбрасывается через распыливающее устройство вправо или влево от направления движения машины.

Поворот рукава в ту или другую сторону осуществляется пневмоцилиндром.

Управление процессом загрузки, перегрузки и рассева удобрений осуществляется из кабины водителя. Для улучшения проходимости машины при работе в полевых условиях она снабжена колесами на арочных шинах.

Тракторный разбрасыватель пылевидных удобрений РУП-8 агрегатируется с тракторами Т-150К и К-700, оборудованными компрессорной установкой и седельным устройством.

Местные известковые материалы (туф, мергель) добывают карьерным и послойно-поверхностным способами. В первом случае после вскрышных работ известьсодержащую породу разбрасывают уступами с помощью экскаваторов. Послойно-поверхностным способом разрабатывают месторождения с малой мощностью породы. После удаления верхнего слоя почвы породу снимают слоями толщиной до 10 см и собирают в бурты. На этих работах используют бульдозеры и скреперы. В некоторых случаях материал может подвергаться дальнейшей переработке (грохочению, сушке) для доведения его до кондиции. Вывозку и внесение местных известковых материалов осуществляют машинами, предназначенными для работы с органическими и минеральными удобрениями.

**Механизация приготовления и внесения органических удобрений.** Приготовление и внесение органических удобрений относятся к наиболее трудоемким работам.

С созданием крупных животноводческих комплексов, основанных на применении индустриальных форм организации труда и полной механизации и автоматизации работ, в перспективе резко увеличится накопление и внесение жидких органических удобрений.

Традиционная система получения, а также применения обычного навоза также получит дальнейшее развитие. Одним из направлений научно-технического прогресса в этой области нужно считать создание более производительных машин для подготовки, транспортирования и внесения различных компостов и навоза обычной влажности.

Хранение, вывозку и внесение подстилочного навоза можно организовать по одной из следующих схем:

а) хранение в навозохранилищах у животноводческих ферм, вывозка и разбрасывание прицепами-разбрасывателями удобрений без дополнительной перевалки удобрений на поле;

б) хранение у животноводческих ферм, вывозка автосамосвалами в период внесения удобрений с перегрузкой на поле в низкорамные навозоразбрасыватели, внесение указанными разбрасывателями;

в) хранение у животноводческих ферм, вывозка заблаговременно автосамосвалами и тракторными прицепами с раскладкой

удобрений в кучи по 2—3 т, разбрасывание роторными разбрасывателями типа РУН-15А;

з) вывозка навоза на поле в течение всего стойлового периода по мере накопления его на животноводческих фермах, хранение в полевых буртах (штабелях) по 40—100 т, развозка из буртов и разбрасывание по поверхности почвы прицепами-разбрасывателями удобрений. Этот способ может иметь вариант внесения удобрений роторными разбрасывателями. В таких случаях удобрения из буртов предварительно развозят и раскладывают в кучи.

Прямоточный способ (а) вывозки и внесения удобрений можно применять в каждом хозяйстве, но при расстояниях вывозки удобрений не более чем 1—2 км. С увеличением емкостей прицепов-разбрасывателей до 9—16 т и при хорошем состоянии дорог это расстояние можно увеличить до 3 км.

В настоящее время наиболее распространен способ хранения органических удобрений в полевых буртах с последующей развозкой и разбрасыванием их из буртов обычными навозо-разбрасывателями. Этот способ является вынужденным и практикуется из-за недостатка транспортных средств, навозохранилищ и разбрасывателей. С повышением культуры применения удобрений и улучшением оснащенности хозяйств техникой в применении органических удобрений будут преобладать способы вывозки их в период внесения (способы а и б).

Для механизации процессов приготовления и применения обычного навоза промышленность выпускает различные погрузчики транспортных средств и машины для внесения. Из поставляемых сельскому хозяйству погрузочных средств наибольшее распространение получили погрузчики к гусеничным тракторам класса 3 тс и погрузчики с поворотной стрелой к тракторам МТЗ «Беларусь».

Погрузчик-бульдозер ПБ-35 служит для погрузки в транспортные средства навоза, компостов, извести и других сельскохозяйственных материалов. Разгрузка материала может осуществляться фронтальным или перекидным способом. С бульдозерной лопатой этот погрузчик можно использовать на штабелевании органических удобрений и выполнении земляных работ.

Навешивается на тракторы ДТ-54А и Т-75. Состоит из поперечной и задней балок, двух боковин, стрелы подъема, гидроцилиндров подъема стрелы и поворота ковша, бульдозера и гидросистемы. Гидросистема состоит из редуктора, двух насосов, гидрораспределителей, масляного бака и силосных цилиндров.

В комплект сменного оборудования машин входят прямая и обратная лопаты для производства земляных работ, погрузочный ковш, вилы для органических удобрений и крановая подвеска.

Экскаватор ЭО-2621 одноковшовый полноповоротный выполнен на базе трактора ЮМЗ-6Л. Рабочее оборудование состоит из прямой и обратной лопаты и бульдозера. Может поставляться с дополнительным грейфером и грузоподъемным краном.



Предназначен для выполнения земляных работ, погрузки навоза и других сыпучих материалов.

Погрузчик-экскаватор ПЭ-0,8 предназначен для погрузочно-разгрузочных и земляных работ в сельском хозяйстве. Оборудован сменными рабочими органами: грейфером, когтями, экскаваторной лопатой и крюком. Навешивается на трактор МТЗ-50. Погрузчик состоит из рамы, колонки, стрелы, механизма грейфера, опорных домкратов, бульдозера, редуктора и гидросистемы. Гидросистема погрузчика приводится в движение от двух параллельно работающих масляных насосов. Насосы получают вращение через редуктор от ВОМ трактора. Улучшенная модификация погрузчика выпускается под маркой ПЭ-0,8Б.

В последние годы появились высокопроизводительные погрузчики ПФП-1,2 и ПФП-2. Первый из них навешивается на тракторы ДТ-75 и ДТ-75М. Производительность его до 125 т/ч чистой работы. Погрузчик ПФП-2 агрегируется с трактором Т-150 и работает фронтально-перекидным способом. Максимальная грузоподъемность его 2500 кг, производительность 140 т/ч.

Разработан погрузчик-экскаватор автономный ПЭА-1,0 грузоподъемностью 1 т, производительностью до 150 т/ч.

Для перевозки органических удобрений используют тракторные прицепы и автосамосвалы общего назначения. Самосвальные тракторные прицепы выпускаются различной грузоподъемности и назначения. Большая часть прицепов и полуприцепов оборудована гидравлическими тормозами автомобильного типа.

Органические удобрения разбрасывают специальными тракторными прицепами-разбрасывателями или разбрасывателями роторного типа из куч. Выпускались прицепы-разбрасыватели 1-ПТУ-4 грузоподъемностью 4 т и КСО-9 грузоподъемностью 9 т. На Украине и в южных районах Нечерноземной зоны применяют роторные разбрасыватели удобрений из куч РУН-15А и РУН-15Б. Поставлены на производство низкорамный разбрасыватель органических удобрений РПН-4 и прицепы-разбрасыватели ПРТ-10 и ПРТ-16 грузоподъемностью соответственно 10 и 16 т.

Прицеп-разбрасыватель 1-ПТУ-4 агрегируется с тракторами класса 1,4 тс, оборудованными гидрокрюком, разъемом для подключения электрооборудования и приводом тормозной системы. Основными узлами машины являются: рама, платформа (кузов), двухручьева цепочно-планчатый транспортер, съемное разбрасывающее устройство, кулисный механизм, ходовая часть с тормозной системой, электрооборудование и механизм привода. В качестве разбрасывающего органа применены два барабана диаметром по 350 мм. При снятом разбрасывающем устройстве можно использовать в качестве саморазгружающегося прицепа.

Разбрасыватель органических удобрений РТО-4 монтируется на шасси тракторного прицепа 2-ПТС-4-733

и агрегируется с тракторами Т-28Х4 и МТЗ «Беларусь». Предназначен для применения в районах хлопководства.

На машине применено съемное разбрасывающее устройство, состоящее из барабана и шнека. Барабан измельчает (фрезерует) массу удобрений и перебрасывает ее на шнек, расположенный сзади и несколько выше барабана. Норма внесения удобрений регулируется изменением скорости движения цепочно-планчатого транспортера.

Прицеп-разбрасыватель КСО-9 агрегируется с тракторами I-150К и К-701. По принципу действия и устройству основных узлов не отличается от разбрасывателя РТО-4. Для перемещения удобрений к разбрасывающим органам применен двухручьевого цепочно-планчатый транспортер, который приводится в движение от ВОМ трактора через редуктор и два параллельных кривошипно-шатунных и храповых механизма. Разбрасывающее устройство состоит из барабана-рыхлителя и разбрасывающего шнека.

Роторный разбрасыватель удобрений РУИ-15А предназначен для разбрасывания удобрений из куч 2—3,5 т, расположенных на поле в определенном порядке. Состоит из разбрасывателя удобрений роторного типа и валкователя. Агрегируется с гусеничными тракторами класса 3 тс общего назначения.

Валкователь навешивается спереди трактора по типу бульдозерной лопаты и опирается в работе на два катка. Состоит из двух боковых и задней наклонной стенок. Нижняя часть задней стенки открыта и образует дозирующее окно. По бокам его и сверху установлено по две заслонки, предназначенные для изменения проходного сечения окна. Верхние заслонки проходят в направляющие отверстия рамы и закрепляются пружинами-фиксаторами.

Над дозирующим окном установлен активный рабочий орган, представляющий собой толкатель с гидравлическим приводом. Конец толкателя совершает колебательное движение по центру дозирующего окна. Шток приводного гидроцилиндра совершает возвратно-поступательное движение с помощью золотникового распределителя.

Разбрасыватель состоит из двух роторов, корпуса, механизма передачи и двух опорных катков. Корпус сварной, передняя плоскость его наклонена к поверхности земли под углом 75°.

Для разбрасывания роторной машиной удобрения раскладывают в кучи с расстоянием между рядами куч, равным ширине захвата машины (15—20 м). Удовлетворительное качество распределения удобрений по поверхности почвы достигается при работе машины с захватом 12—15 м. Расстояние между кучами в ряду определяется нормой внесения удобрений и массой куч.

Разбрасыватель органических удобрений низкорамный прицепной РПН-4 предназначен для

приема обычного навоза и компостов непосредственно из автосамосвалов на поле и разбрасывания их. Состоит из кузова с боковым откидным бортом, поперечного подающего транспортера, разбрасывающего барабана, передаточного механизма, ходовой части и системы подъема кузова. При загрузке удобрениями кузов опускается на землю, а откидной борт служит как бы въездным мостиком для автосамосвала. После сбрасывания навоза из кузова самосвала на платформу разбрасывателя кузов поднимается и начинается процесс разбрасывания удобрений. На разбрасывателе применен боковой выброс материала. Грузоподъемность разбрасывателя 4 т, агрегатируется с тракторами класса 1,4 и 3 тс.

Разбрасыватель жидких органических удобрений РЖУ-3,6 выпускается взамен автожижеразбрасывателя АНЖ-2. Предназначен для забора, транспортировки и разлива по поверхности почвы навозной жижи и жидкого навоза. Его можно использовать также в качестве заправщика машин для внесения водного аммиака и ядохимикатов, а также для перевозки технической воды.

Состоит из цистерны, перемешивающего устройства, заправочной штанги с заборным захватом и механизмом поворота, привода, напорно-вакуумной системы и разливочного устройства.

Для забора жидкости или ее вылива в цистерне создается вакуум или избыточное давление с помощью ротационно-вакуумного насоса РВН-40/350.

Емкость цистерны 3240 л, нормы внесения жидкости 5—25 т/га. При глубине забора жидкости 3 м цистерна заполняется за 3—7 мин.

Вылив жидкости в зависимости от нормы внесения происходит за 3—6 мин. Масса съемной цистерны 1350 кг, а с автомобилем 3960 кг.

Разбрасыватель жидких органических удобрений РЖТ-8 агрегатируется с трактором Т-150К. Основными узлами являются: цистерна, ходовая часть, распределительное устройство, напорно-переключающее устройство, вакуумные насосы с гидроприводом и редуктор. Цистерна имеет два люка, один из которых предназначен для загрузки удобрений с помощью специальных погрузочных средств. Заправочная штанга состоит из стойки и заборного рукава.

Подъем, опускание и поворот штанги осуществляются с помощью гидроцилиндров.

Напорно-переключающее устройство состоит из насоса, нагнетательного рукава и заслонки. Насос выполнен в виде заключенного в корпус диска с двумя лопатками специального профиля.

Заслонка передвигается с помощью гидроцилиндра и попеременно направляет удобрения на разливочное устройство или обратно в цистерну для перемешивания массы. Разливочное уст-

ройство дефлекторного типа оборудовано отражательным щитом. Изменением положения щитка регулируют распределение удобрений по поверхности почвы.

Загрузку машины осуществляют с помощью двух ротационно-вакуумных насосов и системы воздухопроводов. Емкость цистерны 8140 л.

Высота забора жидкости от нулевого уровня 3,1 м. Цистерна заполняется за 5—8 мин. Норма внесения жидкости изменяется в пределах 10—30 т/га. Масса машины 3640 кг.

Созданы машины для внесения жидких органических удобрений РЖТ-16 грузоподъемностью 15 т и РЖТ-24 грузоподъемностью до 24 т.

Химизация сельского хозяйства является определяющей частью его технического прогресса и могучим ускорителем экономики сельскохозяйственного производства. В сельском хозяйстве, как в одной из важнейших отраслей материального производства, широкое применение химии наряду с механизацией означает не только техническую, но и экономическую революцию. Как фактор интенсификации химизация сопровождается увеличением производственных затрат на гектар площади. Однако увеличение затрат компенсируется более высокой оплатой единицы труда при одновременном снижении себестоимости получаемой продукции. Только прирост применения минеральных удобрений за восьмую и девятую пятилетки дал снижение себестоимости сельскохозяйственной продукции на 2,6 млрд. руб. и на 1,8 млрд. руб.

В среднем 1 т действующего вещества минерального удобрения сберегает 211 чел.-ч живого труда в сельском хозяйстве, что означает для 1978 г. при поставке 18,4 млн. т питательных веществ экономию в рабочей силе в сельском хозяйстве 1,6 млн. круглогодичных работников.

Один человеко-час труда в производстве минеральных удобрений благодаря повышению урожайности экономит около 13 чел.-ч труда в сельском хозяйстве. С учетом влияния механизации сельскохозяйственного производства и улучшения агротехники можно считать, что в ближайшей перспективе применение минеральных удобрений способно в 2—3 раза повысить производительность труда в растениеводстве с учетом затрат труда на приготовление и внесение удобрений.

В десятой пятилетке (1976—1980 гг.) более трети валового сбора продукции земледелия в стране, половина прироста производства зерна, кормов и другой продукции получены благодаря применению удобрений и химических мелиорантов.

Многочисленные опыты показали, что в нашей стране достигается высокая оплата удобрений приростом урожая. В условиях производства эффективность применения минеральных удобрений отражена в разработанных и утвержденных нормативах. В более благоприятные по погодным условиям годы окупаемость удобрений может превышать нормативную. По зерновым культурам и хлопчатнику такое превышение наблюдалось в 1966—1978 гг. (табл. 166).

На кислых почвах экономически выгодно известкование с учетом длительности его действия. Каждая тонна внесенной извест-

**166. Уровень внесения минеральных удобрений и их окупаемость прибавкой урожая зерновых культур и хлопчатника в среднем по СССР**

Культура	Годы	Внесено питательных веществ (в кг/га посева)	Урожайность (в ц/га)	Оплата 1 кг питательных веществ урожаем	
				в кг	в % к нормативной
Зерновые	1966—1970	22	13,7	4,3	100
	1971—1975	38	14,7	4,5	105
	1976—1978	50	17,0	5,4	123
Хлопчатник	1966—1970	325	24,1	4,1	109
	1971—1975	365	27,3	4,5	125
	1976—1978	407	28,5	4,2	124

ти дает не менее 6—7 ц кормовых единиц прибавки урожая с 1 га. Стоимость прибавки урожая от 1 т извести составляет 25—30 руб., затраты же на ее применение — 8—10 руб. Следовательно, каждый рубль, израсходованный на известкование, окупается 2,6—3,8 руб., а в более интенсивных севооборотах — до 5 руб. дохода. Все затраты на известкование обычно окупаются прибавками урожая первых двух культур.

Так как известкование почв является фактором долговременным, его эффективность определяют по совокупному эффекту, который исчисляется с учетом степени отзывчивости каждой культуры, входящей в состав севооборота.

Расчет коэффициентов отзывчивости можно проследить на следующем примере (табл. 167).

**167. Отзывчивость культур на внесение извести в севообороте экспериментального хозяйства «Устье» Белорусского научно-исследовательского института земледелия**

Культура севооборота	Прибавка урожая по сравнению с урожаем на известкованном фоне (в ц/га)	Коэффициент перевода в зерновые единицы	Прибавка урожая (в ц зерновых единиц с 1 га)	Коэффициент отзывчивости
Озимая рожь	3,6	1,0	3,6	0,05
Клевер на сено первого и второго годов пользования	78,0	0,40	31,2	0,46
Лен (волокно)	3,4	3,85	13,1	0,20
Озимая рожь	8,8	1,0	8,8	0,13
Картофель	20,0	0,25	5,0	0,07
Ячмень	2,0	1,00	2,0	0,03
Овес	5,0	0,80	4,0	0,06
Итого	—	—	67,7	1,00

Примечание. Под озимую рожь внесено 40 т навоза, 2 ц фосфорно-калийных удобрений и 8 т извести на 1 га.

Данные взяты из книги «Экономика использования удобрений». М., «Колос», 1974.

Коэффициент отзывчивости можно использовать для того, чтобы экономически обоснованно относить затраты по известкованию на себестоимость культур в севообороте.

Дальнейшее повышение эффективности удобрений в значительной мере будет достигаться благодаря улучшению их ассортимента. Основным направлением в этом является повышение концентрации питательных веществ туков в результате увеличения удельного веса сложных удобрений и производства туко-смесей.

Затраты на использование удобрений, характеризующихся более высокой концентрацией, значительно ниже: карбамида по сравнению с аммиачной селитрой на 40%, двойного суперфосфата по сравнению с простым на 37%, хлористого калия по сравнению с калийной солью на 25%. Повышение концентрации питательных веществ в минеральных удобрениях сопровождается уменьшением физического объема туков на то же количество питательных веществ, что дает экономию расходов при использовании их в сельском хозяйстве. Так, если в 1980 г. оставить ассортимент удобрений на уровне 1975 г., то объем поставок возрос бы на 15 млн. т (в физическом весе) при соответствующем перерасходе труда и средств на транспортировку, хранение и внесение удобрений. По данным НИУИФ, дополнительные расходы в промышленности с изменением структуры поставок туков составят 461 млн. руб., но эти затраты компенсируются в сфере использования удобрений. Затем с достижением среднего содержания питательных веществ в удобрениях 44% и благодаря улучшению их ассортимента в сравнении с 1975 г. экономия в сфере обращения и применения туков составит 1,3 млрд. руб. по капиталовложениям и свыше 600 млн. руб. по эксплуатационным издержкам. Эта экономия превысит дополнительные расходы в сфере производства туков в связи с изменением их структуры и концентрации и обеспечит годовой экономический эффект в размере 5—6 млн. руб. на 1 млн. т поставляемых туков. Изменение ассортимента по расчетным поставкам создаст экономию в затратах труда в количестве около 150 млн. чел.-ч.

Использование комплексных сложных и смешанных форм удобрений в сравнении с односторонними и туко-смесями из них сопровождается снижением затрат на хранение, транспортировку, внесение и соответственно повышением их экономической эффективности (табл. 168).

Экономия труда и средств по стране с учетом уменьшения объемов использования туков благодаря повышению их концентрации характеризуется следующими данными (табл. 169).

Увеличение среднего содержания питательных веществ к 1985 г. на 10% против уровня 1975 г. позволит уменьшить потребность в железнодорожном подвижном составе и автотранспорте в 1,5 раза и на 20—25% сократить расходы по доставке, хранению и внесению.

**168. Эксплуатационные издержки на использование комплексных удобрений и тукосмесей аналогичного состава**

Удобрение	Состав N : P : K	Затраты на хранение, транспортировку и внесение (в руб. на 1 т питательных веществ)	Затраты по комплексным удобрениям (в % к тукосмеси односторонних удобрений)
Аммофос из апатитового концентрата	11,5:49:0	22,05	75,7
Тукосмесь	11,5:49:0	29,12	100,0
Нитроаммофос	23:23:0	26,37	70,9
Тукосмесь	23:23:0	37,19	100,0
Нитрофоска	12:12:12	30,72	89,8
Тукосмесь	12:12:12	34,22	100,0
Нитроаммофоска	14:14:16	25,82	79,7
Тукосмесь	14:14:16	32,37	100,0
Нитрофос	23:17:0	30,75	77,3
Тукосмесь	23:17:0	39,75	100,0
Диаммонийсульфат гранулированный	19:49:0	17,84	56,7
Тукосмесь	19:49:0	31,47	100,0

Жидкие формы удобрений также имеют экономические преимущества. Производство жидких азотных удобрений позволяет на 30—40%, а жидких комплексных — на 20—25% снизить капиталовложения в промышленности и на столько же себестоимость. При использовании 100 тыс. т азота в жидком аммиаке по сравнению с аммиачной селитрой экономится около 1 млн. чел.-ч труда, или 3,2 млн. руб. на капиталовложениях и до 2 млн. руб. на эксплуатационных расходах. В сравнении с аммиачной водой в расчете на 1 т азота применение его дает экономии 38 руб., а по сравнению с аммиачной селитрой — 76 руб. Наибольшие эко-

**169. Экономическая эффективность повышения концентрации удобрений по отношению к базовой (25% в 1965 г.)**

Показатель	1970 г.	1975 г.	1980 г.	1985 г. (расчет)
Среднее содержание питательных веществ (в %)	28	33,1	40	45
Уменьшение объемов использования удобрений (в млн. т)	4,4	16,7	36,8	59,5
Экономия затрат (в млн. руб.):				
капиталовложения	209	789	1736	2805
эксплуатационные издержки	71	272	600	969
приведенные затраты на 1 т питательных веществ (в руб.)	114	430	947	1530
Затраты труда:				
всего (в млн. чел.-ч)	17	64	141	228
на 1 т туков (в чел.-ч)	0,46	1,24	2,06	3,13



номические преимущества безводный аммиак имеет при использовании в зоне производства аммиака.

Для характеристики уровня обеспеченности растений питательными веществами ВИУА и ЦИНАО разработаны нормативы затрат минеральных удобрений на единицу прибавки урожая и соответственно установлена оплата удобрений прибавкой урожая. На одиннадцатую пятилетку (1981—1985 гг.) в среднем по СССР эти нормативы по культурам характеризуются следующими данными (табл. 170).

При установлении нормативов затрат минеральных удобрений с научно обоснованным соотношением питательных веществ и при распределении фондов минеральных удобрений по культурам и зонам страны важное значение имеют показатели участия отдельных питательных веществ в формировании общей прибавки урожая при совместном их применении. При обобщении опытных данных доля участия азотных, фосфорных и калийных удобрений в формировании общей прибавки урожая для основных культур по сельскохозяйственным зонам установлена в следующих размерах (табл. 171).

Изучение эффективности последовательно возрастающих доз удобрений показывает, что вносимые в производстве дозы удобрений под сахарную свеклу, хлопчатник, лен-долгунец, картофель, овощи и бахчевые культуры близки к максимальным по нормативам или даже превосходят их; в то же время зерновые и кормовые (в некоторых республиках и многолетние насаждения) в производстве получают дозы значительно ниже минимальных по нормативам. Установлено, что при возрастании дозы удобрений до уровня минимальной нормативной урожай повышается пропорционально увеличению дозы. Дальнейшее увеличение дозы связано с резким повышением затрат на единицу прироста урожая. Следовательно, наибольшая эффективность может достигаться при внесении удобрений в первую очередь под те культуры и в тех районах, где дозы удобрений в производстве далеко не достигают минимальной нормативной дозы.

Ежегодное внесение в 1976—1978 гг. в среднем по 16,3 млн. т удобрений обеспечивало дополнительное получение зерна 34 млн. т, сахарной свеклы 28 млн. т, кукурузы на силос 38 млн. т, картофеля 9 млн. т, хлопка-сырца 5 млн. т и другой продукции стоимостью на 10 млрд. руб. Чистый доход от использования удобрений определялся в сумме свыше 5 млрд. руб. при окупаемости 1 руб. затрат стоимостью продукции 2,04 руб.

Весьма эффективно применение высоких доз минеральных удобрений в сочетании с орошением. Сочетание орошения с применением удобрений позволяет получить в расчете на 1 га пашни валовой продукции земледелия почти 750 руб. против 150 руб. на остальных землях, то есть в 5 раз больше. Чистый доход с 1 га орошаемых земель составляет в среднем 265 руб., а по рису, хлопчатнику и овощам — соответственно 380, 480 и 940 руб.

170. Нормативы затрат минеральных удобрений на производство сельскохозяйственных культур

Культура	Урожай без удобрений (в ц/га)	Доза удобрений	Средние дозы минеральных удобрений (в кг действующего вещества на 1 га)				Урожай по НРХ (в ц/га)	Прибавка к НРХ (в ц/га)	Затраты удобрений на 1 т прибавки (в кг действующего вещества)				Сплата 1 кг НРХ привоза удобрения (в кг)	
			в том числе						всего	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
			всего	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O								
Зерновые	19,3	1	108	35	45	28	24,1	4,8	225	73	94	58	4,4	
		2	151	51	62	38	25,2	5,9	255	86	105	64	3,9	
		3	197	71	79	47	25,7	6,4	307	111	123	73	3,2	
		4	144	49	61	34	25,2	5,9	244	83	103	58	4,1	
	В том числе:	23,2	1	142	49	53	40	29,7	6,5	218	75	82	61	4,6
			2	198	73	71	54	31,0	7,8	254	94	91	69	3,9
			3	239	88	91	60	31,8	8,6	278	102	106	70	3,6
			4	192	71	68	53	30,8	7,6	252	93	89	70	4,0
	яровые	17,8	1	96	32	41	23	22,1	4,1	222	74	95	53	4,3
			2	135	46	58	31	22,9	5,1	265	90	114	61	3,8
			3	180	64	74	42	23,7	5,9	304	108	125	71	3,3
			4	131	44	57	30	23,3	5,5	239	80	104	55	4,2
кукуруза на зерно	34,6	1	149	53	54	42	41,8	7,2	207	74	75	58	4,8	
		2	187	70	68	49	43,3	8,7	214	80	78	56	4,7	
		3	251	94	87	70	44,8	10,2	246	92	85	69	4,1	
		4	251	94	87	70	44,8	10,2	246	92	85	69	4,1	
рис	36,1	1	221	99	80	42	52,2	16,1	138	62	50	26	7,3	
		2	280	131	96	53	56,0	19,9	141	66	48	27	7,1	
		3	326	153	112	61	58,3	22,2	146	69	50	27	6,8	
		4	307	141	106	60	57,3	21,2	145	67	50	28	6,9	
Сахарная свекла	274	1	256	85	89	82	354	80	320	106	111	103	31	
		2	345	113	119	113	371	97	357	117	123	117	28	
		3	479	157	150	172	384	110	435	143	136	156	23	
		4	410	132	138	140	378	104	394	127	132	135	25	

Хлопчатник средневолосистый	23,8	1	311	150	102	59	36,0	12,2	255	123	84	48	3,9
		2	394	205	122	67	37,0	13,2	298	155	92	51	3,4
		3	499	260	156	83	39,7	15,9	314	164	98	52	3,2
		4	476	245	148	83	39,7	15,9	299	154	93	52	3,3
Лен-долгунец	6,2	1	151	28	59	64	8,2	2,0	755	140	295	320	1,3
		2	190	42	73	75	8,6	2,4	760	160	292	300	1,3
		3	237	53	89	95	8,8	2,6	911	204	342	365	1,1
		4	200	44	77	79	8,8	2,6	769	169	296	304	1,3
Подсолнечник	19,4	1	111	39	55	17	22,0	2,6	427	150	212	65	2,3
		2	177	63	83	31	22,6	3,2	553	197	259	97	1,8
		3											
Нет данных													
Картофель	157	4	146	51	65	30	22,3	2,9	503	176	224	103	2,0
		1	180	58	59	63	207	50	360	116	118	126	28
		2	236	80	75	81	219	62	381	129	121	131	26
		3	324	108	101	115	227	70	462	154	144	164	22
Овощи в целом	361	4	258	85	83	90	223	66	391	129	126	136	26
		1	246	85	84	77	473	112	220	76	75	69	45
		2	337	129	112	96	513	152	222	85	74	63	45
		3	439	182	145	112	559	198	221	92	73	56	45
Кукуруза на силос	211	4	343	138	114	91	543	182	189	76	63	50	53
		1	151	52	53	46	264	53	285	98	100	87	35
		2	198	73	65	60	274	63	314	116	103	95	32
		3	263	105	84	74	285	74	356	142	114	100	28
Однолетние травы	31,9	4	207	76	68	63	277	66	313	115	103	95	32
		1	128	38	50	40	44,0	12,1	105	31	33	138	9,5
	37,9	2	205	65	67	73	56,8	18,9	108	34	35	39	9,2
Многолетние сенокосы естественные	19,5	1	163	56	53	54	37,8	18,3	90	31	29	30	11,2
		2	211	82	62	67	44,0	24,5	86	34	25	27	11,6
		3	248	116	64	68	49,4	29,9	83	39	21	23	12,1
		4	227	95	63	69	46,5	27,0	84	35	23	26	11,9

Примечание. Информатив для определения потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях разработаны ВИУА совместно с Научно-исследовательским институтом планирования и научными учреждениями системы МСХ СССР и ВАСХНИЛ.  
Дозы удобрений: 1, 2, 3 — возрастающие, 4 — оптимальная.

**171. Удельный вес видов удобрений в формировании общей прибавки урожая (в %)**

Культура	Азотные		Фосфорные		Калийные	
	лесолуго- вая и лесостепная зоны и при орошении	степная и сухостеп- ная зоны	лесолуго- вая и лесостепная зоны и при орошении	степная и сухостеп- ная зоны	лесолуго- вая и лесостепная зоны и при орошении	степная и сухостеп- ная зоны
Однолетние травы	70	60	15	30	15	10
Сенокосы и пастбища	55	50	25	40	20	10
Многолетние травы	60	50	15	25	25	25
Зерновые	55	35	30	60	15	5
Силосные	60	50	20	35	20	15
Кормовые корнеплоды	60	50	10	30	30	20
Подсолнечник	40	30	40	60	20	10
Прочие технические	40	30	40	50	20	20
Многолетние насаж- дения	50	40	30	40	20	20
Картофель	40	30	30	50	30	20
Овощи и бахчевые	50	40	20	30	30	30
Лен-долгунец	30	0	30	0	40	0
Хлопчатник	0	55	0	35	0	10
Сахарная свекла	40	30	30	45	30	25

**172. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений в среднем по стране за 1976—1978 гг.**

Культура	Внесено минераль- ных удобрений		Прибавка урожая (в млн. т)	Стоимость прибавки (в млн. руб.)	Чистый доход (в млн. руб.)	Окупае- мость 1 руб. затрат на удобре- ние (в руб.)
	в млн. т усл. ед.	в тыс. т питатель- ных веществ				
Хлопчатник	4,94	1 216	5,1	2 612	1 893	3,63
Сахарная свекла (фабричная)	4,55	1 768	28,3	894	339	1,61
Лен-долгунец	0,81	246	0,15	222	128	2,36
Прочие технические	1,42	463	1,0	183	86	1,89
Зерновые с кукурузой	21,19	6 443	34,6	2 395	882	1,58
Картофель	3,00	928	9,3	984	715	3,66
Овощи и бахчевые	1,22	397	4,8	427	229	2,15
Кормовые культуры (корнеплоды)	1,79	683	20,5	428	135	1,46
Травы (однолетние и многолетние)	4,69	1 789	10,7	527	85	1,19
Кукуруза на силос	4,23	1 275	38,3	344	28	1,09
Многолетние насаж- дения	1,75	332	2,3	760	537	3,41
Луга и пастбища	2,31	786	10,0	254	66	1,35
Всего		16 326	—	10 028	5 123	2,04

Примечание. Оценка продукции проведена в сопоставимых ценах 1973 г.

Высокий экономический эффект дают минеральные удобрения при осушении избыточно увлажненных почв, особенно при комплексном внесении азота, фосфора и калия.

Экономическая эффективность применения минеральных удобрений по культурам в среднем по стране приведена в таблице 172.

Возрастающее и эффективное применение удобрений сопровождается увеличением производственных затрат в земледелии, которое в большой степени обеспечило значительный рост продукции этой отрасли сельского хозяйства (табл. 173).

**173. Динамика роста производства продукции и производственных затрат в земледелии (в среднем по пятилетиям)**

Показатель	1966—1970 гг.	1971—1975 гг.	1976—1980 гг.
Валовая продукция (в млрд. руб. в сопоставимых ценах 1973 г.)	47,6	51,7	56,9
Производство зерна (в млн. т)	167,6	181,6	205
Производственные затраты (в млрд. руб.)	21,9	31,2	41,4
в том числе на минеральные удобрения	1,9	2,49	3,39
Доля затрат на минеральные удобрения в общих производственных затратах в земледелии (в %)	8,68	7,98	8,19

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЛАНИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Высокие темпы химизации земледелия в нашей стране требуют принципиально нового подхода к организации аналитических работ и выдвигают новые требования к аналитической технике в отношении производительности, чувствительности, точности, экономичности и унификации методов анализа.

В последние годы в ВИУА разработаны и внедрены в практику агрохимических исследований высокопроизводительные автоматизированные методы многоэлементного анализа почв и растений в сочетании с системами сбора, обработки и обобщения данных опытов с удобрениями. Автоматизация агрохимических исследований рассматривается как комплексная проблема, охватывающая все этапы полевого опыта от планирования эксперимента до обобщения данных и выдачи рекомендаций. В частности, автоматизировано и централизовано проведение массовых многоэлементных анализов почв и растений на основе ядерно-физической аналитической системы (нейтронно-активационный и рентгенофлуоресцентный методы анализа).

Предложенные высокопроизводительные автоматические методы экспресс-анализа (быстрее в 50—100 раз по сравнению с химическими методами) существенно повышают достоверность и оперативность получения аналитической информации. На автоматической установке нейтронно-активационного анализа (НАА) выполняются в централизованном порядке массовые многоэлементные анализы растений для 140 научных учреждений страны, входящих в Географическую сеть полевых опытов с удобрениями. Например, за десятую пятилетку только на этой аналитической установке выполнено около 1 млн. элементопределений (азот, фосфор, калий, магний и др.) в растениях и кормах. Большим вкладом в аналитическую технику явилось создание на базе отечественного оборудования автоматической установки НАА растений.

Централизация массовых анализов почв и растений по унифицированным методам на высокопроизводительных аналитических приборах и установках в зональных научных учреждениях позволит значительно снизить стоимость их проведения, повысить точность и оперативность получения результатов анализов, автоматизировать процессы обработки данных массовых определений, резко сократить число аналитиков и лаборантов.

Полученная на автоматических приборах массового анализа информация используется в автоматизированной системе сбора, хранения, обработки и обобщения данных полевых опытов с удоб-

рениями («Агрохимик Географической сети ВИУА») для расчета и выдачи рекомендаций по нормам удобрений с целью получения планируемых урожаев сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических зонах страны. Для решения этой задачи разработаны математические модели с использованием ЭВМ, построенные на основе банка данных опытов с удобрениями и информации об агрохимических и агрофизических показателях почв с учетом агрометеорологических условий. Названные модели построены на основе множественного регрессионного анализа.

Основные принципы построения математических моделей урожайности и плодородия почв заключаются в следующем.

Первым шагом на пути построения модели является тщательный анализ задачи и четкая ее формулировка. Такой анализ в значительной мере способствует преодолению возникающих в дальнейшем трудностей. Формулировка задачи должна дать некоторое представление о масштабах решаемых вопросов. Следующий этап построения модели — отбор включаемых в нее факторов с учетом следующих требований: факторы должны отражать существенные особенности изучаемой системы (явления); характеристики факторов должны быть количественно соизмеримы; факторы должны быть независимы друг от друга, то есть между ними не должно быть функциональной связи.

При обобщении данных опытов с удобрениями с целью изучения закономерностей их действия на урожай принимают во внимание факторы, наиболее существенно влияющие на урожай. К таким факторам относятся: нормы удобрений, погодные условия, механический состав почв, агрохимические показатели, характеризующие различный уровень плодородия почв.

Опытные данные, полученные за ряд лет в разных зонах страны, приводятся к сравнимому виду вводом в модель всех варьирующих факторов (показатели почвенного плодородия и погодные условия). Информационной единицей является эксперимент (с повторностями); массив исходной информации представляет совокупность информационных единиц.

Задача планирования урожайности состоит в том, чтобы по экспериментальным значениям факторов построить функцию урожайности, зависящую от факторов таким образом, чтобы теоретические ее значения максимально приближались к экспериментальным величинам, полученным в опытах с удобрениями. Для построения адекватной модели среди совокупности конкурирующих моделей необходимо выбрать одну, наилучшим образом отражающую экспериментальные данные.

Математическая форма связи между величиной урожая и факторами, его обуславливающими, представлена в виде полинома:  $Y=f(X, P, E)$ ,

где  $Y$  — функция урожайности;  $f$  — знак функции;  $X$  — нормы  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ;  $P$  — факторы плодородия почвы (рН,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , гумус,  $N_{общ}$  или усвояемые формы

его, ФГ — физическая глина); Е — факторы погодных условий (сумма осадков и сумма активных температур за вегетационный период).

Адекватность (достоверность) модели проверяется сравнением остаточной дисперсии  $\sigma_0^2$  с ошибкой эксперимента  $\sigma_\varepsilon^2$ :

$$F = \frac{\sigma_0^2/\varphi_1}{\sigma_\varepsilon^2/\varphi_2} < F_{кр},$$

где  $F_{кр}$  — критическое значение;  $\varphi_1, \varphi_2$  — числа степеней свободы.

При адекватности модели предсказанное значение урожайности определяется как:  $Y = x^T b$ ; с дисперсией предсказания  $D(y) = = xD(b)x^T\sigma_0^2$ ,

где  $b$  — параметры исследуемой модели,  $x$  — вектор переменных,  $x^T$  — вектор, транспонированный к  $x$ .

По степени близости к экспериментальным значениям зависимой переменной судят о пригодности модели для расчетов.

На заключительном этапе с использованием построенной модели урожайности для данной культуры определяют оптимальные дозы минеральных удобрений на планируемую урожайность с помощью методов нелинейного программирования. Максимум функционала определяется по формуле  $\Phi(t_z = C_1\Delta Y(t_z) - C_2t_z)$ , где  $\Phi$  — функционал при ограничениях  $Y = Y_{пл}$ ;  $Y(t_z)$  — прибавка урожая от внесения минеральных удобрений  $t_z$  при заданных почвенно-климатических условиях;  $Y_{пл}$  — планируемая урожайность;  $C_1, C_2$  — управляемые параметры расчета, обеспечивающие единственность решения задачи. В зависимости от цели и задачи исследования назначаются параметры  $C_1$  и  $C_2$ . Например, если целью исследования будет получение максимального экономического эффекта, то  $C_1$  и  $C_2$  составят цены единиц урожая и удобрений соответственно.

Рекомендации по определению оптимальных доз удобрений в заданных почвенно-климатических условиях проходят проверку в производственных опытах на полях экспериментальных хозяйств опытных станций и филиалов ВИУА. Результаты производственных и деляночных опытов, а также данные лабораторных анализов почв пополняют банк данных по опытам с удобрениями, что используется для уточнения модели урожайности.

Модель множественного регрессионного анализа, используемая для обработки данных опытов с удобрениями, вполне пригодна и для обобщения опытной информации о качественном изменении параметров плодородия почв в связи с особенностями агротехники, а также с учетом положительного или отрицательного баланса удобрений в севообороте.

Для создания моделей плодородия почв необходима информация о наиболее существенных и независимых параметрах, характеризующих состояние плодородия каждого типа почв. Необходима также информация о действии агротехнических приемов и



удобрений на показатели плодородия почв. Важно знать оптимальные параметры плодородия почвы, обеспечивающие получение планируемых урожаев сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических условиях страны.

Цель исследования проблемы построения модели плодородия почвы сводится к постановке и решению следующей задачи: по заданной модели урожайности  $Y = (X, P, E)$  определить функцию плодородия почвы  $P = \varphi(X, \bar{E})$ , где  $X$  — нормы  $N, P_2O_5, K_2O$ ;  $P$  — факторы плодородия почв;  $\bar{E}$  — факторы погодных условий.

Решение этой задачи сводится к определению параметров плодородия почвы из заданной области адекватности модели урожайности, при которых достигается максимальная урожайность:  $P = \{P \in \Omega: Y(X, P, \bar{E}) = \max_{(P)} Y(X, P, \bar{E})\}$ ,

где  $\Omega$  — заданная область адекватности модели относительно параметров плодородия почвы;  $p \in \Omega$  — совокупность параметров  $P$ , принадлежащих области  $\Omega$ ;  $E$  — заданные погодные условия.

Эффективное плодородие почвы определяется выражением:  $P = \{P \in \Omega: Y(\bar{X}, \bar{P}, \bar{E}) = \max_{(P)} Y(\bar{X}, P, \bar{E})\}$ ; возможное плодородие почвы:  $P_0 = \{P \in \Omega: Y(X_0, P_0, \bar{E}) = \max_{(P)} Y(X_0, P, \bar{E})\}$ .

Определение эффективного и возможного плодородия почвы, обеспечивающего получение высокой и максимальной урожайности, сводится, таким образом, к нахождению экстремума функции с ограничениями в заданной многомерной области  $\Omega$  и может быть решена с помощью методов математического программирования на ЭВМ.

Наряду с установлением оптимальных норм удобрений под планируемый урожай сельскохозяйственных культур автоматизированная система агрохимических исследований предусматривает расчет текущей и перспективной потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях и оптимальное распределение их фондов по регионам страны.

Эффективность минеральных удобрений при внесении их по рациональным планам, рассчитанным автоматизированной системой с учетом данных анализов почв и растений, повышается на 15—20%.

## ЛИТЕРАТУРА

- Авдонин И. С. Научные основы применения удобрений. М., «Колос», 1972.
- Агрохимия (под ред. П. М. Смирнова, А. В. Петербургского). М., «Колос», 1975.
- Агрохимическое обслуживание колхозов и совхозов (под ред. Л. М. Державина). М., «Колос», 1976.
- Азот в земледелии Нечерноземной полосы (под ред. Н. А. Сапожниковой). Л., «Колос», 1973.
- Алямовский Н. И. Известковые удобрения в СССР. М., «Колос», 1966.
- Блэк К. А. Растение и почва. М., «Колос», 1973.
- Васильев В. А. Эффективность органических удобрений. — В кн. Экономика использования удобрений (под ред. Н. Н. Баранова). М., «Колос», 1974.
- Временные рекомендации по использованию для удобрения бесподстилочного навоза, получаемого на крупных животноводческих фермах промышленного типа. М., «Колос», 1973.
- Гулякин И. В. Система применения удобрений. М., «Колос», 1977.
- Известкование кислых почв (под ред. Н. С. Авдонина, А. В. Петербургского, С. Г. Шедерова). М., «Колос», 1976.
- Классификация и диагностика почв СССР. М., «Колос», 1977.
- Клечковский В. М. Применение изотопов и ядерных излучений в сельском хозяйстве. М., Атомиздат, 1971.
- Кореньков Д. А. Агрохимия азотных удобрений. М., «Наука», 1976.
- Кук Д. У. Система удобрений для получения максимальных урожаев. М., «Колос», 1975.
- Кулаковская Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. Минск, «Урожай», 1978.
- Мамченко И. П., Васильев В. А. Эффективность сочетания навоза и минеральных удобрений в севообороте. — «Агрохимия», 1972, № 5.
- Методы применения изотопа азота  $^{15}\text{N}$  в агрохимии (под ред. Д. А. Коренькова). М., «Колос», 1977.
- Минеев В. Г., Ивлев М. М., Аникст Д. М. Удобрения зерновых культур. М., Россельхозиздат, 1980.
- Минеев В. Г., Павлов А. Н. Значение основных минеральных элементов и их соотношение для наполнения белков в зерне злаковых растений. — «Агрохимия», 1979, № 6.
- Научные основы и рекомендации по применению удобрений в Нечерноземной зоне европейской части РСФСР (под ред. В. Д. Панникова). М., Россельхозиздат, 1976.
- Панников В. Д., Минеев В. Г. Почва, климат и урожай. М., «Колос», 1977.
- Петербургский А. В. Агрохимия комплексных удобрений. М., «Колос», 1975.
- Петербургский А. В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. М., «Колос», 1979.
- Плешков Б. П. Биохимия сельскохозяйственных растений. М., «Колос», 1975.
- Почвоведение (под ред. И. С. Кауричева). М., «Колос», 1975.
- Практикум по почвоведению (под ред. И. С. Кауричева). М., «Колос», 1980.
- Рекомендации по применению подстилочного навоза и других местных органических удобрений. М., «Колос», 1977.
- Сапожников Н. А., Корнилов М. Ф. Научные основы системы удобрения в нечерноземной полосе. М., «Колос», 1977.
- Синягин И. И. Прогрессивная технология внесения минеральных удобрений. М., «Колос», 1975.

- Синягин И. И., Кузнецов Н. Я. Применение удобрений в Сибири. М., «Колос», 1979.
- Соколов А. В. Географические закономерности эффективности удобрений. М., «Знание», 1968.
- Соколовский А. А., Унанянц Т. П. Краткий справочник по минеральным удобрениям. М., «Химия», 1977.
- Стрельников В. Н., Шильников И. А., Величко В. Н. и др. Типовые рекомендации по известкованию кислых почв. М., «Колос», 1977.
- Турчин Ф. В. Азотное питание растений и применение азотных удобрений. М., «Колос», 1972.
- Шконде Э. И. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. М., «Наука», 1979.
- Юдин Ф. А. Методика агрохимических исследований. М., «Колос», 1971.
- Янишевский Ф. В. Агрохимия жидких комплексных удобрений. М., «Наука», 1978.

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Основные положения о питании растений	7
Азотные удобрения	22
Превращение азотных удобрений в почве и использование их растениями	22
Закрепление азота удобрений в почве и распределение его в органическом веществе	28
Формы азотных удобрений	40
Пути повышения эффективности азотных удобрений	54
Фосфорные удобрения	70
Сырье и технология получения фосфорных удобрений	70
Фосфорные удобрения и плодородие почв	77
Фосфорные удобрения и качество продукции	86
Калийные удобрения	92
Сырье и основные калийные удобрения	95
Применение калийных удобрений	99
Подвижность калия в почве	103
Действие калия на урожай и качество его	108
Круговорот калия	111
Серусодержащие удобрения	114
Магниеые удобрения	118
Комплексные удобрения	124
Жидкие комплексные удобрения	141
Эффективность совместного внесения азотных, фосфорных и калийных удобрений	147
Микроудобрения	150
Сроки и способы внесения минеральных удобрений	162
Основные способы внесения удобрений	162
Эффективность локального внесения удобрений в различных почвенно-климатических зонах	172
Применение тукосмесей в сельском хозяйстве	191
Правила смешивания минеральных удобрений	193
Сегрегация тукосмесей и равномерность их внесения в почву	199
Тукосмешение в зарубежных странах	203
Эффективность минеральных удобрений по зонам СССР	209
Географические закономерности действия удобрений	209
Азотные удобрения	212
Фосфорные и калийные удобрения	222
Длительное применение удобрений и плодородие почв	252
Агротехнические условия эффективного использования удобрений	263
Зависимость эффективности удобрений от севооборота и предшественников	263
Обработка почвы и эффективность удобрений	274
Борьба с сорняками и эффективность удобрений	278
Площади питания растений	286
Полегание растений и эффективность удобрений	288

Орошение и эффективность удобрений . . . . .	291
Осушение избыточно увлажненных почв и действие удобрений . . . . .	299
<b>Известкование кислых почв . . . . .</b>	<b>305</b>
Отношение сельскохозяйственных культур к известкованию . . . . .	305
Влияние известкования на агрохимические, физические и биологические свойства почвы . . . . .	312
Определение нуждаемости почв в извести и дозы . . . . .	313
Известковые удобрения . . . . .	316
Сочетание известкования с применением удобрений . . . . .	320
Повторное (поддерживающее) известкование . . . . .	323
<b>Гипсование солонцов . . . . .</b>	<b>328</b>
<b>Органические удобрения . . . . .</b>	<b>338</b>
Бесподстилочный навоз . . . . .	348
<b>Зеленое удобрение . . . . .</b>	<b>362</b>
<b>Механизация применения удобрений . . . . .</b>	<b>376</b>
<b>Экономическая эффективность применения удобрений . . . . .</b>	<b>399</b>
<b>Автоматизированные системы для агрохимических исследований и планирования урожайности сельскохозяйственных культур . . . . .</b>	<b>408</b>
<b>Литература . . . . .</b>	<b>412</b>

Дмитрий Александрович Кореньков,  
Иракий Иванович Синягин,  
Александр Васильевич Петербургский и др.

## УДОБРЕНИЯ, ИХ СВОЙСТВА И СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Зав. редакцией *М. М. Антонова*  
Редактор *А. И. Григорьева*  
Мл. редактор *И. Г. Соколовская*  
Художник *О. Ю. Шкудов*  
Художественный редактор *М. Д. Северина*  
Технический редактор *Е. В. Соломович*  
Корректор *Д. Е. Ткачева*

**ИБ № 2136**

Сдано в набор 26.11.81. Подписано к печати 26.02.82. Т-05845.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная.  
Печать высокая. Усл. печ. л. 26. Усл. кр.-отт. 26,  
Уч.-изд. л. 30,15. Изд. № 14. Тираж 50 000 экз.  
(1-й завод 1—25 000 экз.). Заказ № 2197. Цена 1 р. 50 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос»,  
107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР по делам издательств,  
полиграфии и книжной торговли. Москва, 113105,  
Нагатинская ул., д. 1.