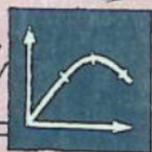


П. М. Смирнов, Э. А. Муравин

# АГРОХИМИЯ



1055/1



П. М. СМОРНОВ, Э. А. МУРАВИН

63:54  
С-506

■

# АГРОХИМИЯ

■

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебника для учащихся средних сельскохозяйственных учебных заведений по специальностям «Агрономия», «Плодоовощеводство», «Защита растений», «Овощеводство»

Библиотека  
Сам СХИ  
ИНВ. 285971



МОСКВА «КОЛОС» 1981

М

ББК 40.4

С50

УДК 63:54 (075.3)

Рецензенты: доктор сельскохозяйственных наук профессор  
*И.П.Дерюгин* и преподаватель Коломенского сельскохозяй-  
ственного техникума *В.В.Уханов*

Смирнов П. М., Муравин Э. А.  
С 50 Агрохимия. — М.: Колос, 1981. — 319 с., ил., 2 л. ил. —  
(Учебники и учеб. пособия для сред. с.-х. учеб. заведений).

Учебник для средних сельскохозяйственных учебных заведений. Содержит теоре-  
тические основы агрохимии и системы удобрения основных полевых культур, а также  
лабораторные работы по курсу агрохимии.

40306—10

С ————— 30—81. 3802020000

035(01)—81

ББК 40.4  
631.8

© Издательство «Колос», 1981

## ПРЕДМЕТ И МЕТОДЫ АГРОХИМИИ

Основоположник отечественной школы в агрохимии академик Д. Н. Прянишников одной из важных задач агрономической химии как науки считал «изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех мер воздействия на химические процессы, протекающие в почве и растении, которые могут повышать урожай или изменять его состав. Основным способом вмешательства человека в этот круговорот является применение удобрений».

Применение минеральных удобрений позволяет вводить в круговорот веществ в земледелии новые количества элементов питания растений, а внесение навоза и различных отходов растениеводства и животноводства — повторно использовать часть питательных веществ, уже входивших в состав предыдущих урожаев.

В результате становится возможным восполнять вынос питательных веществ урожаями и потери их из почвы (вследствие выщелачивания, улетучивания в атмосферу, эрозии почвы и т. д.) и, таким образом, не только поддерживать, но и повышать плодородие почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Применение минеральных и органических удобрений составляет основу химизации земледелия, которая наряду с комплексной механизацией и мелнирацией земель является одним из основных путей интенсификации сельского хозяйства, повышения его продуктивности.

Главной целью применения удобрений является регулирование круговорота питательных веществ в земледелии и улучшение питания растений.

Три основных объекта, изучаемые в агрохимии, — растения, почва и удобрения, — находятся в диалектической взаимосвязи и взаимодействии друг с другом. Эту систему связей Д. Н. Прянишников изобразил в виде треугольника, три вершины которого обозначают растение, почву и удобрение, а двойные стрелки — взаимное влияние каждого из этих объектов на остальные (рис. 1).

Растение в процессе питания взаимодействует и с почвой и с удобрением, почва — с растением и удобрением, удобрение — с почвой и растением. Условия и характер этого взаимодействия определяют высоту и качество урожая.

«Изучение взаимоотношений между растением, почвой и удобрением, — писал Д. Н. Прянишников, — всегда являлось главной задачей агрохимиков», причем он подчеркивал, что только агрохимия в целях регулирования питания растений путем внесения соответствующих удобрений для повышения плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур занимается синтезом знаний по трем названным взаимодействующим факторам. В этом состоит ее отличие от ряда



Рис. 1. Схема взаимодействия растения, почвы и удобрения, изучаемого в агрохимии (по Д. Н. Прянишникову).

смежных наук (физиологии и биохимии растений, растениеводства, земледелия, почвоведения и др.).

Таким образом, агрохимия изучает круговорот веществ в земледелии, взаимодействие между растением, почвой и удобрением в процессе питания растений, а также способы регулирования круговорота веществ и питания сельскохозяйственных культур в целях повышения урожая и улучшения его качества.

Изучение питания растений и взаимодействия между растением, почвой и удобрением составляет теоретическую основу агрохимии. Знание теоретических основ позволяет творчески решать практические

вопросы применения удобрений, которые разрабатываются агрохимией. Это вопросы о наиболее эффективных формах, дозах и соотношениях удобрений, оптимальных сроках и способах внесения под различные культуры и на разных почвах, о рациональном сочетании внесения удобрений с системой обработки почвы, севооборотом, орошением и другими агротехническими приемами.

Агрохимия тесно связана с общим земледелием и мелиорацией, а также с экономикой и организацией сельскохозяйственного производства, ибо любые приемы внесения удобрений обусловлены агротехникой и должны оцениваться с точки зрения их экономической эффективности, а все мероприятия по применению удобрений должны быть увязаны в общем организационно-хозяйственном плане хозяйства.

При изучении теоретических и практических вопросов в агрохимии применяются разнообразные методы исследования: 1) лабораторные (химические и физико-химические) анализы растений, почв и удобрений; 2) вегетационные опыты с растениями в искусственной обстановке (в вегетационных домиках и теплицах); 3) полевые опыты с удобрениями в различных почвенно-климатических зонах страны; 4) производственные опыты на больших площадях в колхозах и совхозах.

На основе результатов полевых и производственных опытов с обязательной оценкой экономической эффективности изучаемых удобрений и приемов их внесения даются практические рекомендации производству. Приложение агрохимии в практике сельского хозяйства осуществляется главным образом по линии эффективного использования разнообразных промышленных и местных удобрений.

Агрохимия является научной основой химизации земледелия. Определенный мартовским (1965 г.) Пленумом ЦК КПСС и развитый в решениях XXIII, XXIV и XXV съездов КПСС, в постановлении июльского (1978 г.) Пленума ЦК КПСС курс на интенсификацию сельскохозяйственного производства, на широкую его химизацию открывает безграничные перспективы для применения в практике достижений агрохимии.

Удобрение почвы навозом, золой, известью и другими местными удобрительными материалами для повышения урожая различных культур практиковалось земледельцами задолго до разработки современной теории питания растений. Но в то время положительное действие удобрений не могло быть теоретически объяснено, что закрывало путь к развитию и совершенствованию различных приемов удобрений почв.

Отдельные предположения о питании растений начали появляться в XVI—XVIII в., но они не были замечены и оценены по достоинству и в области корневого питания длительное время господствовали неверные представления. Особенно яркое выражение они нашли в «гумусовой теории» питания растений, которая была высказана впервые в 1761—1766 гг. шведским ученым Валериусом. Согласно этой теории, гумус почвы (сложное органическое вещество) является единственным источником пищи растений, минеральные же вещества (зола) лишь способствуют переводу гумуса в удобоусвояемую форму. Больше всего способствовал широкому распространению и популярности «гумусовой теории» в первой четверти XIX в. немецкий ученый Тэер.

Некоторые ученые уже в то время не разделяли гумусовой теории питания. К ним прежде всего относился французский ученый — физиолог и агрохимик Буссенго. Вместо гумусовой теории он развил (1836) азотную теорию питания и удобрения, указал на первостепенное значение азота в земледелии и точными полевыми опытами показал, что культура бобовых (клевера) в севообороте приводит к улучшению азотного баланса и к значительному повышению урожая других культур.

Коренной поворот во взглядах на питание растений произошел в 1840 г., когда известный немецкий химик Либих в книге «Химия в приложении к земледелию и физиологии» в популярной форме дал уничтожающую критику «гумусовой теории» и сформулировал теорию минерального питания растений.

Либих дал убедительное объяснение причине истощения почвы при однообразной культуре и выдвинул свою теорию удобрения почв для сохранения их плодородия, основанную на возврате в почву всех взятых из нее минеральных веществ. В первую очередь он считал необходимым возвращать те вещества, которыми почва истощается особенно сильно, т. е. которые находятся в первом минимуме. Это правило получило потом название «закон минимума».

Либих считал необходимым из всех зольных веществ возвращать в почву в первую очередь фосфор, так как он больше всего выносится из почвы с зерном. Значение же азота в удобрении Либих недооценивал, ошибочно считая, что того небольшого количества аммиака, которое поступает в почву из воздуха с осадками, вполне достаточно для растений. Неверным было и мнение Либиха о возможности полной замены навоза его золой. Вскоре (1843) Лоозом — основателем Ротамстедской опытной станции (Англия) — на основании полевых опытов были опровергнуты эти ошибочные взгляды Либиха.

Было показано, что для повышения урожая в составе удобрений рядом с зольными элементами должен обязательно быть и азот. В середине XIX в. в Европе и Америке начали применять для удобрения чилийскую (натриевую) селитру, которая давала высокий эффект. Это подтвердило правоту взглядов Буссенго, впервые указавшего на первостепенное значение азота в питании растений. Нельзя придавать абсолютное значение и требованию Либиха о полном возврате в почву всех питательных веществ; теперь установлено, что полный возврат питательных веществ вовсе не обязателен, хотя в целом идея необходимости возвращения в почву взятых растениями питательных веществ безусловно правильная.

К. А. Тимирязев писал по этому поводу: «Учение о необходимости возврата представляет, как бы ни пытались ограничить его значение одно из величайших приобретений науки».

Либихом впервые была четко высказана идея о сознательном регулировании круговорота веществ в земледелии, ибо нарушение его приводит к падению почвенного плодородия.

К. Маркс дал высокую оценку этому положению Либиха: «Выяснение отрицательной стороны современного земледелия, с точки зрения естествознания, представляет собой одну из бессмертных заслуг Либиха».\*

Несмотря на ошибочность некоторых положений Либиха, его работы пробудили интерес к проблеме питания растений и применения удобрений, стимулировали развитие исследований в этой области. Во многих странах были созданы агрохимические опытные станции, которые сыграли важную роль в дальнейшем развитии агрохимии и применении удобрений в сельскохозяйственной практике.

Важное значение для развития учения о питании растений имели опыты с выращиванием растений на искусственных, бесплодных средах — воде или песке. При добавлении в них необходимых питательных веществ в виде минеральных солей рядом ученых (Кноп, Сакс и др.) уже в 50-е годы XIX в. удалось добиться нормального роста растений и установить, какие элементы, в каких количествах и соотношениях необходимы для питания растений. Большое значение имели также исследования Гельригеля по изучению особенностей азотного питания бобовых растений, которые показали, что бобовые способны с помощью развивающихся на их корнях клубеньковых бактерий усваивать молекулярный азот атмосферы и обогащать почву азотом.

Параллельно с развитием теории питания растений происходило и внедрение в сельскохозяйственную практику минеральных удобрений. Уже к середине XIX в. в западноевропейских странах применялись суперфосфат и чилийскую селитру, а позднее (с 1865 г.) стали использовать и калийные удобрения, получаемые из природных залежей калийных солей.

Выдающаяся роль в развитии агрохимии принадлежит и русским ученым. Начало разработки вопросов питания растений и применени

\* Маркс К. Капитал, т. 1, 1963, стр. 515.

удобрений в нашей стране относится к концу XVIII — началу XIX в. Передовые ученые-агрономы того времени И. М. Комов, А. Т. Болотов, М. Г. Павлов уделяли большое внимание применению навоза, компостов, золы, извести и других местных удобрений для восстановления плодородия почвы.

А. Т. Болотов и А. П. Пошман еще в начале XIX в., задолго до Либиха, указывали на значение для питания растений минеральных солей, образующихся в почве при разложении навоза.

С 60—70 годов XIX в. начинаются систематические научные исследования по питанию растений и применению удобрений. Особенно большое значение имели работы А. Н. Энгельгардта, Д. И. Менделеева, П. А. Костычева, К. А. Тимирязева. Проф. А. Н. Энгельгардт, выдающийся демократический деятель того времени — автор широко известных «Писем из деревни» и «Химических основ земледелия» — был горячим пропагандистом применения минеральных удобрений, навоза, извести, зеленого удобрения. Им впервые в России была доказана точными опытами высокая эффективность фосфоритной муки для поднятия плодородия подзолистых почв.

Большая роль в развитии агрохимии принадлежит Д. И. Менделееву. Под его руководством были проведены первые полевые опыты по изучению эффективности минеральных удобрений в различных районах страны. Эти опыты показали, что удобрения являются мощным средством повышения урожая.

В создании научных основ агрохимии большое значение имели классические исследования К. А. Тимирязева по фотосинтезу и минеральному питанию растений, внедрение им в научную практику методики вегетационных опытов.

Дальнейшее развитие агрохимии в нашей стране связано с научной деятельностью Д. И. Прянишникова и его учеников, которая началась еще в дореволюционный период и приобрела особенно широкий размах после Великой Октябрьской социалистической революции. Д. Н. Прянишниковым опубликовано более 400 научных работ, многие из которых получили мировую известность. Особенно большое значение имели его классические исследования по азотному питанию растений и применению азотных удобрений. Фундаментальный труд Д. Н. Прянишникова «Агрохимия» до сего времени используется для подготовки специалистов.

Трудами Д. Н. Прянишникова, П. С. Коссовича, К. К. Гедройца, А. Н. Лебеядцева, Д. А. Сабина и многих других советских ученых



Академик Д. Н. Прянишников  
(1865—1948).

был утвержден приоритет отечественной науки в решении многих проблем агрохимии. После Великой Октябрьской социалистической революции агрохимия в нашей стране получила все условия для плодотворного развития, а ее научные достижения стали широко использоваться в практике. В 1918 г. был организован Научный институт по удобрениям (НИУ), а затем (1931 г.) Всесоюзный институт удобрений и агропочвоведения (ВИУА), были созданы агрохимические отделы в зональных и отраслевых сельскохозяйственных научно-исследовательских институтах и на опытных станциях, кафедры агрохимии в сельскохозяйственных вузах. В 20—30-х годах под руководством НИУ были проведены тысячи географических опытов с различными культурами в разных районах страны по изучению эффективности удобрений, доз и способов их внесения. В 1941 г. была создана широкая географическая сеть опытов с удобрениями под научно-методическим руководством ВИУА. Этими опытами была доказана высокая эффективность удобрений во многих районах страны и созданы научные основы для развития туковой промышленности, для широкого применения удобрений в сельском хозяйстве.

Агрохимические исследования особенно расширились в последние 15 лет. Открыты новые научно-исследовательские агрохимические институты — Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИАНО), Институт агрохимии и почвоведения АН СССР, Институт химизации сельского хозяйства сибирского отделения ВАСХНИЛ и др.

Широкие агрохимические исследования служат научной основой для развития химизации земледелия, для правильного и эффективного использования органических и минеральных удобрений.

### ЗНАЧЕНИЕ УДОБРЕНИЙ, РАЗВИТИЕ ИХ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ В СССР

Громадное значение удобрений в повышении плодородия почв и урожаев сельскохозяйственных культур доказано многочисленными опытами научных учреждений и подтверждено практикой мирового земледелия. Длительное время по существу единственным удобрением был навоз. Использование минеральных удобрений началось только со второй половины XIX в. Однако и сейчас, когда мировое производство их достигло огромных масштабов — более 130 млн. т питательных веществ (в сумме N, P и K), навоз остается важнейшим удобрением в сельском хозяйстве, так как содержит все необходимые растениям элементы питания и оказывает очень сильное действие на повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Общий объем использования навоза в нашей стране непрерывно возрастает и в настоящее время составляет около 800 млн. т. Однако средняя обеспеченность навозом 1 га пашни (около 4 т на 1 га) пока ниже, чем во многих передовых хозяйствах. Поэтому увеличение накопления навоза, полное и правильное его использование является важной задачей колхозов и совхозов.

Для повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур наряду с навозом и другими органическими удобрениями исключительно большое значение имеют промышленные минеральные удобрения.

На большое значение минеральных удобрений, химизации земледелия, для повышения продуктивности сельского хозяйства указывали классики марксизма-ленинизма. К. Маркс отмечал, что плодородие почвы находится в прямой зависимости от уровня развития «земледельческой химии и механики», то есть химизации и механизации. В. И. Ленин, рассматривая новые данные о законах развития капитализма в земледелии, писал: «...данные о расходах на удобрение и о стоимости орудий и машин служат самым точным статистическим выражением степени интенсификации земледелия»\*.

Химизация земледелия — важнейшее средство повышения урожайности сельскохозяйственных культур, наиболее экономически эффективный путь интенсификации сельского хозяйства.

По оценке зарубежных специалистов и ученых и данным научных учреждений нашей страны около 50% всего прироста урожая сельскохозяйственных культур относится за счет применения удобрений. На основе большого количества опытов установлены следующие средние прибавки урожая на 1 т действующего вещества (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O) минеральных удобрений (табл. 1).

1. Прибавки урожая сельскохозяйственных культур от минеральных удобрений

Культура	Продукция	Прибавки урожая, т. от 1 т		
		азота (N)	фосфора (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	калия (K <sub>2</sub> O)
Озимая пшеница и рожь	Зерно	12—15	7—8	3—4
Картофель	Клубни	100—120	50—60	40—50
Лен	Волокно	1,5—2,5	1,2—2,0	0,9—1,5
Сахарная свекла	Корнеплоды	120—140	55—60	40—50
Хлопчатник	Хлопок (сырец)	10—12	5—6	2

Эффективность удобрений в разных почвенно-климатических зонах страны неодинакова и зависит от свойств почвы (механического состава, содержания гумуса, реакции, обеспеченности усвояемыми формами питательных веществ и др.), количества осадков, уровня агротехники и других условий. Особенно сильное положительное действие оказывают удобрения на всех почвах при орошении, на дерново-подзолистых почвах в Нечерноземной зоне РСФСР, БССР, Прибалтике и Полесье УССР, а также на других почвах в районах достаточного увлажнения. Минеральные удобрения при правильном применении не только значительно повышают урожай, но и дают высокий экономический эффект. В первый же год полностью окупаются

\* Ленин В. И. Полное собрание сочинений, т. 27, с. 159—160.

все затраты на их применение и обеспечивается получение значительно-го дохода (табл. 2).

## 2. Экономическая эффективность минеральных удобрений (NPK) (данные ВИАУ)

Культура	Количество удобрений, ц на 1 га	Средняя прибавка урожая, ц на 1 га	Условный чистый доход, руб. на 1 га
Зерновые	4,5	8,0	33,7
Сахарная свекла	9,5	70,0	81,8
Картофель	5,5	60,0	180,6
Хлопчатник	11,2	10,0	215,1
Лен-долгунец	6,7	1,5	271,4
Овощные	6,9	80,0	455,2

Производство и применение удобрений в нашей стране растут очень быстрыми темпами, оказывая значительное влияние на повышение урожайности сельскохозяйственных культур. В дореволюционной России минеральные удобрения производились в ничтожном количестве. За годы Советской власти были открыты крупные залежи сырья для производства удобрений (апатитов, фосфоритов, калийных солей), создана мощная химическая промышленность и организовано производство азотных, фосфорных и калийных удобрений (табл. 3)

## 3. Рост производства и применение минеральных удобрений в СССР, млн. т стандартных туков\*

Годы	Производство	Применение	Годы	Производство	Применение
1928	0,135	0,189	1965	31,3	27,1
1940	3,20	3,16	1970	55,4	45,6
1955	9,70	8,60	1975	90,2	73,1
1960	13,9	11,4	1980 (план)	143,0	115,0

\* За стандартный тул принимаются удобрения, содержащие следующее количество питательных веществ: азотные — 20,5%, N, фосфорные — 18,7% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, и калийные — 41,6% K<sub>2</sub>O.

В 1928 г. объем производства минеральных удобрений составлял 0,135 млн. т, а затем происходит его непрерывный рост. В 1940 г. он достиг 3,2 млн. т, а к 1955 г. увеличился в 3 раза и затем каждое десятилетие (1955—1965 гг. и 1965—1975 гг.) утраивался.

Увеличивающееся применение минеральных удобрений под технические культуры (хлопчатник, сахарную свеклу, чай) позволило уже в 30-е годы в короткий срок резко поднять их урожайность (табл. 4). С 1933 по 1940 гг. применение минеральных удобрений под хлопчатник и сахарную свеклу увеличилось соответственно в 6 и 4 раза, что позволило всего за 7 лет почти удвоить их урожайность. В последующие годы применение удобрений под эти культуры продолжало возрастать, достигло 17—20 ц на 1 га и их урожайность по сравнению с 1940 г. снова удвоилась. По урожайности хлопчатника наша страна занимает первое место в мире.

4. Применение минеральных удобрений, и стандартных туков на 1 га, и урожай хлопчатника и сахарной свеклы, ц с 1 га

Годы	Хлопок-сырец		Сахарная свекла	
	удобрение	урожай	удобрение	урожай
1933	0,75	7,4	1,52	74
1940	4,9	13,8	6,25	129
1956—1960	9,3	20,5	8,1	184
1961—1965	9,7	20,6	8,9	165
1966—1970	13,7	24,1	9,5	228
1971—1975	15,7	27,3	13,1	220
1977	17,0	29,3	20,2	248

Повышение урожайности зерновых культур за последние 10—15 лет также в значительной степени обусловлено ростом использования минеральных и органических удобрений, расширением работ по известкованию кислых почв. О значении минеральных удобрений в повышении урожайности зерновых культур убедительно свидетельствует опыт районов комплексной химизации, где больше применяется удобрений и поэтому значительно выше урожай, чем средние по соответствующей области (табл. 5).

5. Эффективность минеральных удобрений под зерновые культуры в районах комплексной химизации

Район и область	Внесено NPK, кг на 1 га			Урожай, ц с 1 га		
	1964—1966 гг.	1967—1970 гг.	1971—1975 гг.	1964—1966 гг.	1967—1970 гг.	1971—1975 гг.
Судзальский район	49	115	193	11,7	18,6	23,5
Владимирская область	37	84	116	8,1	12,9	15,3
Торжокский район	57	128	152	8,6	16,7	19,2
Калининская область	41	66	100	7,7	12,8	13,8

По темпам роста, а также общему объему производства и применения минеральных удобрений СССР занимает первое место в мире.

В настоящее время высокими нормами минеральных удобрений на всей площади обеспечены технические культуры (чай, хлопчатник, сахарная свекла и лен), на 80—90% площади картофель и овощные культуры. С увеличением к 1980 г. производства минеральных удобрений до 143 млн. т и поставок их сельскому хозяйству до 120 млн. т (в том числе 5 млн. т химических кормовых добавок) обеспеченность удобрениями гектара посевной площади достигнет 5 ц в среднем по стране, а в Нечерноземной зоне составит около 10 ц. В постановлении июльского (1978 г.) Пленума ЦК КПСС «О дальнейшем развитии сельского хозяйства СССР» определены основные пути дальнейшего подъема сельского хозяйства и конкретные меры, в том числе и в области химизации земледелия, обеспечивающие значительное увеличение его продуктивности.

С ростом производства минеральных удобрений они будут использоваться на больших площадях и в более высоких дозах не только под технические, но и под зерновые и кормовые культуры, что обеспечит значительное повышение их урожайности.

В связи с непрерывным ростом производства и применением удобрений первоочередной задачей химической промышленности сельского хозяйства является повышение их эффективности. Важной задачей химической промышленности является непрерывное улучшение качества минеральных удобрений. Рост производства туков осуществлялся в последние годы преимущественно за счет высококонцентрированных и сложных удобрений. Доля их в общем производстве туков увеличилась с 74% в 1975 г. до 88% в 1980 г., а средняя концентрация питательных веществ в удобрениях повысилась с 35 до 40%. Это дает возможность уменьшить физическую массу туков (при том же количестве питательных веществ в них) и получить существенную экономию труда и средств на их транспортировку, хранение и внесение.

Важное значение имеет также улучшение физико-механических свойств минеральных удобрений. Все они должны поставляться сельскому хозяйству в гранулированном виде с прочными гранулами, выровненными по размеру частиц, с низкой влажностью и гигроскопичностью. Это позволит готовить качественные тукосмеси и обеспечить равномерное механизированное их внесение.

Для повышения эффективности удобрений большое значение имеет организация правильного хранения и полная механизация работ по их применению. В последние годы принимаются необходимые меры по резкому улучшению материально-технической базы химизации в сельском хозяйстве (строительство складов, обеспечение транспортными средствами, машинами для внесения и т. д.). Это создает необходимые условия для резкого снижения потерь удобрений на пути от завода до поля, для своевременного и качественного их использования.

### АГРОХИМИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

Для организации научно обоснованного применения минеральных и органических удобрений, химических мелиорантов (извести и гипса) исключительно большое значение имело создание Государственной агрохимической службы в сельском хозяйстве. Основу ее составляют 206 зональных (областных, краевых и республиканских) агрохимических лабораторий (ЗАЛ), оснащенных современным оборудованием и приборами, что позволяет организовать поточное проведение анализов растений, почв и удобрений (до 2000 анализов в смену). В среднем каждая ЗАЛ обслуживает 250 хозяйств с площадью сельхозугодий 2,7 млн. га, в том числе около 1 млн. га пашни. Имеются также районные и межхозяйственные агрохимлаборатории и лаборатории в некоторых крупных хозяйствах. Научно-методическое руководство агрохимическими лабораториями и контроль за их работой осуществляет Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО) с 12 филиалами и 3 опорными пунктами.

Административное руководство всей системой Госагрохимслужбы осуществляется Всесоюзным производственно-научным объединением «Союзсельхозхимия» Министерства сельского хозяйства СССР.

За 15 лет агрохимической службой проведена большая работа по агрохимическому обследованию почв колхозов и совхозов. Ежегодно проводится более 1 млн. почвенных анализов по определению кислотности, гумуса, механического состава, подвижного фосфора и калия, усвояемых форм азота, обменного кальция, магния и натрия (в засоленных почвах), микроэлементов и др. Сетью зональных агрохимических лабораторий проведены десятки тысяч (более 5 тыс. ежегодно) полевых опытов по изучению эффективности удобрений непосредственно на полях колхозов и совхозов, хозяйствам выданы картограммы агрохимических свойств почвы (кислотности, обеспеченности подвижными формами фосфора и калия и др.), которые служат научной основой правильного применения удобрений. Наиболее важные анализы почв периодически (раз в 4—5 лет) повторяются для уточнения ранее составленных агрохимических картограмм. С учетом агрохимических свойств почвы и результатов полевых опытов агрохимлаборатории разрабатывают конкретные рекомендации хозяйствам по правильному применению удобрений (оптимальные нормы и соотношения, сроки и способы их внесения) для получения планируемых урожаев, которые служат основой для составления ежегодных планов применения удобрений для каждого поля или участка в хозяйствах.

В последние годы агрохимическая служба разрабатывает для хозяйств проектно-сметную документацию по использованию удобрений, известкованию и гипсованию почв, в которой наряду с нормами, сроками и способами внесения удобрений и химических мелиорантов указываются и необходимые затраты материально-денежных средств; планируемая урожайность и экономическая эффективность мероприятий. При разработке рекомендаций и проектно-сметной документации, а также для обобщения и анализа результатов полевых опытов и агрохимического обследования почв используются электронно-вычислительные машины.

Для своевременного и качественного выполнения рекомендаций агрохимслужбы по правильному научно обоснованному применению органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов и других химических средств в колхозах и совхозах необходима четкая организация всех работ по их использованию. С этой целью в начале 70-х годов в ряде республик и областей была начата организация централизованного хранения, транспортировки и внесения удобрений, извести, химических средств защиты растений силами специализированных производственных подразделений, стала складываться система производственного агрохимического обслуживания сельского хозяйства. Формы ее были весьма разнообразны—агрохимпункты в крупных хозяйствах, межхозяйственные и районные агрохимцентры, специализированные отряды и т. д. Решением июльского (1978 г.) Пленума ЦК КПСС признано целесообразным «сосредоточить агрохимическую службу в центре и на местах в системе сельскохозяйственных

органов, передав им всю предназначенную для этого производственную базу». Во исполнение этого решения и учитывая опыт агрохимического обслуживания сельского хозяйства в предыдущие годы постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 30/VIII 1979 г. «О создании единой специализированной агрохимической службы в стране» в системе Министерства сельского хозяйства СССР организовано Всесоюзное объединение по агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства («Союзсельхозхимия») и соответствующие объединения («Сельхозхимия») в республиках, краях и областях, созданы также районные (межрайонные) производственные объединения по агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства (на хозяйственном расчете), а непосредственно в хозяйствах—пункты химизации. В составе производственных подразделений «Сельхозхимии» находятся механизированные склады для хранения удобрений и других средств химизации, автотранспорт для их перевозки, машины для смешивания минеральных удобрений, машины для внесения органических и минеральных удобрений, извести и гипса, химических средств защиты растений и т. д. Подразделения «Сельхозхимии» выполняют все работы по научно обоснованному использованию удобрений, средств защиты растений и других средств химизации в колхозах и совхозах в соответствии с рекомендациями научно-исследовательских учреждений и агрохимических лабораторий. Создание единой специализированной системы производственного агрохимического обслуживания и укрепление материально-технической базы химизации в сельском хозяйстве позволят более качественно использовать удобрения и другие средства химизации, повысить их эффективность.

Широкая химизация сельского хозяйства в сочетании с другими приемами его интенсификации и высокой общей культурой земледелия обеспечит дальнейший рост продуктивности растениеводства и животноводства в нашей стране.

#### Контрольные вопросы

1. Что изучает агрохимия? Взаимосвязь ее с другими науками.
2. Основные объекты и методы исследования в агрохимии.
3. Что такое химизация земледелия? Ее роль в интенсификации сельского хозяйства.
4. Значение работ Буссенго, Либиха и Гельригеля для развития учения о корневом питании растений. Когда началось применение минеральных удобрений?
5. Исследования по питанию растений и применению удобрений в России. Роль академика Д. Н. Прянишникова в развитии агрохимии.
6. Состояние и перспективы развития производства минеральных удобрений в СССР и других культурах.
7. Роль минеральных удобрений в повышении урожайности технических, зерновых и других культур.
8. Осуществление каких мероприятий необходимо для повышения эффективности удобрений?
9. Структура и основные задачи Государственной агрохимической службы в сельском хозяйстве.

---

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ**

---

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ**

Растительные организмы состоят из воды и сухого вещества, представленного органическими и минеральными соединениями. Содержание воды и соответственно сухого вещества в растениях, их органах и тканях может сильно различаться. В семенах масличных культур вода составляет 5—10% от их массы, в зерне хлебных злаков и бобовых культур — 10—15, клубнях картофеля, корнях сахарной свеклы — 75—80, корнях моркови, кормовой и столовой свеклы, луковичах лука — 85—90, корнях редиса и турнепса, кочанах капусты — 90—93, в сочных плодах овощных и бахчевых культур, листовых овощах — до 95%

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

Функции воды в растениях обусловлены присущими ей физическими и химическими свойствами. Она обладает высокой удельной теплоемкостью и благодаря способности испаряться при любой температуре предохраняет растения от перегрева. Вода — прекрасный растворитель для многих соединений, в водной среде происходит электролитическая диссоциация этих соединений и усвоение растениями ионов, содержащих необходимые элементы минерального питания.

Высокое поверхностное натяжение воды определяет ее роль в различных процессах адсорбции и передвижении минеральных и органических соединений.

Полярные свойства и структурная упорядоченность молекул воды обуславливают гидратацию ионов и молекул низко- и высокомолекулярных соединений в клетках растений.

Особое значение вода имеет в энергетических преобразованиях в растениях, прежде всего в аккумуляции солнечной энергии в виде химических соединений при фотосинтезе.

Вода обладает способностью пропускать лучи видимой и близкой к ней ультрафиолетовой части света, необходимой для фотосинтеза, но задерживает определенную часть инфракрасной тепловой радиации.

Оводненность клеток тканей растений обуславливает их тургор,

является важным фактором интенсивности и направленности разнообразных физиологических и биохимических процессов. При непосредственной участии воды происходит огромное число биохимических реакций синтеза и распада органических соединений в растительных организмах.

Вода является не только растворителем поступающих из почвы минеральных солей и средой для передвижения и обмена веществ в растениях, но и неотделимой частью структуры их клеток.

Содержание воды в растениях зависит от вида и возраста растений, условий водоснабжения, транспирации и в определенной степени от условий минерального питания.

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

Сухое вещество растений на 90—95% представлено органическими соединениями — белками и другими азотистыми веществами, углеводами (сахарами, крахмалом, клетчаткой, пектиновыми веществами), жирами — содержание которых определяет качество урожая (табл. 6).

6. Средний химический состав урожая сельскохозяйственных растений, в %  
(по Б. П. Плешкову)

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

\* Сырой протеин включает белки и небелковые азотистые вещества

Сбор сухого вещества с товарной частью урожая основных сельскохозяйственных культур может колебаться в очень широких пределах — от 15 до 100 ц и более с 1 га.

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

Бобовые культуры — зерновые бобовые и травы — отличаются повышенным содержанием белков и меньшим — углеводов, качество их урожая определяется прежде всего размерами накопления белка. Качество урожая картофеля оценивается по содержанию крахмала, а сахарной свеклы — углевода сахарозы. Увеличение содержания белка и особенно небелковых азотистых соединений в корнях сахарной свеклы, выращиваемой для производства сахара, нежелательно. Масличные культуры выращиваются для получения жиров — растительных масел, используемых как для пищевых, так и промышленных целей. При возделывании прядильных культур — льна, конопли, хлопчатника — целью является получение более высокого урожая волокна, состоящего из клетчатки. Накопление же повышенного количества клетчатки в зеленой массе и сене однолетних и многолетних трав ухудшает их кормовые достоинства.

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

Качество урожая сельскохозяйственных культур может зависеть и от наличия органических соединений, содержание которых в растениях относительно невелико — витаминов, алкалоидов, гликозидов, органических кислот, эфирных и горчичных масел и т. д.

**Белки и другие азотистые соединения.** Белки — высокомолекулярные органические вещества, построенные из сотен и тысяч остатков довольно ограниченного количества аминокислот. Белки — основа жизни организмов — играют решающую роль во всех процессах обмена веществ. Белки выполняют структурные и каталитические функции, являются также одним из основных запасных веществ растений.

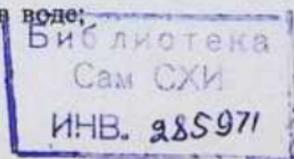
Содержание белков в вегетативных органах растений обычно составляет 5—20% от их массы, в семенах хлебных злаков — 6—20%, а в семенах бобовых и масличных культур — 20—35%.

Белки имеют следующий довольно стабильный элементарный состав (в %): углерод — 51—55, кислород — 21—24, азот — 15—18, водород — 6,5—7, сера — 0,3—1,5.

По своему строению белки разделяются на две группы: простые белки, или протеины, построенные из остатков аминокислот, и сложные белки, или протеиды, в состав которых входит простой белок, прочно связанный с соединениями небелковой природы.

Протеины по растворимости подразделяются на следующие фракции:

альбумины — растворимые в воде;



глобулины — растворимые в слабых (4—10%) растворах нейтральных солей;

проламины — спирторастворимые белки (растворимые в 70%-ном этиловом спирте);

глотелины — щелочерастворимые белки.

Отдельные фракции белка отличаются по составу и числу остатков входящих в них аминокислот, а также функциям. Альбумины и глобулины, например, относительно низкомолекулярные белки, к которым относятся многочисленные белки-ферменты, катализирующие все биохимические реакции в растительных организмах.

Сложные белки, содержащие жироподобные вещества, называются липопротеидами. Они входят в состав клеточных мембран и обуславливают их избирательную проницаемость, составляют основу внутриклеточных структур. Нуклеопротеиды содержат белок, связанный с нуклеиновыми кислотами, и выполняют важные функции в биосинтезе белковых веществ и переносе наследственной информации. Составной частью протендов могут являться также углеводы и их производные, металлы, остатки фосфорной кислоты, небелковые окрашенные соединения. Такие сложные белки соответственно называют металло-, фосфо- и хромопротеидами. Они участвуют в разнообразных процессах жизнедеятельности организмов, а хромопротеид, связанный с хлорофиллом, — в фотосинтезе.

Основной структурной единицей всех белков являются аминокислоты — органические кислоты жирного или ароматического ряда, содержащие, кроме карбоксильных групп ( $-\text{COOH}$ ), одну или две аминогруппы ( $-\text{NH}_2$ ).

Растительные белки построены из 20 аминокислот и двух амидов.

Белки сельскохозяйственных культур различаются по своему фракционному и аминокислотному составу. Так, основную массу белков семян бобовых и масличных культур составляют глобулины, а проламины встречаются только в семенах злаков. Проламины и глотелины входят в состав клейковины пшеницы, определяющей технологические и хлебопекарные качества зерна.

Особое значение имеет содержание в белках растений так называемых «незаменимых» аминокислот (валина, лейцина и изолейцина, треонина, метионина, гистидина, лизина, триптофана и фенилаланина), которые не могут синтезироваться в организмах человека и животных. Эти аминокислоты люди и животные получают только с растительными пищевыми продуктами и кормами.

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

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

В клубнях картофеля, корнеплодах и листовых овощах на долю азотистых небелковых соединений приходится до половины общего количества азота. Они представлены минеральными соединениями

(нитраты, аммоний) и органическими (среди которых преобладают свободные аминокислоты и амиды), хорошо усваиваются в организмах животных и человека.

Небольшая часть небелковых органических соединений в растениях представлена пептидами (построенными из ограниченного количества остатков аминокислот и поэтому в отличие от белков имеющими низкую молекулярную массу), а также пуриновыми и пиримидиновыми основаниями (входящими в состав нуклеиновых кислот).

Для оценки качества растениеводческой продукции часто пользуются показателем «сырой протеин», которым выражают сумму всех азотистых соединений (белка и небелковых соединений). Рассчитывают «сырой протеин» путем умножения процентного содержания общего азота в растениях на коэффициент 6,25 (получаемый исходя из среднего — 16% — содержания азота в составе белка и небелковых соединений).

Углеводы в растениях представлены сахарами (моносахарами и олигосахаридами, содержащими 2—3 остатка моносахаров) и полисахаридами (крахмалом, клетчаткой, пектиновыми веществами).

Сахара содержатся в небольших количествах во всех сельскохозяйственных растениях, а в корнеплодах и отдельных органах овощных культур, плодах винограда, ягодах и фруктах могут накапливаться в качестве запасных веществ. Преобладающими моносахаридами в большинстве растений являются глюкоза и фруктоза, а олигосахаридами — дисахарид сахароза.

Глюкоза и фруктоза в растениях находятся в свободном состоянии, в виде эфиров фосфорной кислоты, а также входят в состав многих олиго- и полисахаридов, гликозидов. Моносахариды и прежде всего глюкоза — основной энергетический материал при дыхании растений, а их фосфорные эфиры наряду с другими сахарофосфатами участвуют в фотосинтезе, синтезе сложных углеводов и других процессах обмена веществ. Сладкий вкус многих плодов и ягод связан с наличием глюкозы и фруктозы в свободном состоянии. Глюкоза в значительных количествах (8—15%) содержится в ягодах винограда, откуда и получила название «виноградный сахар», и составляет до половины общего количества сахаров в плодах и ягодах. Фруктоза, или «плодовый сахар», накапливается в больших количествах в косточковых плодах (6—10%) и содержится в меде. Она слаще глюкозы и сахарозы. В корнеплодах доля моносахаридов среди сахаров невелика (до 1% от общего их содержания).

Сахароза — дисахарид, построенный из глюкозы и фруктозы. В небольших количествах находится во всех растениях, более высоким ее содержанием (4—8%) отличаются плоды и ягоды, а также морковь, столовая свекла и лук.

Сахароза является основным запасным углеводом в корнях сахарной свеклы (14—22%) и в соке стеблей сахарного тростника (11—25%). Целью выращивания этих растений и является получение сырья для производства сахара, используемого в питании людей.

К р а х м а л в небольших количествах содержится во всех зеленых

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

Крахмал состоит из амилозы и амилопектина (соответственно 15—25 и 75—85%) — полисахаридов, состоящих из громадного количества остатков глюкозы. Амилоза имеет меньшую молекулярную массу — 100 000—600 000, чем амилопектин, — 1 000 000. Последний в отличие от амилозы имеет не линейные цепи глюкозных остатков, а разветвленные, труднее поддающиеся гидролизу. Амилоза растворяется в воде без клейстеризации и с иодом дает синее окрашивание. Амилопектин в горячей воде образует клейстер, с иодом дает фиолетовую окраску.

Крахмал — легко усвояемый организмом людей и животных углевод. При ферментативном (под действием ферментов амилаз) и кислотном гидролизе распадается до глюкозы.

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

Клетчатка — полисахарид из неразветвленной цепи глюкозных остатков, имеет молекулярную массу от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов. При полном гидролизе клетчатки образуется глюкоза.

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

В основе строения этих полисахаридов лежит цепь из остатков полигалактуроновой кислоты, образующейся при окислении моносахарида галактозы, с метильными группировками.

Жиры и жироподобные вещества (липиды) являются структурными компонентами цитоплазмы растительных клеток, а у масличных культур выполняют роль запасных соединений. Количество структур-

ных липидов обычно небольшое — 0,5—1% от сырой массы растений, но они выполняют в растительных клетках важные функции, в том числе по регуляции проницаемости мембран. Семена масличных культур и сои используются для получения растительных жиров, называемых маслами.

Среднее содержание жира в семенах важнейших масличных культур и сои следующее (в %):

клешевина	60	лен	30
кунжут	45—50	конопля	30
мак	45—50	горчица	30—35
маслина	45—50	хлопчатник	25
подсолнечник	24—50	соя	20

По химическому строению жиры — смесь сложных эфиров трехатомного спирта глицерина и высокомолекулярных жирных кислот. В растительных жирах ненасыщенные кислоты представлены олеиновой, линолевой и линоленовой кислотами, а насыщенные — пальмитиновой и стеариновой кислотами. Состав жирных кислот в растительных маслах определяет их свойства — консистенцию, температуру плавления и способность к высыханию, прогорканию, омылению, а также их пищевую ценность. Линолевая и линоленовая жирные кислоты содержатся только в растительных маслах и являются «незаменимыми» для человека, так как не могут синтезироваться в его организме. Жиры являются наиболее энергетически выгодными запасными веществами — при их окислении выделяется в два раза больше энергии, чем углеводов и белков.

К липидам относятся также фосфатиды, воски, каротиноиды, стеарины и жирорастворимые витамины А, D, Е и К.

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

Важное значение для увеличения валового сбора наиболее ценной составной части урожая и улучшения его качества имеют условия питания растений. Например, усиление азотного питания повышает относительное содержание в растениях и сбор белка с урожаем товарной продукции, а усиленное фосфорно-калийное питание способствует большему накоплению углеводов — сахарозы в корнях сахарной свеклы, крахмала в клубнях картофеля. Фосфорно-калийные удобрения повышают у масличных культур содержание жира и улучшают его качество. Созданием соответствующих условий питания с помощью удобрений можно повысить накопление наиболее ценных в хозяйственном отношении органических соединений в составе сухого вещества урожая.

Средний элементарный состав сухого вещества растений (в весовых процентах) следующий: углерод — 45, кислород — 42, водород — 6,5, азот и прочие многочисленные элементы — 6,5. Всего в составе растений обнаружено более 70 химических элементов (по-видимому, по

мере совершенствования аналитических методов число это будет возрастать).

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

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

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

Для обеспечения нормальной жизнедеятельности, кроме макроэлементов, растениям в небольших количествах необходимы бор, марганец, медь, цинк, молибден, кобальт и ванадий. Содержание каждого из этих элементов в растениях составляет от тысячных до сотых долей процента, и они получили название *микроэлементов*.

Количественные различия в содержании макро- и микроэлементов в составе сухого вещества растений иллюстрируют данные таблицы 7.

7. Содержание атомов основных элементов минерального питания, в тыс. на 1 млрд. атомов, в сухом веществе типичного растения

Макроэлементы		Микроэлементы		Макроэлементы		Микроэлементы	
N	10 000	B	3	Ca	1840	Cu	0,1
P	1 060	Mn	1	Mg	1740	Mo	0,005
K	3 760	Zn	0,3	S	580	Co	0,001
		Fe			130		

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

Количество азота в растениях тесно коррелирует с содержанием белка, а его всегда больше в семенах и молодых листьях, чем в соломе созревших культур. В ботве содержание азота больше, чем в клубнях и корнеплодах. В товарной части урожая основных сельскохозяйственных культур на долю золы приходится от 2 до 5% массы сухого вещества, в молодых листьях и соломе зерновых, ботве корне- и клубнеплодов 6—14%. Наиболее высоким содержанием золы (до 20% и более) отличаются листовые овощи (салат, шпинат).

Состав зольных элементов у растений также имеет существенные различия (табл. 8). В золе семян зерновых и бобовых культур сумма

окислов фосфора, калия и магния составляет до 90%, а среди них преобладает фосфор (30—50% массы золы). Доля фосфора в золе листьев и соломы значительно меньше, и в ее составе преобладают калий и кальций. Зола клубней картофеля, корней сахарной свеклы и других корнеплодов представлена преимущественно окисью калия (40—60% массы золы). В золе корнеплодов содержится значительное количество окиси натрия, а соломе злаков — окиси кремния. Более высоким содержанием серы отличаются бобовые культуры и растения семейства капустные.

8. Примерное содержание отдельных элементов в золе растений, в % от ее массы

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

В состав растений в относительно больших количествах входят кремний, натрий и хлор, а также большое число так называемых ультрамикрэлементов, содержание которых исключительно мало — от  $10^{-6}$  до  $10^{-8}$  %. Физиологические функции и абсолютная необходимость этих элементов для растительных организмов еще не окончательно установлены.

#### Контрольные вопросы

1. Каково содержание воды и сухого вещества в различных видах сельскохозяйственной продукции?
2. Какие основные функции присущи воде в растительных организмах?
3. Охарактеризуйте содержание в растениях и состав растительных белков. Что такое «сырой протеин»?
4. Перечислите основные углеводы и укажите их содержание в растениях.
5. Укажите химический состав растительных масел и содержание жира в основных маслических культурах.
6. Каков элементарный химический состав сухого вещества растений?
7. Какие элементы называются органогенными и почему?
8. Что такое макро- и микроэлементы? Перечислите элементы минерального питания растений.
9. В чем основное различие в содержании зольных элементов в семенах и соломе злаков, бобовых и маслических культур, в товарной части урожая и ботве корнеклубнеплодов?

**РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ.  
ВЫНОС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ  
С УРОЖАЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

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

Азот входит в состав белков, ферментов, нуклеиновых кислот, хлорофилла, витаминов, алкалоидов. Характерным признаком азотного голодания является торможение роста вегетативных органов растений и появление бледно-зеленой или даже желто-зеленой окраски листьев из-за нарушения образования хлорофилла (рис. 2). Азот повторно используется (реутилизируется) в растениях, и признаки его недостатка проявляются сначала у нижних листьев. Пожелтение начинается с жилок листа и распространяется к краям листовой пластинки. При остром и длительном азотном голодании бледно-зеленая окраска листьев растений переходит в различные тона желтого, оранжевого и красного цвета (в зависимости от вида растений), затем пораженные листья высыхают и преждевременно отмирают. При нормальном снабжении азотом листья темно-зеленые, растения хорошо кустятся, формируют мощный ассимиляционный стебле-листовой аппарат, а затем полноценные репродуктивные органы.

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

**Фосфор** входит в состав сложных белков, играет важную роль в процессах обмена энергии в растительных организмах. Энергия солнечного света в процессе фотосинтеза и энергия, выделяемая при окислении в процессе дыхания ранее синтезированных органических соединений, аккумулируется в растениях в виде энергии фосфатных связей у так называемых макроэргических соединений, важнейшим из которых является аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). Накопленная в АТФ при фотосинтетическом и окислительном фосфорилировании энергия используется для всех жизненных процессов роста и развития растения, в том числе для поглощения питательных веществ из почвы, синтеза органических соединений, их транспорта. При недостатке фосфора нарушается обмен энергии и веществ в растениях.

Особенно резко дефицит фосфора сказывается у всех растений на образовании репродуктивных органов. Его недостаток тормозит

развитие и задерживает созревание, вызывает снижение урожая и ухудшение качества продукции. Растения при недостатке фосфора резко замедляют рост, листья их приобретают (сначала с краев, а затем по всей поверхности) серо-зеленую, пурпурную или красно-фиолетовую окраску (рис. 3). У зерновых злаков дефицит фосфора снижает кущение и образование плодородных стеблей. Признаки фосфорного голодания обычно проявляются уже на начальных стадиях развития растений, когда они имеют слабо развитую корневую систему и не способны усваивать труднорастворимые фосфаты почвы.

Листья сахарной свеклы при фосфорном голодании бывают мелкими, с голубоватым оттенком. Их края, особенно у нижних листьев, отмирают и чернеют, причем чернота захватывает и жилки листа. У картофеля при недостатке фосфора образуются мелкие темно-зеленые листья с закрученными вверх в трубочку листовыми пластинками. У томатов нижняя сторона листьев, а затем их черешки и стебли приобретают характерную при дефиците фосфора красно-фиолетовую окраску. Стебли льна при фосфорном голодании тонкие, прямостоячие с мелкими голубовато-зелеными листьями, прижатыми к стеблю. Растения хлопчатника и подсолнечника в условиях недостатка фосфора замедляют рост, формируют мелкие, рано отмирающие листья.

Калий участвует в процессах синтеза и оттока углеводов в растениях, обуславливает водоудерживающую способность клеток и тканей, влияет на устойчивость растений к неблагоприятным условиям внешней среды и поражаемость культур болезнями.

Внешние признаки калийного голодания проявляются в побурении краев листовых пластинок — «краевом запале». Края и кончики листьев приобретают «обожженный» вид, на пластинках появляются мелкие ржавые крапинки (рис. 4). При недостатке калия неравномерно растут клетки, что вызывает гофрированность, куполообразное закручивание листьев. У картофеля на листьях появляется также характерный бронзовый налет.

Особенно часто недостаток калия проявляется при возделывании картофеля, корнеплодов, капусты, силосных культур и многолетних трав. Зерновые злаки менее чувствительны к недостатку калия. Но и они при остром дефиците калия плохо кустятся, междоузлия стеблей укорачиваются, а листья, особенно нижние, увядают даже при достаточном количестве влаги в почве. Чаще недостаток калия проявляется на легких почвах и торфяниках, пойменных почвах.

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

Недостаток кальция сказывается прежде всего на состоянии корневой системы растений: рост корней замедляется, не образуются корневые волоски, корни ослизняются и загнивают. При дефиците кальция тормозится также рост листьев, у них появляется хлоротичная пятнистость, затем они желтеют и преждевременно отмирают.

Кальций в отличие от азота, фосфора, калия не может повторно использоваться (реутилизироваться), и поэтому признаки кальциевого голодания проявляются прежде всего на молодых листьях. Недостаток кальция может наблюдаться при возделывании культур на кислых почвах, особенно легкого механического состава.

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

Сера имеет важное значение в жизни растений. Основное количество ее в растениях находится в составе белков (сера входит в состав аминокислот цистеина, цистина и метионина) и других органических соединений — ферментов, витаминов, горчичных и чесночных масел. Сера принимает участие в азотном, углеводном обмене растений и процессе дыхания, синтезе жиров. Больше серы содержат растения из семейства бобовых и крестоцветных, а также картофель. При недостатке серы образуются мелкие с светлой желтоватой окраской листья на вытянутых стеблях, ухудшаются рост и развитие растений.

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

Бор оказывает большое влияние на углеводный, белковый и нуклеиновый обмен, ряд других биохимических процессов в растениях. При его недостатке нарушается синтез и особенно передвижение углеводов, формирование репродуктивных органов, оплодотворение и плодоношение. Бор не может реутилизироваться в растениях, поэтому при его недостатке прежде всего страдают молодые растущие органы, происходит отмирание точек роста.

Более требовательны к бору и чувствительны к его недостатку корнеплоды, подсолнечник, бобовые, лен, картофель и овощные растения. У сахарной, кормовой и столовой свеклы дефицит бора вызывает поражение сердцевинной гнилью корнеплодов, появлению дуплистости корня (рис. 5). Лен при недостатке бора поражается бактериозом. Отмирание верхушечной точки роста приводит к усиленному образованию боковых побегов, которые также останавливаются в росте, резко снижается выход и качество волокна. У подсолнечника острый дефицит бора вызывает полное отмирание точки роста либо при более позднем

проявлении недостатка бора наблюдается ненормальное развитие цветков, пустоцвет и снижение урожая семян. При борном голодании бобовых нарушается развитие клубеньков на корнях и снижается симбиотическая фиксация молекулярного азота из атмосферы, замедляется рост и формирование репродуктивных органов. Картофель при недостатке бора поражается паршой, у плодовых деревьев появляется суховершинность, развивается наружная пятнистость и опробковение тканей плодов. Недостаток бора чаще наблюдается на известкованных дерново-подзолистых и серых лесных почвах, дерново-глеевых и темноцветных заболоченных почвах.

Молибдену принадлежит исключительная роль в азотном питании растений. Он участвует в процессах фиксации молекулярного азота (бобовыми в симбиозе с клубеньковыми бактериями и свободноживущими почвенными азотфиксирующими микроорганизмами) и восстановлении нитратов в растениях. Особенно требовательны к наличию молибдена в почве в доступной форме бобовые культуры и овощные растения — капуста, листовые овощи, редис. Внешние признаки недостатка молибдена сходны с признаками азотного голодания — резко тормозится рост растений, вследствие нарушения синтеза хлорофилла они приобретают бледно-зеленую окраску.

Дефицит молибдена ограничивает развитие клубеньков на корнях бобовых, резко тормозит рост растений, они приобретают бледно-зеленую окраску, наблюдается деформация листовых пластинок и преждевременное отмирание листьев, резко снижается урожай и содержание белка в растениях. Недостаток молибдена при больших дозах азота может приводить к накоплению в растениях, особенно овощных и кормовых, повышенных количеств нитратов, токсичных для животных и человека. Дефицит молибдена наблюдается обычно на кислых почвах, особенно легкого механического состава.

Марганец входит в состав окислительно-восстановительных ферментов, участвующих в процессах дыхания, фотосинтеза, углеводного и азотного обмена растений. Он играет важную роль в усвоении нитратного и аммонийного азота растениями. Наиболее чувствительны к недостатку марганца и требовательны к его наличию в доступной форме в почве свекла и другие корнеплоды, картофель, злаковые, а также яблоня, черешня и малина. Наиболее характерный симптом марганцевого голодания — точечный хлороз листьев. На листовых пластинках между жилками появляются мелкие желтые хлоротичные пятна, затем пораженные участки отмирают. Чаще всего недостаток марганца проявляется на почвах с нейтральной и щелочной реакцией, особенно на легких почвах и почвах болотного типа.

Медь также входит в состав целого ряда окислительно-восстановительных ферментов и принимает участие в процессах фотосинтеза, углеводного и белкового обмена. Недостаток доступной растениям меди на осушенных торфянисто-болотных почвах с нейтральной или щелочной реакцией вызывает «болезнь обработки», или «белую чуму», у зерновых культур. Заболевание начинается с внезапно-го побеления и засыхания кончиков листьев. Пораженные растения

совсем или частично не образуют колосьев или метелок, а образующиеся соцветия бесплодны либо слабо озернены. При недостатке меди резко снижается урожай зерна, а при остром медном голодании наблюдается полное отсутствие плодоношения.

**Цинк** оказывает многостороннее действие на обмен энергии и веществ в растениях, что обусловлено его участием в составе ряда ферментов и в синтезе ростовых веществ — ауксинов. При недостатке цинка резко тормозится рост растений, нарушается фотосинтез процессы фосфорилирования, синтез углеводов и белков, обмен фенольных соединений. Специфические признаки цинкового голодания — задержка роста междоузлий, появление хлороза и мелколистности, развитие розеточности. От недостатка цинка чаще всего страдают плодовые и цитрусовые культуры на нейтральных и слабощелочных карбонатных почвах с высоким содержанием фосфора.

При заболевании «розеточностью» от дефицита цинка на концах молодых побегов образуются мелкие листья, располагающиеся в форме розетки.

При сильном поражении ветви отмирают, что приводит к появлению «суховершинности».

**Кобальт** — микроэлемент, необходимый для биологической фиксации молекулярного азота и являющийся компонентом витамина  $B_{12}$ . Недостаток кобальта (внешние признаки сходны с симптомами азотного голодания) может проявляться на известкованных, нейтральных и щелочных почвах прежде всего у бобовых культур. При низком содержании кобальта в кормах у животных развивается анемия, падает аппетит и резко снижается продуктивность.

Недостаток или избыток других микроэлементов также приводит к заболеванию людей и животных. Например, низкое содержание иода в почвах, а следовательно, растительной пище и кормах вызывает воспаление щитовидной железы, недостаток марганца — появление бесплодия, меди — малокровия и заболевание рахитом, избыток молибдена — желудочные расстройства и т. д.

Необходимость регулирования питания растений в отношении отдельных элементов в агрономической практике далеко не одинакова. Микроэлементы необходимы растениям в ограниченных количествах. Вынос этих элементов с урожаем сельскохозяйственных культур составляет лишь десятки или сотни граммов на 1 га, и потребность во многих из них может полностью удовлетворяться за счет почвы и применяемых органических удобрений, а нередко только за счет запасов в семенах. Однако недостаток отдельных микроэлементов у более требовательных к их наличию культур может проявляться на почвах с низким содержанием доступных для растений форм микроэлементов. Применение микроэлементов в виде соответствующих микроудобрений может в этом случае повысить урожай сельскохозяйственных культур и улучшить качество получаемой продукции.

Такие макроэлементы, как кальций, магний и сера, обычно содержатся в большинстве почв в количествах, достаточных для обеспечения растений. Кроме того, они вносятся в почву с мелиорирующей

щими материалами (известью и гипсом), а также в составе применяемых органических и минеральных удобрений.

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

Общий вынос этих питательных веществ с урожаем сельскохозяйственных культур и соотношение потребляемых элементов питания сильно различаются (табл. 9).

9. Примерный вынос основных элементов питания с урожаем сельскохозяйственных культур

Культуры	Урожай основной продукции, ц с 1 га	Выносятся с урожаем, кг с 1 га		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Зерновые злаковые	30—35	90—110	30—40	60—90
Зерновые бобовые	25—30	100—150	35—45	50—80
Картофель	200—250	120—200	40—60	180—300
Сахарная свекла	400—500	180—250	55—80	250—400
Кукуруза (зеленая масса)	500—700	150—180	50—60	180—250
Капуста	500—700	160—230	65—90	220—320
Хлопчатник	30—40	160—220	50—70	180—240

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

Относительное содержание элементов минерального питания в основной и побочной продукции разнообразных сельскохозяйственных культур определяется прежде всего их видовыми особенностями, но зависит также от сорта и условий выращивания. Содержание азота и фосфора значительно выше в хозяйственно ценной части урожая — зерне, корне- и клубнеплодах, чем в соломе и ботве. Калия же больше содержится в соломе и ботве, чем в товарной части урожая (табл. 10).

10. Содержание азота, фосфора и калия в сельскохозяйственных растениях (П. М. Смирнов)

Культура	Содержание элементов питания		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
В % на сухое вещество			
Пшеница озимая:			
зерно	2,80	0,85	0,50
солома	0,45	0,20	0,90
Пшеница яровая:			
зерно	3,40	0,85	0,60
солома	0,67	0,20	0,75
Рожь озимая:			
зерно	2,20	0,85	0,60
солома	0,45	0,26	1,00
Ячмень:			
зерно	2,10	0,85	0,55
солома	0,50	0,20	1,00

Культура	Содержание элементов питания		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Просо:			
зерно	1,85	0,65	0,50
солома	—	0,18	1,59
Кукуруза:			
зерно	1,91	0,57	0,37
солома	0,75	0,30	1,64
Горох:			
зерно	4,50	1,00	1,25
солома	1,40	0,35	0,50
Гречиха:			
зерно	1,80	0,57	0,27
солома	0,80	0,61	2,42
Лен:			
семена	4,00	1,35	1,00
солома	0,62	0,42	0,97
Конопля:			
семена	3,50	1,69	0,94
солома	0,27	0,21	0,55
Подсолнечник:			
семена	2,61	1,39	0,96
целое растение	1,56	0,76	5,25
Хлопчатник:			
семена	3,00	1,10	1,25
волокно (сырец)	0,34	0,06	0,91
	В % на сырую массу		
Картофель:			
клубни	0,32	0,14	0,60
ботва	0,30	0,10	0,85
Сахарная свекла:			
корни	0,24	0,08	0,25
ботва	0,35	0,10	0,50
Капуста:			
кочаны	0,33	0,09—0,12	0,27—0,44
Томаты:			
плоды	0,26	0,07	0,29—0,36

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

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

Содержание в растениях и общий вынос элементов питания с урожаем могут сильно изменяться в зависимости от климатических, почвенных и агротехнических условий.

В урожае зерновых колосовых культур соотношение N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O

колеблется в сравнительно небольших пределах и составляет 2,5—3,0 : 1,0 : 1,8—2,6.

В среднем этими культурами азота потребляется в 2,8 раза, а калия в 2,2 раза больше, чем фосфора (табл. 11).

11. Среднее соотношение  $N:P_2O_5:K_2O$  в урожае различных культур

Культура	N	$P_2O_5$	$K_2O$
Зерновые колосовые	2,8	1	2,2
Картофель	2,5—3,5	1	4—4,5
Сахарная свекла	2,5—3,5	1	3,5—5,0
Кормовая свекла	3,5—4,5	1	4,5—6,0

Для сахарной свеклы, кормовых и овощных корнеплодов, картофеля, подсолнечника, капусты и ряда других культур характерно гораздо большее потребление калия, чем азота, и соотношение  $N:P_2O_5:K_2O$  может составлять 2,5—3,5 : 1,0 : 3,5—5,0. У корне- и клубнеплодов, подсолнечника в зависимости от условий выращивания особенно сильно может изменяться структура урожая. Это вызывает резкие различия в размерах потребления основных элементов питания на единицу товарной продукции и в соотношении между ними. Например, в лесостепных районах на каждые 100 ц урожая корней и соответствующего количества ботвы сахарная свекла потребляет 50 кг азота, 15 кг  $P_2O_5$  и 60 кг  $K_2O$ . В Нечерноземной зоне свекла формирует большее количество ботвы и на каждые 100 ц корней потребляется 80—100 кг азота, 35 кг  $P_2O_5$  и 145 кг  $K_2O$ .

Наиболее продуктивное использование растениями питательных веществ из почвы и внесенных удобрений обеспечивается при наиболее благоприятных почвенно-климатических условиях, высоком уровне агротехники в сочетании с правильным применением удобрений. Одновременно достигается минимальное потребление элементов питания на единицу урожая основной сельскохозяйственной продукции. Средние размеры потребления азота, фосфора и калия на формирование 10 ц товарной продукции основных сельскохозяйственных культур приведены в таблице 12.

12. Вынос основных элементов питания с урожаем, кг на 10 ц основной продукции

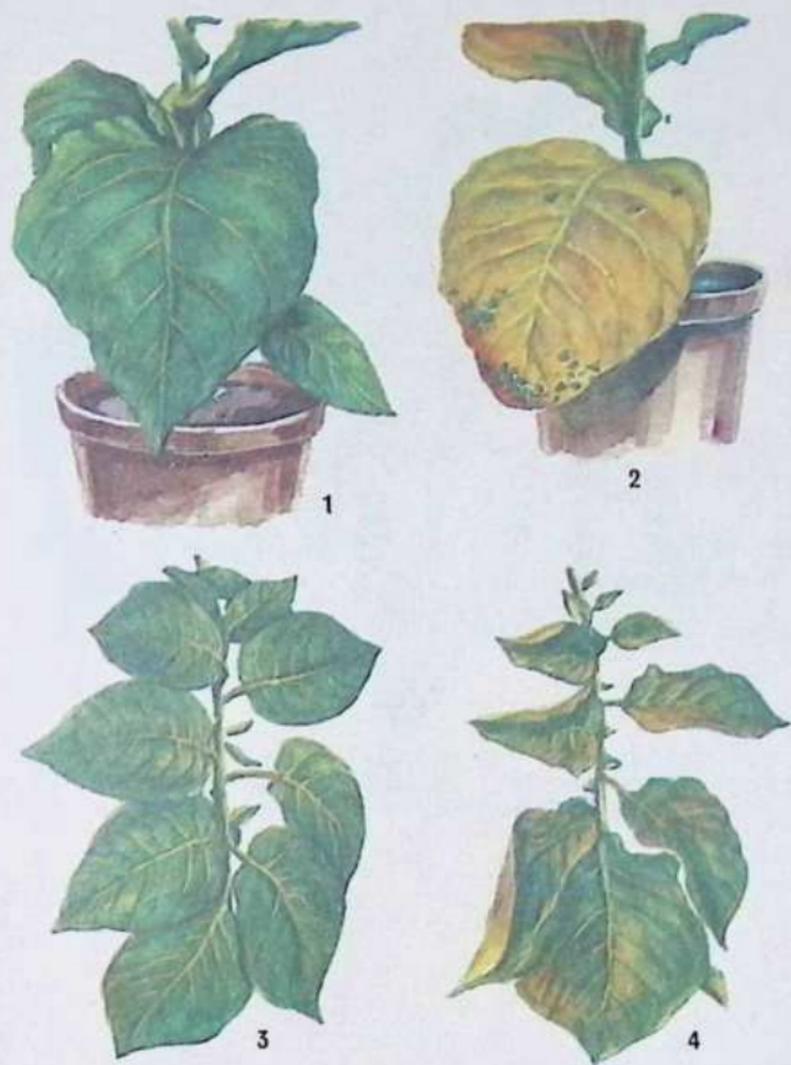
Продукция	N	$P_2O_5$	$K_2O$
Зерно:			
озимой ржи	31,0	14,0	26,0
озимой пшеницы	37,0	13,0	23,0
яровой пшеницы	47,0	12,0	18,0
ячменя	29,0	11,0	20,0
овса	33,0	14,0	29,0
гороха	66,0	16,0	20,0
Волокно льна	80,0	40,0	70,0
Зеленая масса кукурузы	2,5	1,0	3,5

Продукция	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Корнеплоды:			
сахарной свеклы	5,9	1,8	7,5
кормовой свеклы	4,9	1,5	6,7
турнепса	4,8	1,7	5,7
кормовой моркови	5,2	1,9	6,0
брюквы	5,5	3,1	7,7
столовой моркови	3,2	1,6	5,0
Белокачанная капуста	3,3	1,3	4,4
Томаты	2,6	0,4	3,6
Огурцы	1,7	1,4	2,6
Лук	3,0	1,2	4,0
Клубни картофеля	6,2	2,0	9,0
Сено:			
клеверное	19,7	5,6	15,0
люцерновое	26,0	6,5	15,0
тимофеечное	15,5	7,0	24,0
вики	22,7	6,2	10,0
луговое	17,0	7,0	18,0

В условиях интенсивной химизации сельского хозяйства рост урожаев сопровождается увеличением выноса всех элементов питания. Расширение производства высококонцентрированных безбалластных сложных туков сокращает поступление с минеральными удобрениями почв таких элементов, как кальций, сера. Это повышает потребность вносении для обеспечения сбалансированного питания сельскохозяйственных культур не только основных элементов питания — азота, фосфора и калия, но и других макро- и микроэлементов.

#### Контрольные вопросы

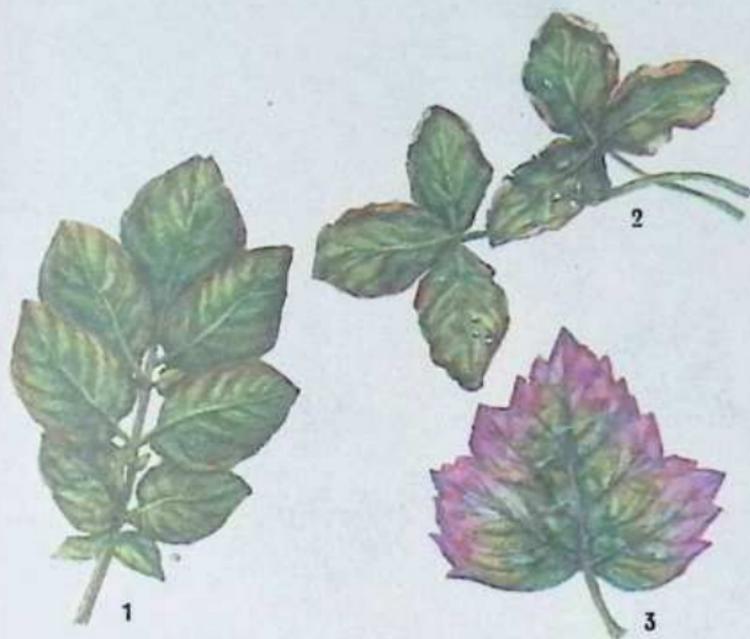
1. Как вы понимаете физиологическую равноценность всех элементов питания растений?
2. Назовите основные органические соединения, в состав которых входит азот и укажите признаки его недостатка у растений.
3. Какова основная физиологическая роль фосфора и характерные признаки его недостатка у растений?
4. Укажите основные функции калия в растительных организмах и специфические признаки калийного голодания.
5. В каких процессах участвует кальций в растениях и к чему приводит его недостаток?
6. Какова роль магния в жизни растений и признаки магниевого голодания?
7. Роль серы в жизни растений и внешние признаки ее недостатка у растений.
8. Перечислите основные функции микроэлементов в растениях и характерные признаки голодания растений при недостатке отдельных микроэлементов.
9. Назовите соотношение в выносе основных элементов питания с урожаями важнейших сельскохозяйственных культур.
10. На основании данных о потреблении азота, фосфора и калия на единицу урожая укажите размер выноса этих элементов с урожаем зерновых порядка 20, 30, 40 и 50 ц с 1 га с урожаем сахарной свеклы 200, 300, 400 и 500 ц с 1 га, с урожаем картофеля 100, 200 и 300 ц с 1 га.



Р и с. 2. Внешние признаки азотного голодания растений:  
 1 и 3 — листья табака и картофеля при полном удобрении; 2 и 4 — при недостатке азота.



Р и с. 3. Внешние признаки острого фосфорного голодания растений.  
Более старые листья рапса имеют пурпурную окраску.



Р и с. 4. Внешние признаки острого калийного голодания растений:  
1 — лист картофеля; 2 — лист клевера; 3 — лист черной смородины.

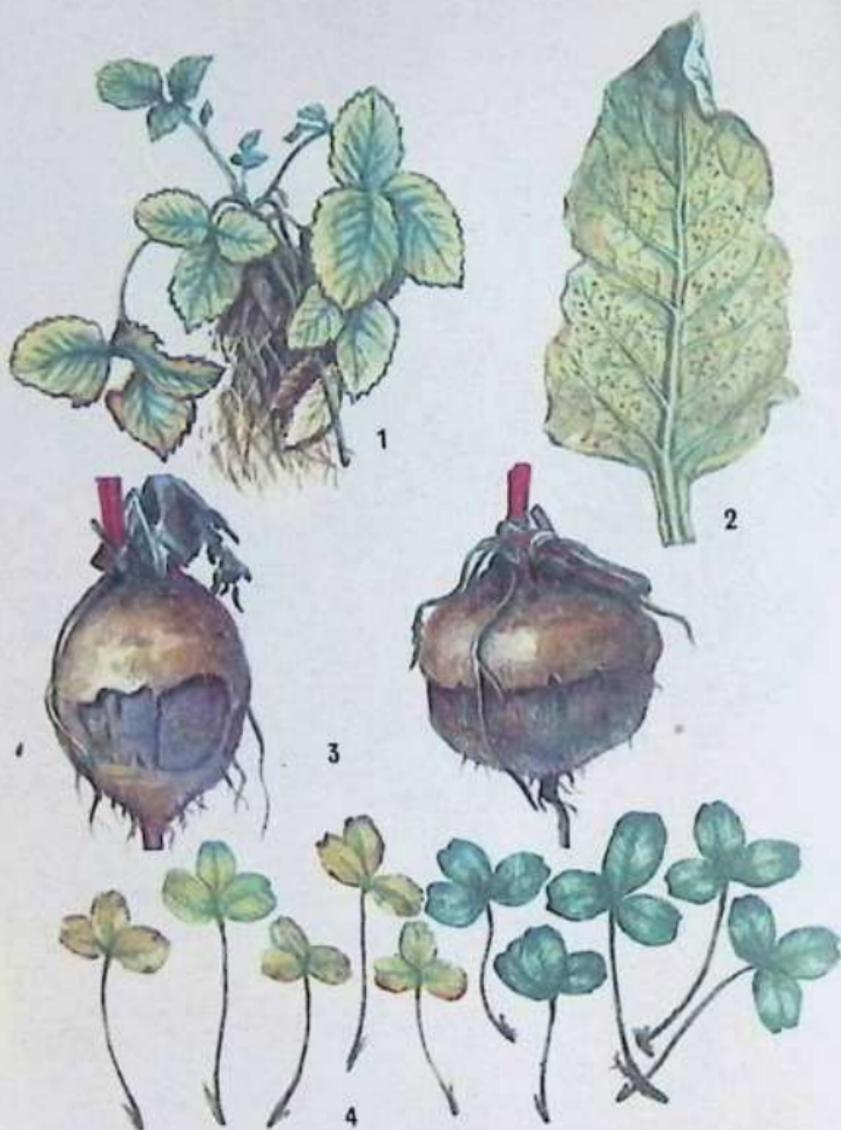


Рис. 5. Внешние признаки сильного недостатка микроэлементов у растений:

1 — листья земляники с признаками хлороза вследствие дефицита железа; 2 — лист сахарной свеклы с признаками марганцевого голодания; 3 — корнеплоды столовой свеклы, страдающей от недостатка бора; 4 — листья клевера при молибденовом голодании (слева) и при нормальной обеспеченности молибденом (справа).

## ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

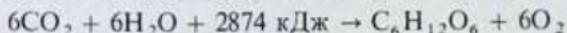
Высшие растения являются автотрофными организмами, т. е. они сами синтезируют органические вещества за счет минеральных соединений,\* в то время как для животных и подавляющего большинства микроорганизмов характерен гетеротрофный тип питания — использование органических веществ, ранее синтезированных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

### Воздушное питание

Фотосинтез является основным процессом, приводящим к образованию органических веществ в растениях. При фотосинтезе солнечная энергия в зеленых частях растений, содержащих хлорофилл, превращается в химическую энергию, которая используется на синтез углеводов из углекислого газа и воды.

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

При образовании в качестве продукта простых углеводов (гексоз) суммарное уравнение фотосинтеза выглядит следующим образом:



Путем дальнейших превращений из простых углеводов в растениях образуются более сложные углеводы, а также другие безазотистые органические соединения. Синтез аминокислот, белка и других органических азотсодержащих соединений в растениях осуществляется за счет минеральных соединений азота (а также фосфора и серы) и промежуточных продуктов обмена — синтеза и разложения — углеводов. На образование разнообразных сложных органических веществ, входящих в состав растений, затрачивается энергия, аккумулированная в виде макроэргических фосфатных связей АТФ (и других макроэргических соединений) при фотосинтезе и при окислении в процессе дыхания ранее образованных органических соединений.

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

При фотосинтезе растения усваивают углекислоту, поступившую через листья из атмосферы. Лишь небольшая часть  $\text{CO}_2$  (до 5% от общего потребления) может поглощаться растениями через корни. Через листья растения могут усваивать серу в виде  $\text{SO}_2$  из атмосферы, а также азот и зольные элементы из водных растворов при внекорневых подкормках растений. Однако в естественных условиях через листья

\* В последние годы доказана принципиальная возможность непосредственного усвоения растениями таких органических соединений, как витамины, антибиотики, ростовые вещества, аминокислоты. Однако количественная сторона усвоения этих органических веществ весьма незначительна и имеет весьма ограниченное значение в питании растений.

осуществляется «воздушное питание» главным образом углеродом, основным путем поступления в растения воды, азота и зольных элементов является корневое питание.

### Корневое питание

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

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

Корневая система растений и ее поглотительная способность. Мощность корневой системы, ее строение и характер распределения в почве у различных видов растений резко различаются.

Морфология корня, динамика формирования корневой системы, мощность ее развития и глубина проникновения в почву определяются прежде всего биологическими особенностями растений. Но независимо от морфологии и особенностей развития корневой системы у всех растений масса корней с глубиной снижается, а суммарная их поверхность возрастает. Активная, или деятельная, часть корневой системы, благодаря которой происходит поглощение элементов минерального питания из почвы, представлена молодыми растущими корешками. По мере нарастания каждого отдельного корешка верхняя его часть утолщается, покрывается снаружи опробковевшей тканью и теряет способность к поглощению питательных веществ. На скорость роста и характер развития корневой системы большое влияние оказывают физические свойства почвы, распределения в ней влаги и

13. Изменение площади поверхности корней яровой пшеницы (по Д. А. Сабинину)

Фаза развития	Поверхность корней, кв. м, на куст		Отношение деятельной поверхности корней к недейтельной
	общая	в том числе деятельная	
Кушение	9,60	4,91	1,05
Выход в трубку	29,39	10,87	0,59
Начало цветения	36,73	17,07	0,86
Конец цветения	44,09	24,76	1,30
Восковая спелость	30,86	14,80	0,92

В почве сильно разветвленная корневая система растений образует огромную поглощающую поверхность. Величина ее изменяется в ходе вегетации растений, достигая чаще всего максимума в период цветения (табл. 13).

Для понимания процесса поглощения питательных веществ растениями необходимо рассмотреть первичное строение корня (рис. 6). Рост корня происходит у самого его кончика, защищенного корневым чехликом. В непосредственной близости к окончанию корешков располагается зона делящихся меристематических клеток. Выше ее находится зона растяжения, в которой наряду с увеличением объема клеток и образованием в них центральной вакуоли начинается дифференциация проводящих тканей. В зоне растяжения имеется сформированная нисходящая часть сосудисто-проводящей системы растений — флоэма, по которой происходит передвижение органических веществ из надземных органов в корень. Затем на расстоянии 1—3 мм от кончика растущего корня находится зона образования корневых волосков. В этой зоне завершается формирование и восходящей части проводящей системы — ксилемы, по которой осуществляется передвижение воды (а также частично поглощенных ионов и синтезированных в корнях органических соединений) от корня в надземную часть растений.

Корневые волоски представляют собой тонкие выросты наружных клеток с диаметром 5—72 мкм и длиной от 80 до 1500 мкм. Число корневых волосков достигает нескольких сотен на каждый миллиметр поверхности корня в этой зоне. Благодаря образованию корневых волосков резко, в десятки раз, возрастает деятельная, способная к поглощению питательных веществ, поверхность корневой системы, находящаяся в контакте с почвой (табл. 14).

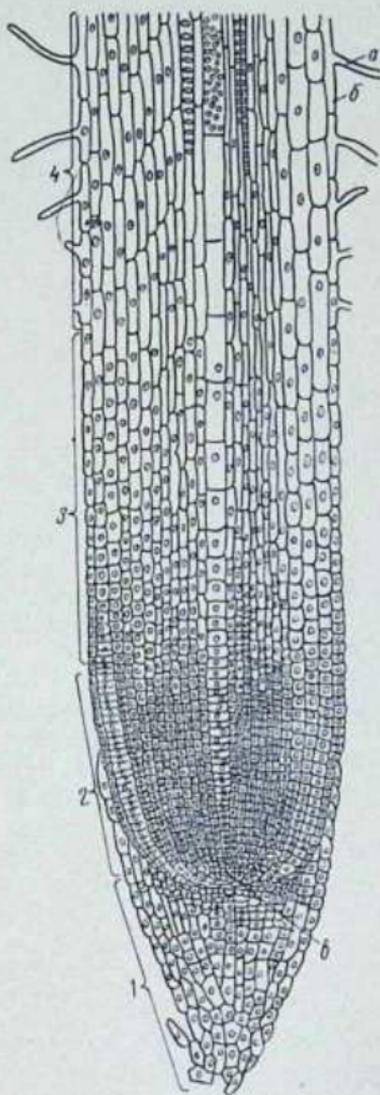


Рис. 6 Первичное строение корня (схема):

1 — корневой чехлик; 2 — зона делящихся клеток; 3 — зона растяжения клеток; 4 — зона дифференциации клеток (зона корневых волосков); а — волоски, б — эпидерма, г — инициальные клетки.

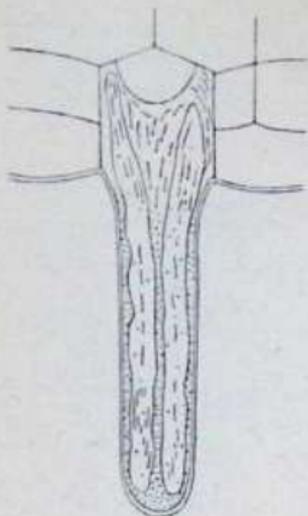


Рис. 7. Тяжи цитоплазмы (плазмодесмы) в корневом волоске.

На протяжении от кончика корня до окончания зоны образования корневых волосков наружная целлюлозная оболочка клетки не имеет кутикулы и легко проницаема. Кроме того, оболочки у клеток прилегают к друг другу тяжами цитоплазмы (плазмодесмами), соединяющими цитоплазму организмов в единую систему (рис. 7). Именно эта часть корня, лишенная кутикулы, и принимает участие в поглощении воды и питательных веществ из почвы. В зонах роста и растяжения клеток корня поглощенные элементы питания усваиваются на месте. Наиболее интенсивно поглощение ионов осуществляется в зоне образования корневых волосков, и поступившие ионы оттуда передвигаются в надземные органы растений. Необходимо указать, что корень является не только органом поглощения, но и местом синтеза отдельных органических соединений, в том числе аминокислот и белков. Последние используются для обеспечения жизнедеятельности и процессов роста самой корневой системы, а также частично транспортируются в надземные органы.

По мере нарастания корня происходит непрерывное пространственное перемещение зоны активного поглощения в почве. При этом имеет место явление *хемотропизма*, сущность которого заключается в том, что корневая система растений усиленно растет в направлении расположения доступных питательных веществ (положительный хемотропизм) либо ее рост тормозится в зоне высокой, неблагоприятной для растений концентрации солей (отрицательный хемотропизм). Недостаток элементов питания растений в доступной форме вызывает образование относительно большей массы корней, чем при высоком уровне минерального питания.

Влияние корневой системы распространяется на большой объем почвы благодаря постоянному росту корней и возобновлению корневых волосков. Старые корневые волоски (продолжительность жизни

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

Культура	Корни		Корневые волоски		
	длина, м	поверхность, см <sup>2</sup>	число, млн	длина, м	поверхность, см <sup>2</sup>
Овес	4,6	316	6,3	743,7	3 419
Рожь	6,4	503	12,5	1549,4	7 677
Соя	2,9	406	6,1	59,9	277
Мятлик луговой	38,4	2129	51,6	5166,3	15 806

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

каждого корневого волоска составляет около суток) отмирают, а новые непрерывно образуются уже на других участках растущего корешка. После отмирания корневых волосков оболочка клеток пробковеет, поступление воды и поглощение питательных веществ из почвы через нее ограничивается. Скорость роста корней у однолетних полевых культур может достигать 1 см в сутки. Растущие молодые корешки извлекают ионы из почвенного раствора в объеме почвы радиусом вокруг себя около 20 мм, а обменнопоглощенные ионы — от 2 до 8 мм.

Поглощение питательных веществ растениями через корни. Поглощение элементов питания растениями из почвы может происходить пассивным и активным путем, причем ведущая роль принадлежит активному поглощению.

**Пассивное (неметаболическое) поглощение.** В результате испарения воды (транспирации) в клетках листьев возникает сосущая сила, которая вызывает поглощение воды корнями из почвы\*. Элементы питания поглощаются вместе с водой из почвенного раствора и транспортируются из корней в надземные органы растений с восходящим потоком по единой гидростатической системе, состоящей из свободного пространства клеток, сообщающегося со свободным пространством ксилемы. Под свободным пространством понимается пространство клеток (межклетники и поры клеточной оболочки, не занятые живой цитоплазмой и составляющие до 8—10% от объема клетки), в которое минеральные элементы могут проникать путем диффузии в виде ионов.

Наряду с транспирацией в поглощении и передвижении восходящим током воды и минеральных соединений (а также синтезированных в корнях органических веществ) имеет также значение величина корневого давления. Паренхимные клетки коры корня активно нагнетают воду с растворенными в ней веществами в сосудисто-проводящую систему, создавая значительное гидравлическое давление. Пассивное поглощение элементов питания может происходить только по градиенту концентрации, т. е. от большей концентрации к меньшей, и не требует затраты метаболической энергии. Оно обусловлено процессами диффузии и осмоса и происходит за счет свободной поверхностной энергии, а также солнечной энергии, расходуемой на транспирацию.

**Активное, или метаболическое, поглощение.** Отдельные элементы питания поступают в растения в ином соотношении по сравнению с содержанием их в почвенном растворе. Одни элементы поглощаются корнями в большем количестве, а другие — в меньшем даже при одинаковой их концентрации в окружающей среде. Совершенно очевидно, что пассивное поглощение, основанное на явлениях диффузии и осмоса, не может иметь

\* Сосущая сила обусловлена разностью между осмотическим давлением (давлением растворенных в воде веществ клеточного сока на цитоплазму) и тургорным давлением (давлением жидкости внутри клетки на ее оболочку). Чем больше воды теряет растение, тем выше осмотическое давление в листьях и корневой системе, больше сосущая сила растений.

существенного значения в питании растений, носящем ярко выраженный избирательный характер.)

Поглощение элементов питания растениями происходит против градиента концентрации. Концентрация отдельных ионов в клеточном соке, как и в пасоке растений (транспортируемой из корней в надземные органы по ксилеме), значительно выше, чем в почвенном растворе.

Поглощение питательных веществ корнями и дальнейшее передвижение в растении происходят со скоростью, почти в 100 раз превышающей возможную за счет процессов диффузии и осмоса. Это убедительно было показано в исследованиях с применением меченых атомов.

Известно также, что не существует прямой зависимости поглощения питательных веществ корнями растений от интенсивности транспирации, от количества поглощенной и испарившейся воды.

Все это подтверждает положение, что поглощение питательных веществ растениями осуществляется не просто путем пассивного всасывания корнями почвенного раствора вместе с содержащимися в нем солями, а является активным физиологическим процессом, который неразрывно связан с жизнедеятельностью корней и надземных органов растений, с процессами фотосинтеза, дыхания и обмена веществ. Обязательно требует затраты энергии.

Первое структурное образование клетки на пути поглощаемых веществ — ее оболочка. Благодаря наличию довольно крупных пор клеточная оболочка не является препятствием для проникновения ионов. Пектиново-целлюлозные клеточные стенки обладают высокой адсорбирующей способностью, благодаря чему на внутренней поверхности оболочки могут осуществляться процессы концентрирования ионов из почвенного раствора. При изменении реакции среды (за счет выделения углекислоты при дыхании корней и других корневым выделений) адсорбированные ионы могут освобождаться, проникать в свободное пространство клеток корня и адсорбироваться на наружной поверхности цитоплазмы.

Протопласт каждой клетки имеет на поверхности тончайшую пограничную пленку — липидно-белковую мембрану. Эта цитоплазматическая мембрана образована соединениями, в состав которых входит большое количество функциональных групп, и отдельные ее участки имеют положительный или отрицательный заряд. На этих участках наружной поверхности цитоплазмы может происходить одновременная адсорбция из раствора катионов и анионов.

Адсорбция ионов на поверхности цитоплазматической мембраны носит обменный характер и может происходить против градиента концентрации. Обменным фондом катионов и анионов у растений могут являться ионы  $H^+$  и  $OH^-$ , а также  $H^+$  и  $HCO_3^-$ , образующиеся при диссоциации угольной кислоты, выделяемой при дыхании.)

Адсорбированные на внешней поверхности цитоплазмы катионы и анионы проникают через мембрану внутрь клетки с помощью специальных переносчиков белковой природы. Перенос ионов через мембрану против градиента концентрации и электрохимического

градиента требует затраты энергии. Основная роль в функционировании переносчиков принадлежит в связи с этим АТФ.

Энергия АТФ используется на первоначальный синтез белка-переносчика, взаимодействие переносчика с поглощаемым веществом, на осуществление самого акта переноса вещества через мембрану, распад комплекса и высвобождение поглощенного вещества, восстановление переносчика. Активный транспорт катионов через мембрану в клетку может быть сопряжен со встречным транспортом наружу  $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  и других катионов, находящихся внутри клетки в функционально избыточном количестве. Например, низкое содержание натрия и высокое содержание калия в тканях животных и некоторых галофитных растений обусловлены сопряженностью активного переноса калия внутрь клеток с потоком натрия наружу. При этом внутриклеточный избыток ионов натрия, необходимый для работы такого калий-натриевого насоса, создается за счет пассивной его диффузии по концентрационному градиенту.

Активное выкачивание из клеток корней катионов обеспечивает возникновение на внутренней поверхности мембраны электрического потенциала на уровне 50 мВ, в то время как клетки коры корня по отношению к внешнему раствору имеют более высокий потенциал — порядка 130 мВ. Это создает условия для поступления анионов через мембрану по электрохимическому градиенту.

Цитоплазматическая мембрана является не просто барьером на пути поглощения ионов в клетку, а наиболее активным ее компонентом, в котором происходит вовлечение ионов в процессы обмена веществ. Проникновение ионов через мембрану возможно благодаря наличию в ее составе сократительных белков, обладающих изменчивой структурой. Сократительные белки, очевидно, участвуют и в процессе пиноцитоза\* — захвате каплей окружающего клетку раствора путем выпячивания или внутреннего прогиба в пограничном слое цитоплазмы, а также в вовлечении поверхности мембран с адсорбированными ионами внутрь клетки за счет образования каналов и складок.

Первоначальный этап поглощения питательных веществ растениями из почвенного раствора — адсорбция ионов на поглощающей поверхности корня — постоянно возобновляется, поскольку адсорбированные ионы непрерывно перемещаются внутрь клетки корня.

Поступившие в клетку ионы в неизменном виде либо уже в форме транспортных органических соединений, синтезируемых в корнях, передвигаются в надземные органы — стебли и листья, в места наиболее интенсивной их ассимиляции.

Передвижение веществ из клетки в клетку осуществляется по плазмодесмам, соединяющим цитоплазму клеток растений в единую систему — симпласт. При передвижении по симпласту часть ионов и метаболитов может выделяться в свободное пространство и передви-

\* В последние годы показано, что явление пиноцитоза, присущее простейшим организмам, может быть одним из путей поглощения питательных веществ и растениями, однако о масштабе распространения этого процесса сведений пока нет.

гаться далее пассивно с выходящим током воды в места усвоения, они, если не будут полностью израсходованы на процессы мелизма, вновь могут транспортироваться по системе активного носса.

Поглощение корнями и транспорт питательных веществ связаны с процессами обмена веществ и энергии в растительных организмах, с жизнедеятельностью и ростом как надземных органов так и самих корней.

Процесс дыхания является источником энергии, необходимо активного поглощения элементов минерального питания. Этим обуславливается тесная связь между интенсивностью поглощения растением элементов питания с интенсивностью дыхания корней. Ухудшении роста корней и торможении дыхания (при недостатке кислорода в условиях плохой аэрации или избыточном увлажнении почвы) поглощение питательных веществ резко ограничивается.

Для нормального роста и дыхания корней необходим постоянный приток к ним энергетического материала — продуктов фотосинтеза (углеводов и других органических соединений) из надземных органов.

При ослаблении фотосинтеза уменьшается образование и перемещение ассимилятов в корни, вследствие чего ухудшается их жизнедеятельность и снижается поглощение питательных веществ из почвы.

Поступившие в растения ионы минеральных солей участвуют в обмене веществ уже в клетках корня, связываются с его клеточными структурами или непосредственно транспортируются в надземные органы. Например, нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ) могут восстанавливаться до аммиака уже в зоне поглощения, здесь же происходит образование аминокислот при аминировании поступающих по флоэме из надземных органов органических кетокислот. Синтезированные в корне аминокислоты частично используются на синтез функциональных и структурных белков в самой корневой системе. Транспорт азота в надземные органы из корней может происходить в форме  $\text{NO}_3^-$  или  $\text{NH}_4^+$  либо в форме аминокислот и пептидов — низкомолекулярных промежуточных продуктов синтеза белка.

Такие ионы, как  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  и другие, не входят в состав каких-либо органических соединений в растении, а образуют с цитоплазматическими, лабильными адсорбционными комплексами. Из таких непрочных соединений эти ионы могут быть легко освобождены и даже выделяются из тканей растений в окружающий раствор в результате экзосмоса. Другие ионы (например,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) участвуют непосредственно на синтез органических веществ (аминокислот, белков, нуклеиновых кислот, фосфатидов и др.). Эти ионы образуют устойчивые соединения, в результате чего происходит прочное связывание их в растении. Усвоение ионов минеральных солей с образованием органических соединений или неустойчивых адсорбционных комплексов с цитоплазмой обуславливает непрерывность поступления питательных веществ в растение. Исследования последних лет выявили наличие определенной суточной ритмичности в поглощении катионов и ани-

через корневую систему, отражающей чередование сменяющих друг друга фаз возбуждения и торможения в жизнедеятельности растений.

**Избирательное поглощение ионов растениями.** Физиологическая реакция солей. Различные элементы питания в неодинаковой степени используются в процессах внутриклеточного обмена в растении для синтеза органических веществ и построения новых органов и тканей. Этим определяется неравномерность поступления отдельных ионов в корни, избирательное поглощение их растениями. Больше поступает в растение из почвы тех ионов, которые в большей степени необходимы для синтеза органических веществ, для построения новых клеток, тканей и органов.

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

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

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

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

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

Физиологическая реакция солей, используемых в качестве минеральных туков, обязательно должна учитываться во избежание ухудшения условий роста и развития сельскохозяйственных культур, особенно на малобуферных почвах.

### **Влияние условий внешней среды на поглощение питательных веществ растениями**

Поглощение растениями питательных веществ в большой степени зависит от свойств почвы — реакции и концентрации почвенного раствора, температуры, аэрации, влажности, содержания в почве доступных форм питательных веществ, продолжительности и интенсивности освещения и других условий внешней среды. Поступление питательных веществ в растение заметно снижается при плохой аэрации почвы, низкой температуре, избытке или резком недостатке влаги в почве. Особенно сильное влияние на поступление питательных веществ

25 28 41 46, 74 29

оказывает реакция почвенного раствора, концентрация и соотношение солей в нем. При избыточной концентрации солей в почвенном растворе (например, в засоленных почвах) поглощение растениями воды и питательных веществ резко замедляется.

Корни растений имеют очень высокую усваивающую способность и могут поглощать питательные вещества из сильно разбавленных растворов. Большинство растений нормально развивается при содержании 20—30 мг N и  $K_2O$  и 10—15 мг  $P_2O_5$  на 1 л раствора и даже при значительно более низкой концентрации, если она постоянно возобновляется.

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

Одностороннее преобладание (высокая концентрация) в растворе одной соли, особенно избыток какого-либо одновалентного катиона, оказывает вредное действие на растение. Развитие корней происходит лучше в многосолевом растворе. В нем проявляется *антагонизм ионов* — каждый ион взаимно препятствует избыточному поступлению другого иона в клетки корня. Например,  $Ca^{2+}$  в высоких концентрациях тормозит избыточное поступление  $K^+$ ,  $Na^+$  или  $Mg^{2+}$ , и наоборот. Подобные антагонистические отношения существуют для ионов  $K^+$  и  $Na^+$ ,  $K^+$  и  $NH_4^+$ ,  $K^+$  и  $Mg^{2+}$ ,  $NO_3^-$  и  $H_2PO_4^-$ ,  $Cl^-$  и  $H_2PO_4^-$  и др.

Антагонизм сильнее проявляется между одноименно заряженными ионами и если концентрация одного иона в растворе сильно превышает концентрацию другого иона. Физиологическая уравновешенность легче всего восстанавливается при введении в раствор солей кальция. При наличии в растворе кальция создаются нормальные условия для развития корневой системы, поэтому в искусственных питательных смесях катион кальция должен преобладать над всеми другими ионами.

Особенно сильно ухудшается развитие корней и поступление в них питательных веществ при высокой концентрации ионов водорода, т. е. при повышенной кислотности раствора. Высокая концентрация в растворе ионов водорода оказывает отрицательное влияние на физико-химическое состояние цитоплазмы клеток корня. Наружные клетки корня ослизняются, нарушается их нормальная проницаемость, ухудшается рост корней и поглощение ими питательных веществ. Отрицательное действие кислой реакции сильнее проявляется при отсутствии или недостатке других катионов, особенно кальция, в растворе. Кальций тормозит поступление ионов  $H^+$ , поэтому при повышенном количестве кальция растения способны переносить более кислую реакцию, чем без кальция (табл. 15).

Реакция раствора оказывает влияние на интенсивность поступления отдельных ионов в растение и обмен веществ. При кислой реакции (т. е. при большей концентрации катионов водорода) повышается поступле-

15. Влияние  $\text{CaCl}_2$  на рост корней пшеницы при различной кислотности раствора

Варианты опыта	Средняя длина корней, в мм, при pH				
	5,3	4,9	4,7	4,3	4,0
Без $\text{CaCl}_2$	25	29	24	3	0
С $\text{CaCl}_2$	64	64	70	67	48

ние анионов, но ограничивается поступление катионов; нарушается питание растений кальцием и магнием, и тормозится синтез белка, подавляется образование сахаров в растении. При щелочной реакции усиливается поступление катионов и затрудняется поступление анионов.

Основной запас питательных веществ находится в почве в адсорбированном коллоидами состоянии и в форме различных труднорастворимых соединений. Для усвоения последних необходимо активное воздействие корней на твердую фазу почвы и тесный контакт между корнями и частицами почвы. Поглощающая поверхность корней и контакт их с почвой резко увеличиваются в результате развития на корнях многочисленных корневых волосков и непрерывного их возобновления в период роста растений.

В процессе жизнедеятельности растений корни выделяют в окружающую среду углекислоту и некоторые органические кислоты, а также ферменты и другие органические вещества. Под влиянием выделяемых корнями органических кислот и углекислоты, концентрация которых бывает особенно высокой в зоне непосредственного контакта корней с частицами почвы, происходит растворение содержащихся в ней минеральных соединений фосфора, калия и кальция, вытеснение в раствор ионов из поглощенного состояния. Способность корней поглощать ионы, адсорбированные коллоидами почвы, убедительно показана в модельных опытах при выращивании растений в суспензиях глинистых минералов и синтетических ионообменных смол, насыщенных различными ионами без внесения минеральных солей. Под влиянием выделяемых корнями ферментов происходит, например, высвобождение фосфора из его органических соединений.

Наиболее активно питательные вещества усваиваются растениями из той части почвы, которая находится в непосредственном контакте с корнями. Поэтому все мероприятия, способствующие лучшему развитию корней (хорошая обработка почвы, известкование кислых почв и т. д.), в то же время обеспечивают лучшее использование растениями питательных веществ из почвы.

### Роль микроорганизмов в питании растений

Питание растений осуществляется при тесном взаимодействии с окружающей средой, в том числе с огромным количеством разнообразных почвенных микроорганизмов. Особенно много их в той части почвы, которая непосредственно соприкасается с поверхностью корней

(ризосфере). Используя в качестве источника пищи и энергетического материала корневые выделения, микроорганизмы активно развиваются на корнях и вблизи них и способствуют мобилизации питательных веществ почвы.

Ризосферные и почвенные микроорганизмы играют очень важную роль в превращении питательных веществ почвы и вносимых удобрений. Микроорганизмы разлагают находящиеся в почве органические вещества и вносимые органические удобрения, в результате чего содержащиеся в них элементы питания (азот, фосфор, сера и др.) переходят в усвояемую для растений минеральную форму. Некоторые микроорганизмы способны разлагать труднорастворимые минеральные соединения фосфора и калия и переводить их в доступную для растений форму. Ряд бактерий, усваивая молекулярный азот воздуха, обогащает почву азотом. С жизнедеятельностью микроорганизмов связано также образование в почве гумуса.

При определенных условиях в результате деятельности микроорганизмов питание и рост растений могут ухудшаться. Микроорганизмы потребляют для питания и построения своих тел азот и зольные элементы, т. е. являются конкурентами растений в использовании минеральных веществ. Имобилизация питательных веществ микроорганизмами носит временный характер, так как после их отмирания элементы питания могут высвободиться в минеральной форме и вновь использоваться растениями. Но иногда процесс имобилизации бывает выражен настолько сильно, что неблагоприятно отражается на питании растений. Возьмем случай, когда в почву внесено большое количество свежего органического вещества, богатого клетчаткой, но бедного азотом (соломы, соломистого навоза). Микроорганизмы, получив источник энергетического материала, быстро размножаются и интенсивно потребляют минеральные соединения азота из почвы, закрепляя азот в органической форме. В результате питание растений азотом ухудшается и снижается урожай. Последующая минерализация ранее имобилизованного азота происходит весьма медленно.

Не все микроорганизмы полезны для растений. Некоторые из них выделяют ядовитые для растений вещества или являются возбудителями различных заболеваний. В почве имеются также микроорганизмы, восстанавливающие нитраты до молекулярного азота (денитрификаторы) и вызывающие большие газообразные потери азота из почвы.

В связи с этим одна из важных задач земледелия — создание соответствующими приемами агротехники благоприятных условий для развития полезных микроорганизмов и ухудшение условий для развития вредных.

### Отношение растений к условиям питания в разные периоды роста

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

Следует различать понятия о критическом периоде питания (когда размеры потребления могут быть ограниченными, но недостаток элементов питания в это время резко ухудшает рост и развитие растений) и периоде максимального поглощения, который характеризуется наиболее интенсивным потреблением питательных веществ.

Рассмотрим общие закономерности в потреблении питательных веществ растениями в течение вегетации. В начальный период развития растения потребляют относительно небольшие абсолютные количества всех питательных веществ, но весьма чувствительны как к недостатку, так и к избытку их в растворе.

Начальный период роста — критический в отношении фосфорного питания. Недостаток фосфора в раннем возрасте настолько сильно угнетает растения, что урожай резко снижается даже при обильном питании фосфором в последующие периоды (табл. 16). Вследствие высокой напряженности синтетических процессов при слаборазвитой еще корневой системе молодые растения особенно требовательны к условиям питания. Следовательно, в прикорневой зоне в этот период питательные вещества должны находиться в легкорастворимой форме, но концентрация их не должна быть высокой, с преобладанием фосфора над азотом и калием. Обеспечение достаточного уровня снабжения всеми элементами с начала вегетации имеет важное значение для формирования урожая. Так, у злаковых зерновых культур уже в период развертывания первых трех-четырех листочков начинается закладка и дифференциация репродуктивных органов — колоса или метелки. Недостаток азота в этот период даже при усиленном питании в последующем приводит к уменьшению числа колосков в метелке или колосе и снижению урожая.

16. Влияние периодического питания растений фосфором на урожай (вегетационный опыт с ячменем Н. С. Авлошца)

Условия питания	Урожай, %	
	общий	зерно
Нормальное питание фосфором все время	100	100
Растения не получали фосфора первые 15 дней	17,4	0
Без фосфора растения в возрасте от 45 до 60 дней	102	104

Размеры потребления всех элементов питания растениями значительно возрастают в период интенсивного роста надземных органов — стеблей и листьев. Темпы накопления сухого вещества могут опережать поступление питательных веществ, а относительное их содержание в растениях снижается по сравнению с предшествующим периодом. Ведущая роль в ростовых процессах принадлежит азоту.

Повышенное азотное питание способствует усиленному росту вегетативных органов, формированию мощного ассимиляционного аппарата. Недостаток же азота в этот период приводит к угнетению роста, а в последующем — к снижению урожая и его качества.

Ко времени цветения и начала плодообразования потребность

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

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

Различные сельскохозяйственные культуры отличаются по размерам и интенсивности поглощения питательных элементов в течение вегетационного периода. Все зерновые злаковые (за исключением кукурузы), лен, конопля, ранний картофель, некоторые овощные культуры отличаются коротким периодом интенсивного питания, основное количество питательных веществ потребляют в сжатые сроки. Например, озимая рожь уже за осенний период поглощает 25—30% от всего количества питательных веществ, тогда как сухая масса растений за этот период достигает всего лишь 10% конечного урожая.

Яровая пшеница за сравнительно короткий промежуток — от выхода в трубку до конца колошения (около месяца) — потребляет  $\frac{2}{3}$ — $\frac{3}{4}$  всего количества питательных веществ.

Средне- и позднеспелые сорта картофеля наибольшее количество питательных веществ потребляют в июле: за этот месяц поглощается почти 40% азота, более 50% фосфора и 60% калия от конечного содержания их в урожае. Ранние сорта картофеля отличаются еще более сжатым сроком интенсивного потребления питательных веществ.

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

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

Отдельные элементы питания поглощаются растениями с различной интенсивностью: у кукурузы, например, наиболее быстрым темпом идет потребление калия, затем азота и значительно медленнее поглощается фосфор.

Поглощение калия полностью заканчивается к периоду образования метелок, а азота — к периоду формирования зерна. Поступление фосфора более растянуто и продолжается почти до конца вегетации.

Конопля в первый месяц очень интенсивно поглощает азот и калий. Поступление азота полностью завершается через 3, а калия — через

5 недель после появления всходов, тогда как интенсивное поглощение фосфора продолжается почти до конца вегетации.

Потребление основных элементов питания сахарной свеклой также происходит неравномерно. В первую декаду после всходов отношение  $P : N : K$  в растениях равно  $1,0 : 1,5 : 1,4$ . Затем в период интенсивного нарастания листьев это соотношение изменяется в сторону увеличения поглощения азота и калия, составляя в мае  $1,0 : 2,5 : 3,0$ , в июне —  $1,0 : 3,0 : 3,5$ , в июле  $1,0 : 4,0 : 4,0$ . В августе, когда происходит образование корней и накопление в них сахара, соотношение между этими элементами становится  $1,0 : 3,6 : 5,5$ , т. е. особенно сильно увеличивается поглощение калия. Слишком обильное азотное питание в период образования корня и накопления в нем сахара нежелательно, так как стимулирует рост ботвы в ущерб росту корня и сахаронакоплению. В этот период очень большое значение имеет достаточный уровень обеспеченности растений калием и фосфором.

Неодинаковая количественная потребность и интенсивность поглощения растениями отдельных элементов питания должна учитываться при разработке системы применения удобрений. Особенно важно обеспечить благоприятные условия питания растений с начала вегетации и в периоды максимального поглощения. Это достигается сочетанием различных способов внесения удобрений: в основное удобрение до посева, при посеве и в подкормки. Задача *основного удобрения* — обеспечение питания растений на протяжении всей вегетации, поэтому до посева в большинстве случаев применяют полную норму органических удобрений и подавляющую часть минеральных туков. *Припосевное удобрение* (в рядки, при посадке в лунки, гнезда) вносят с целью снабжения растений в начальный период развития легкодоступными формами питательных веществ, прежде всего фосфора. Для снабжения растений элементами питания в наиболее ответственные периоды вегетации применяются *подкормки* в дополнение к основному и припосевному удобрению (в отдельных случаях в подкормки может вноситься значительная доля общей нормы удобрений, например азота под озимые, хлопчатник и т. д.). Выбор срока, способа внесения удобрений и заделки их в почву зависит не только от особенностей биологии, питания и агротехники культур, но и почвенно-климатических условий, вида и формы удобрений.

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

### Контрольные вопросы

1. В чем заключается воздушное питание растений? Какова роль фотосинтеза в аккумуляции солнечной энергии растениями и синтезе органических соединений?
2. Что такое корневое питание растений? Какова связь между строением корневой системы и поглощением питательных веществ из почвы?
3. Какая роль принадлежит корневым волоскам в корневом питании растений?
4. Почему пассивное поглощение не может иметь существенного значения в питании растений?

5. Перечислите основные этапы процесса активного поглощения ионов корневой системой растений.

6. Какова связь поглощения и транспорта питательных веществ с процессами фотосинтеза, дыхания и обмена веществ у растений?

7. Что такое избирательное поглощение элементов питания растениями и физиологическая реакция солей?

8. Какой питательный раствор является физиологически уравновешенным? Что такое антагонизм и синергизм ионов?

9. Какова роль почвенных микроорганизмов в питании растений?

10. Назовите основные закономерности в потреблении питательных веществ растениями по периодам их роста и развития.

11. Как особенности питания сельскохозяйственных культур учитываются при применении удобрений?

12. Каковы задачи основного, припосевного удобрения и подкормок?

#### ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ\*

##### Определение недостатка элементов минерального питания растений по внешним признакам

Для визуальной диагностики необходимо знать характерные внешние признаки недостатка (или избытка) отдельных минеральных элементов в питании растений. Хотя четкие внешние признаки нарушения питания проявляются у растений в полевых условиях только при резком голодании и нередко на более поздних фазах роста и развития, визуальная диагностика позволяет в сочетании с другими методами (агрохимическим анализом почвы, биометрией и химической диагностикой растений) выявить причину страдания сельскохозяйственных культур и внести возможные коррективы в их питание с помощью удобрений.

**Принцип метода.** Визуальная диагностика питания растений основана на том, что недостаток или избыток питательных веществ вызывает различные, довольно специфичные для каждого элемента, изменения внешнего вида растений вследствие нарушения физиологических и биохимических процессов.

**Ход работы.** Производят биометрию и составляют описание внешних признаков голодания растений, выращенных в вегетационных сосудах на питательных средах с недостатком отдельных элементов питания (причина голодания не указана, сосуды с растениями зашифрованы по номерной системе). Отмечается общее состояние растений, отклонения в росте и развитии, облиственности, окраске, размерах, форме листьев и по другим морфологическим признакам от растений, выращенных при внесении всех необходимых питательных веществ.

В журнале цветными карандашами делают рисунок растений и дают

---

\* Перед началом практикума студенты должны ознакомиться с основным лабораторным оборудованием и пройти инструктаж по технике безопасности (итоги инструктажа регистрируются в специальном журнале). В процессе отработки лабораторно-практических занятий по агрохимии постоянно должно обращать внимание на строгое соблюдение утвержденных МВ и ССО СССР правил техники безопасности и производственной санитарии при работе в химических лабораториях.

заклучение о том, недостатком какого элемента питания вызвано голодание растений.

Правильность заклучения о причине голодания опытных растений устанавливают путем сопоставления результатов наблюдений с описанием признаков недостатка основных элементов питания в учебнике (с. 24—28) и изображениями признаков минерального голодания и гербарными образцами.

Форма записи результатов наблюдений в журнале

Растения	Результаты биометрии			Окраска, наличие и характер хлороза листьев	Описание прочих морфологических признаков
	средняя высота растений, см	число стеблей, листьев на одно растение	длина, ширина листьев, см		
Выращенные на полной питательной смеси					
Выращенные при нарушенном питании					

**Материалы и оборудование.** Растения, выращенные при остром недостатке азота, фосфора, калия, кальция, магния и железа и на полной питательной смеси в условиях водных или песчаных культур. Цветные фотографии, диапозитивы, рисунки и гербарные образцы растений с характерными признаками голодания. Цветные карандаши. Лупы. Линейки.

#### Знакомство с общими требованиями при отборе средних проб растений и кормов, подготовка их к анализам

Своевременный и качественный отбор проб на анализ является одним из важнейших условий получения достоверных данных о химическом составе растений, качестве урожая и питательности кормов.

**Общие требования при отборе проб.** Методы отбора средних проб растительной продукции, подготовки их к анализу и методы анализа, которыми должны пользоваться агрохимические лаборатории, регламентированы соответствующими Государственными и отраслевыми стандартами, а также специальными инструкциями.

В полевых опытах с удобрениями отбор средних проб для анализов проводится (обычно за 2—3 дня до уборки или совмещая с уборкой урожая) либо путем сбора всех растений с нескольких пробных площадок, выделяемых на учетных делянках не менее чем двух повторений каждого варианта, либо путем отбора определенного числа растений, расположенных по диагонали учетных делянок на равном друг от друга расстоянии.

Так, при отборе средних образцов зерновых (кроме кукурузы), зерновых бобовых культур, льна, пастбишных трав убираются все растения с корнями с двух соседних рядков на четырех площадках площадью 0,25 м<sup>2</sup> по диагонали участка. Средние образцы картофеля, подсолнечника, кукурузы, силосных культур формируют обычно из

10 типичных растений (или растений в 10 гнездах), а сахарной свеклы — 20—40 растений по диагонали участка.

Все операции по отбору, а в случае необходимости — фиксации образцов должны быть проведены в один и тот же день. Образцы нельзя отбирать во время дождя, полива или сразу после них. Растительные образцы должны быть очищены от почвы и других примесей.

После взятия образцы растений разделяют на основные части — зерно, солому, корни, ботву, каждую часть отдельно взвешивают и определяют соотношение их масс (в % от общей массы растений). Если масса отобранных с делянок растений слишком велика для образца, ее уменьшают после тщательного усреднения.

Минимальные размеры средних образцов устанавливаются в зависимости от вида продукции и потребного количества материала для характеристики его химического состава и технологических качеств. Например, масса среднего образца зерна зерновых и зерновых бобовых культур должна составлять 1 кг, соломы с половой — не менее 500 г, а средний образец льносоломы для проведения технологического анализа (его отбирают по варианту из снопов с делянок всех повторений) — не менее 12 кг.

Отбор средних проб кормов и других видов растениеводческой продукции для оценки химического состава и качества больших их партий проводится из общей пробы, составленной из определенного количества разовых проб, взятых из разных точек хранилища, скирды, вагона, машины и т. д.

Средние пробы из прессованного сена и соломы отбирают вручную или специальным пробоотборником не менее чем из восьми мест партии (по 200—250 г с каждой точки). Из партий прессованного сена до 15 т разовые пробы отбирают из пяти тюков, а из партий 15—50 т — из 15 тюков по пластикам. Из разовых проб после тщательного усреднения составляют общую пробу, а затем — среднюю пробу массой 0,5 кг.

Пробы зеленого корма отбирают в период скашивания или скармливания животным, для этого на однотипном участке выделяют десять площадок по 1 м<sup>2</sup>, из скошенной массы отбирают из десяти мест каждой площадки разовые пробы, из которых затем составляют общую и среднюю пробы.

Отбор проб силоса и сенажа проводят после окончания процесса консервации (через 1—2 месяца после закладки) вручную — при вскрытии хранилища в начале скармливания, а пробоотборниками — перед вскрытием хранилища. Одна разовая проба по средней линии хранилища или по его диагонали отбирается от каждых 400 т корма. После формирования средней пробы ее помещают в полиэтиленовые мешочки или склянки с притертой пробкой и, если необходимо, консервируют прибавлением 5 мл смеси хлороформа с толуолом (1 : 1) на 1 кг корма.

Разовые пробы зерна из автомашин, вагонов и складов (при хранении насыпью высотой до 1,5 м) отбирают специальными шупами

из различных точек по всей глубине насыпи в соответствии с инструкцией. Разовые пробы из силосов элеваторов или закровов, а также при погрузке (разгрузке) транспортных средств отбирают из струи перемещаемого зерна механическим пробоотборником или специальным ковшом через равные промежутки времени из расчета 0,1 кг на каждую тонну перемещаемого зерна. Из партий картофеля в разнотипных хранилищах средняя проба отбирается из каждого хранилища, а в однотипных — из каждого третьего. Разовые пробы отбираются по всему объему хранилища, бурта или траншеи, а также кузова автомашины, вагона, баржи при перевозке бестарным способом. Число разовых проб для партии до 5; 20; 60; 150 и более 150 т составляет соответственно 5; 10; 16; 24 и 24 + 5 дополнительных проб на каждые 50 т. При тарной перевозке от каждой упаковки отбирают по одной разовой пробе, а контейнерной — три. Средние пробы корнеплодов массой 2 кг на каждую партию из вскрытых буртов, хранилищ, автомашин формируют пропорционально содержанию крупных, средних и мелких корней из 100 произвольно отобранных очищенных корней. Корни до проведения анализов предохраняют от высыхания, хранят в подвалах или ямах не более 1—2 дней при температуре не выше 8—10°C.

Каждая средняя проба должна представлять собой однородную (с точки зрения технологии уборки или заготовки, места производства, условий и сроков хранения, транспортировки) партию продукции.

Общие требования при подготовке образцов к анализу, отборе лабораторной и аналитической проб различных растительных материалов и кормов описаны на странице 284—286 и в соответствующих работах лабораторного практикума.

Практическое знакомство с методами отбора средних проб растений в полевых опытах с удобрениями может проводиться в период учебной практики.

#### Определение содержания гигроскопической воды и сухого вещества

В воздушно-сухом растительном материале всегда содержится определенное количество гигроскопической воды, поглощенной из атмосферы. Для приведения результатов химического анализа к абсолютно сухому веществу или к стандартной влажности необходимо определить содержание гигроскопической влаги в анализируемом материале.

**Принцип метода.** Количество гигроскопической влаги определяется по убыли массы воздушно-сухого материала при высушивании его в термостате или сушильном шкафу до постоянной массы при 100—105°C. Взвешивание проводят на аналитических весах\*.

**Ход анализа.** Чистые стеклянные бюксы при открытой крышке (она помещается ребром на горло бюкса) просушивают при 100—105°C в течение 30 мин, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитиче-

\* Теоретические сведения см. стр. 286—290.

ских весах с точностью 0,001 г. Из подготовленной аналитической пробы, размолотой до 1 мм, во взвешенные бюксы берут произвольные количества (от 2,5 до 5 г) воздушно-сухого материала. Бюксы с открытой крышкой и навеской взвешивают с той же точностью, помещают в сушильный шкаф и выдерживают при 100—105°С в течение 4—6 ч. Крышку бюкса закрывают, охлажденные в эксикаторе бюксы с высушенным материалом взвешивают. Затем дополнительно сушат еще 2 часа, охлаждают и взвешивают. Если разница в массе после первого и второго высушивания не более 0,002 г, то материал считается доведенным до абсолютно сухого состояния.

Вычисление результатов анализа. Содержание гигроскопической воды ( $x$  в %) рассчитывают по формуле:

$$x = \frac{(b-c)}{(b-a)} \cdot 100,$$

где  $a$  — масса пустого бюкса (в г),  $b$  — масса бюкса с исходной навеской материала (в г),  $c$  — масса бюкса после высушивания (в г). Содержание абсолютно сухого вещества (в %) вычисляют вычитанием из 100 рассчитанного количества гигроскопической воды. Результаты анализа записывают по следующей форме:

Дата	Вид и номер образца	Номер бюкса	Масса, г (до 0,001 г)				Содержание, %	
			бюкса	бюкса с навеской	бюкса после высушивания		воды	сухого вещества
					первого	второго		

Материалы и оборудование. Образцы воздушно-сухого растительного материала. Весы аналитические. Термостат. Бюксы. Эксикатор с прокаленным хлористым кальцием.

#### Определение содержания абсолютно сухого вещества в свежем растительном материале

Содержание сухого вещества является важным показателем качества многих видов продукции. Определение крахмала в картофеле, сахаров в корнеплодах, анализ сочных кормов, овощей, бахчевых и плодовых культур проводят только в свежих образцах при их естественной влажности, а результаты количественного анализа рассчитываются на сухое вещество либо стандартную влажность.

Принцип метода. Путем высушивания свежего растительного материала до постоянной массы при 100—105°С из него удаляется вся (в том числе гигроскопическая) влага и весовым (гравиметрическим) методом устанавливается количество абсолютно сухого вещества.

Ход анализа. В чистый сухой бюкс помещают короткую стеклянную палочку и около 10 г кварцевого песка. При открытой крышке бюкса с

содержимым высушивают в термостате при температуре 100—105°C в течение 30—40 минут, закрывают крышку, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г.

Во время высушивания бюкса лабораторную пробу свежего растительного материала подготавливают к анализу. Чистые клубни картофеля, корнеплоды, кочаны капусты, крупные сочные плоды и овощи разделяют пополам или вдоль осевой линии на более мелкие доли, каждая из которых должна представлять пропорционально все части анализируемого плода. Необходимую по массе долю плодов или других свежих растительных образцов измельчают (в гомогенизаторах, на терке, ножницами, шинкуют) и равномерно распределяют по площади фарфоровых лоточков или деревянных досочек. Составляя лабораторную пробу из частей, взятых от каждого плода, удаляют: из яблок и груш — ложе для семян и семена, из цитрусовых — кожуру и семена, у бахчевых — слой кожуры до съедобной части мякоти и семена с плацентой, из косточковых плодовых — косточки.

Из разных мест измельченной массы берут в бюксы произвольные навески (около 5—6 г), тщательно перемешивают с песком стеклянной палочкой и взвешивают на тех же весах. Сушат при открытой крышке в течение 6 часов при температуре 100—105°C, периодически перемешивая содержимое бюкса палочкой. Закрывают бюксы крышкой, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Затем вновь сушат в термостате при том же режиме в течение 1 часа и после охлаждения в эксикаторе взвешивают. Если разница в массе бюкса с высушенным материалом по результатам двух взвешиваний составляет более 0,02 г, то сушку продолжают еще 30—40 минут. Содержание сухого вещества в свежем анализируемом материале ( $x$  в %) рассчитывают по формуле:

$$x = \frac{c - a}{b - a} \cdot 100,$$

где  $a$  — масса тары, г;  $b$  — масса тары с исходной навеской до высушивания, г;  $c$  — масса тары с высушенным до постоянной массы материалом, г. Результаты анализа записывают по следующей форме:

Дата	Вид и номер образца	Номер бюкса	Масса (с точностью до 0,01 г)			Содержание сухого вещества, %
			тары (бюкс с палочкой и песком)	тары с навеской свежего материала	тары с навеской после высушивания	

**Материалы и оборудование.** Образцы свежего растительного материала. Терки. Нож. Ножницы. Фарфоровые юветы или деревянные доски. Шпатели. Бюксы стеклянные (вместо них можно использовать фарфоровые чашки или даже чашки Петри). Короткие стеклянные палочки с оплавленным концом, помещающиеся внутри закрытого бюкса. Очищенный и прокаленный кварцевый песок. Термостат с терморегулятором. Эксикатор с прокаленным хлористым кальцием, техноаналитические веса.

### Определение «сырой золы»

Определение количества золы необходимо для оценки общего содержания «зольных элементов» в растениях и характеристики качества кормов. Сухое озоление используется как подготовительный этап при проведении количественного анализа растительных материалов на содержание отдельных зольных элементов питания растений — фосфора, калия, кальция, магния, других макро- и микроэлементов.

**Принцип метода.** Для определения «сырой золы» пробу растений или кормов сжигают в муфельной печи. При этом органические вещества сгорают с образованием летучих соединений, а в золе в виде окислов остаются содержащиеся в растениях элементы минерального питания. Остаток после озоления называется «сырой золой», поскольку в нем могут находиться зольные элементы не только в виде окислов, но и солей угольной кислоты, содержатся обуглившиеся частицы органики, механические примеси песка и глины.

**Ход анализа.** Чистые фарфоровые тигли надписывают 0,5%-ным раствором хлорного железа и прокаливают в муфельной печи 1—2 часа, затем охлаждают и взвешивают на аналитических весах. В них помещают 1—2 г воздушно-сухого растительного материала и снова взвешивают для определения величины исходной навески. Тигель с навеской ставят в холодную муфельную печь и постепенно повышают температуру до 200°C, а через час — до 525—550°C (темно-красное каление). Сжигание проводят до тех пор, пока зола не приобретет светло-серый цвет (иногда зола имеет зеленоватый или красно-бурый оттенок из-за присутствия окислов марганца и железа). Для полного озоления пробы обычно достаточно 5—6 часов. После прокаливания тигли с золой охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах. Путем повторного прокаливания в течение 20—30 минут и взвешивания после охлаждения убеждаются в установлении постоянной массы золы.

Содержание сырой золы ( $x$  в %) вычисляют по формуле:

$$x = \frac{c-a}{b-a} \cdot 100,$$

где  $a$  — масса пустого тигля, г;  $b$  — масса тигля с исходной навеской, г;  $c$  — масса тигля с прокаленной золой, г.

Для пересчета на абсолютно сухое вещество результат умножают на коэффициент  $\frac{100}{100-y}$ , где  $y$  — процент гигроскопической влаги в анализируемом материале.

Результаты анализа записывают по следующей форме:

Дата	Вид материала и номер образца.	Номер тигля	Масса, г (с точностью до 0,001 г)				% золы в материале
			прокаленного тигля	тигла с навеской	тигла с золой при взвешивании		
					первом	втором	

**Материалы и оборудование.** Образцы воздушно-сухого растительного материала. Весы аналитические. Муфельная печь. Тигли фарфоровые. Эксикатор. Тигельные шпильки.

**Определение азота, фосфора и калия  
из одной навески растительного материала или корна**

Определение содержания в растениях основных элементов минерального питания — азота, фосфора и калия необходимо для оценки размеров их выноса с урожаем и качества корма, при изучении динамики потребления питательных веществ в течение вегетации сельскохозяйственных культур и многих других вопросов питания растений.

**Принцип метода.** Азот, фосфор и калий определяют после «мокрого» озоления навески растительного материала смесью серной и хлорной кислот при нагревании. Хлорная и серная кислоты вызывают гидролиз безазотистых органических соединений и окисляют их до углекислого газа и воды. Азотсодержащие органические вещества также подвергаются гидролизу, а входящий в их состав азот восстанавливается до аммиака по схеме:

белки —————→ аминокислоты —————→ амиды —————→ аммиак

Аммиак связывается кислотами и, так же как калий и фосфор, остается в растворе.

Количество образовавшегося после озоления аммонийного азота определяется объемным методом после отгона аммиака с паром в аппарате Кьельдаля. Аммиак поглощается 2%-ным раствором борной кислоты и учитывается путем прямого титрования титрованным раствором серной кислоты (стр. 298).

Фосфор в растворе после озоления определяется колориметрическим методом, основанным на образовании желтого комплексного соединения при взаимодействии фосфорной кислоты с молибдат-ионом в присутствии ванадия (стр. 302).

Калий определяется пламеннофотометрическим методом (стр. 307).

**Ход анализа и вычисление результатов.** **Мокрое озоление.** На аналитических или торзионных весах берут навеску около 200 мг с точностью 0,5 мг и помещают в колбу Кьельдаля емкостью 100 мл, заливают 5,5 мл смеси серной и хлорной кислот, тщательно перемешивают содержимое колбы, стараясь смочить и смыть оставшиеся на горле колбы частицы материала, и оставляют на ночь. Содержимое колбы нагревают при 60—80°C до появления пены и оставляют на 30 мин при комнатной температуре. Затем постепенно нагревают до 250—270°C. Через 20—30 мин происходит обесцвечивание жидкости. Если она сохраняет желтую или темно-бурую окраску, то колбу охлаждают и после добавления 1—2 капель хлорной кислоты вновь продолжают нагревание. Параллельно проводят холостое определение с тем же количеством кислот, что и при сжигании растительной пробы. Температуру контролируют с помощью термометра, помещаемого в холостой раствор.

После окончания озоления колбу охлаждают и, многократно смывая дистиллированной водой из промывалки, количественно

переносят раствор в мерную колбу емкостью 100 мл, объем раствора после охлаждения доводят водой до метки. Полученный раствор является исходным для определения азота, фосфора и калия.

**Определение азота.** В приемник (колбу или стакан на 200—250 мл) наливают 15 мл 2%-ного раствора борной кислоты и подставляют его под прибор (аппарат Парнаса — Вагнера или Кьельдаля для полумикроопределения) так, чтобы конец трубки холодильника был помещен в раствор. Аликвоту используемого раствора мерной пипеткой (10—25 мл) через воронку заливают в отгонную колбу аппарата, воронку из промывалки обмывают дистиллятом, приливают через нее 5 мл 40%-ного раствора едкого натра, снова обмывают воронку, закрывают кран и отгоняют аммиак паром. В парообразователе вода подкисляется серной кислотой, при этом используется смешанный индикатор.

Через 5 мин после изменения розовой окраски раствора в приемнике на зеленую конец трубки холодильника вынимают из раствора, отгоняют пар еще в течение 1—2 мин, промывают из промывалки дистиллированной водой конец трубки холодильника и титруют содержимое приемника 0,01 н. раствором серной кислоты до перехода зеленой окраски в слабо-розовую.

Содержание азота вычисляют по формуле:

$$\% N = \frac{100 \cdot (a-b) \cdot V \cdot 0,00014}{c \cdot n}$$

где  $a$  — количество 0,01 н.  $H_2SO_4$ , пошедшей на титрование испытуемого раствора, мл;  $b$  — количество 0,01 н.  $H_2SO_4$  для холостого титрования, мл;  $c$  — количество исходного раствора, взятого для отгона аммиака, мл;  $n$  — навеска, г;  $V$  — общий объем испытуемого раствора, мл; 0,00014 — количество азота, г, соответствующее 1 мл 0,01 н.  $H_2SO_4$ , пошедшей на связывание аммиака.

Содержание сырого протеина рассчитывается умножением содержания в растениях общего азота (в %) на коэффициент 6,25.

Результаты анализа записывают по следующей форме:

Дата	Вид материала и номер образца	Номер колбы	Навеска, г	Объем, мл		Пошло мл 0,01 н. $H_2SO_4$ на титрование	Содержание, %	
				исходного раствора	аликвоты для отгона		на воздушно-сухое вещество	на абсолютно сухое вещество

**Определение фосфора.** К 25 мл исходного испытуемого раствора, помещенного с помощью пипетки в стакан емкостью 100—150 мл, приливают цилиндром 15 мл реагирующей смеси (реактив 6, см. стр. 59), тщательно перемешивают и через час после развития стабильной окраски измеряют оптическую плотность раствора на

электрофотоколориметре (стр. 304) при синем светофильтре, используя кюветы толщиной 30—50 мм. В качестве компенсационного (неокрашенного раствора) используют раствор из колбы «холостого» определения.

Для приготовления шкалы образцовых растворов в десять мерных колб емкостью 500 мл наливают на  $\frac{2}{3}$  объема дистиллированную воду, добавляют по 25 мл концентрированной серной кислоты и после перемешивания вливают указанные ниже в таблице количества исходного образцового раствора, в 1 мл которого содержится 1 мг фосфора. Содержимое колбы перемешивают и объем доводят до метки.

Окрашивание шкалы образцовых растворов проводят так же, как и испытуемого раствора. Результаты измерения оптической плотности заносятся в таблицу.

Форма записи по приготовлению шкалы образцовых растворов для определения фосфора

№ колбы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество миллилитров исходного образцового раствора	1	2	4	6	8	10	12	14	16	20
Содержание миллиграммов Р в 25 мл раствора	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00
Оптическая плотность по результатам измерения на ФЭК										

По результатам измерения оптической плотности окрашенных образцовых растворов строится калибровочный график: по горизонтальной оси наносят значения концентрации фосфора в 25 мл раствора (масштаб 2 см соответствует 0,1 мг фосфора), по вертикальной оси — экстинцию (2 см соответствует 0,1 оптической плотности раствора). По графику находят содержание фосфора (в мг) в 25 мл исходной вытяжки ( $a$ ) и рассчитывают содержание  $P_2O_5$  в процентах по формуле:

$$\% P_2O_5 = \frac{a \cdot V \cdot 100 \cdot 2,29}{b \cdot n},$$

где  $V$  — объем исходного раствора (100 мл);  $b$  — количество исходного раствора, взятого на колориметрирование (25 мл);  $n$  — навеска растительного материала, мг; 2,29 — коэффициент пересчета с Р на  $P_2O_5$ .

Результаты анализа записывают по следующей форме:

Дата	Вид материала и номер образца	Номер колбы	Навеска, г	Объем, мл		Оптическая плотность	Количество Р по графику, мг/25 мл	Содержание $P_2O_5$ , %	
				исходного раствора	взятого на колориметрирование			на воздушно-сухое вещество	на абсолютно сухое вещество

Определение калия. В стаканчики емкостью 50 мл или пенициллиновые склянки наливают исходный испытуемый раствор, растворы образцовой шкалы и проводят определение калия на пламенном фотометре (см. стр. 307). Шкалу образцовых растворов готовят в восьми мерных колбах на 500 мл, в которые заливают небольшое количество дистиллированной воды, по 25 мл концентрированной серной кислоты и указанные ниже в таблице объемы исходного образцового раствора KCl, 1 мл которого соответствует 1 мг K<sub>2</sub>O.

Форма записи данных по приготовлению к пламенной фотометрии шкалы образцовых растворов

№ колбы	1	2	3	4	5	6	7	8
Объем исходного образцового раствора KCl, мл	1	2	4	5	8	10	15	20
Содержание K <sub>2</sub> O, мг на 100 мл образцового раствора	0,2	0,4	0,8	1,0	1,6	2,0	3,0	4,0
Отчет по шкале гальванометра пламенного фотометра								

Калибровочный график строится по значениям концентрации K<sub>2</sub>O в мг/100 мл образцовых растворов (по горизонтальной оси) и показаниям гальванометра пламенного фотометра при их введении в пламя горелки прибора (по вертикали). Содержание K в растительном материале в расчете на K<sub>2</sub>O определяют по формуле:

$$\% K_2O = \frac{a \cdot 100}{n}$$

где *a* — количество K<sub>2</sub>O в 100 мл раствора, найденного по калибровочному графику по показанию гальванометра при просмотре на пламенном фотометре испытуемого раствора, мг; *n* — навеска анализируемого материала, мг.

Результаты анализа записывают по следующей форме:

Дата	Вид материала, номер образца	Номер колбы	Навеска, мг	Показания гальванометра	Количество K <sub>2</sub> O, мг/100 мл по графику	Содержание K <sub>2</sub> O, %	
						на воздушно-сухое вещество	на абсолютно сухое вещество

**Материалы и оборудование.** Для озоления. Аналитические или торзионные весы. Электроплитки или газовые горелки в вытяжном шкафу. Колбы Кьельдаля. Термометр на 300°С. Цилиндр на 10 мл. Мерные колбы на 100 мл. Промывалка.

Для определения азота. Аппарат Парнаса-Вагнера или полумикро-Кьельдаля. Стаканы емкостью 100—150 мл. Пипетка на 10, 25 мл. Цилиндры на 10 мл. Микробюретка на 10—25 мл. Промывалка.

Для определения фосфора. Электрофотокориметр. Пипетки, градуированные на 20 и 25 мл. Цилиндр. Мерные колбы на 500 мл. Миллиметровая бумага для вычерчивания калибровочного графика. Промывалка.

Для определения калия. Пламенный фотометр. Стаканчики на 50 мл или пенициллиновые пузырьки. Промывалка. Градуированные пипетки на 20 мл. Цилиндр на 25 мл. Миллиметровая бумага.

**Реактивы.\*** 1. Смесь концентрированной серной кислоты плотностью 1,84 г/см<sup>3</sup> и 57%-ной хлорной кислоты в соотношении 10:1. 2. 2%-ный раствор борной кислоты: 20 г H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> растворяют в 800—900 г подогретой дистиллированной воды, охлаждают и после прибавления 20 мл смешанного индикатора доводят объем до 1 л дистиллятом. 3. Смешанный индикатор: к 100 мл 0,2%-ного спиртового раствора метилового красного приливают 100 мл 0,1%-ного спиртового раствора метиленовой сини. Смесь хранить в темной склянке с притертой пробкой. 4. 40%-ный раствор едкого натра. 5. 0,01 н. раствор серной кислоты, готовится из фиксанала. 6. Реагирующая смесь для определения фосфора: в соотношении 1:1:1 смешивают следующие три реактива: разбавленная азотная кислота — на один объем концентрированной кислоты два объема воды; 0,025%-ный раствор ванадиевокислого аммония (2,5 г химически чистой (х. ч.) соли растворяют в кипящей воде, охлаждают, добавляют 90 мл концентрированной азотной кислоты и объем доводят до 1 л в мерной колбе); 5%-ный раствор молибденовокислого аммония: 50 г молибденовокислого аммония растворяют в мерной колбе на 1 л в горячей воде, охлаждают и доводят дистиллятом до метки. 7. Исходный образцовый раствор фосфата — 4,393 г х. ч. перекристаллизованного KН<sub>2</sub>РO<sub>4</sub> растворяют в дистиллированной воде и доводят до метки в колбе на 1 л. 8. Исходный образцовый раствор KCl: 1,5830 г дважды перекристаллизованного KCl растворяют в воде в литровой мерной колбе и объем доводят до метки. 9. Концентрированная H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

#### **Знакомство с методами определения основных органических соединений в растениях при оценке качества урожая и кормов**

Оценка качества основных видов растениеводческой продукции приобретает в условиях интенсивной химизации все большее значение. Агрохимические лаборатории выполняют аналитические работы с целью изучения влияния удобрений на содержание основных органических соединений в растениях, определяющих качество урожая, в полевых опытах и производственных условиях, а также для оценки качества кормов.

**Ход работы.** Ознакомление с требованиями отраслевых стандартов по определению основных показателей качества растительной продукции для зональных агрохимических лабораторий. Знакомство с принципом методов количественного определения важнейших органических соединений в растениях: белка, крахмала, сахаров, клетчатки, жира.

Практическое изучение организации и методов оценки качества урожая, кормов может осуществляться в период практики при посещении учащимися зональных агрохимических лабораторий.

\* Общие сведения о приготовлении реактивов см. стр. 290—295.

## АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Для правильного применения удобрений необходимо не только учитывать потребности растений в элементах питания, но и знать химический состав и биологические, физико-химические и химические свойства почвы, которые определяют уровень ее плодородия, условия питания растений и характер превращения внесенных удобрений в почве.

## СОСТАВ ПОЧВЫ

Почва состоит из твердой, жидкой (почвенный раствор) и газовой (почвенный воздух) фаз.

Почвенный воздух отличается от атмосферного повышенным содержанием углекислого газа (до 1%, иногда 2—3% и более) и меньшим — кислорода. Состав почвенного воздуха зависит от интенсивности газообмена между почвой и атмосферой. Обогащение его углекислым газом происходит главным образом в результате разложения почвенного органического вещества микроорганизмами и дыхания корней. Образующаяся в почве угольная кислота частично выделяется в атмосферу, улучшая воздушное питание растений, а частично растворяется в почвенной влаге, образуя угольную кислоту ( $H_2CO_3$ ). Последняя диссоциирует на ионы  $H^+$  и  $HCO_3^-$ , вызывая подкисление почвенного раствора. В результате усиливается растворение минеральных веществ в почве, перевод их в усвояемые для растений формы. 1 м<sup>3</sup> нормально аэрируемой почвы под растениями может в летний период выделять от 2 до 10 л углекислого газа в сутки и потреблять такое же количество кислорода. При избыточном увлажнении и плохой аэрации в почвенном воздухе содержание угольной кислоты повышается (до 2—3%), а кислорода — снижается, что отрицательно сказывается на развитии растений и микроорганизмов. При содержании кислорода в почвенном воздухе менее 8—12% наблюдается угнетение растений, а при уменьшении его содержания ниже 5% растения погибают, в почве начинают преобладать анаэробные, восстановительные процессы.

Почвенный раствор — наиболее подвижная и активная часть почвы. Из него растения непосредственно усваивают питательные вещества. В почвенном растворе содержатся минеральные и органические

вещества, органо-минеральные соединения, а также растворенные газы ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{O}_2$  и др.). Из минеральных соединений в составе почвенного раствора могут находиться анионы  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ . Железо и алюминий содержатся в почвенном растворе в основном в виде устойчивых комплексов с органическими веществами, а в кислых почвах — в виде катионов и гидратов полуторных окислов (в коллоиднорастворимой форме). Наиболее важное значение для питания растений имеет присутствие в почвенном растворе ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и постоянное их пополнение. Содержание в почвенном растворе катионов  $\text{H}^+$  и  $\text{Na}^+$  определяет его реакцию, от которой в сильной степени зависит рост и развитие растений. Обычно общее содержание ионов в почвенном растворе незначительное, и лишь в засоленных почвах может быть повышенное количество в растворе ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и др.

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

Концентрация раствора в незасоленных почвах невелика и обычно составляет десятые доли граммов на 1 л, а в засоленных почвах достигает нескольких граммов, иногда десятки граммов на 1 л. Избыток водорастворимых солей в почве (более 0,2% или 2 г на 1 кг почвы) оказывает вредное действие на растение, а при содержании их 0,3—0,5% растения погибают.

От концентрации и степени диссоциации растворенных веществ зависит осмотическое давление почвенного раствора и поглощение воды корнями растений. Осмотическое давление почвенного раствора в незасоленных почвах значительно ниже, чем в клеточном соке растений. На засоленных почвах с высоким осмотическим давлением поглощение воды культурными растениями затрудняется.

Состав и концентрация солей в почвенном растворе зависят от влажности почвы, интенсивности минерализации органического вещества, внесения удобрений, от взаимодействия его с твердой фазой почвы.

Твердая фаза почвы состоит из минеральной и органической частей. Около половины твердой фазы приходится на кислород, одна треть — на кремний, свыше 10% — на алюминий и железо, лишь 7% составляют остальные элементы (табл. 16). В почве по сравнению с литосферой (твердой оболочкой земной коры) содержится в 20 раз больше углерода и в 10 раз больше азота, что связано с жизнедеятельностью организмов. Азот практически полностью (на 95—97%) содержится в органической части почвы, углерод, фосфор, сера, кислород и водород — как в минеральной, так и в органической, а остальные указанные в таблице 16 элементы — в минеральной части почвы.

Минеральная часть составляет 90—99% от массы почв и имеет сложный минералогический и химический состав. Она состоит преимущественно из частиц различных первичных и вторичных минералов размером от миллионных долей миллиметра до 1 мм и более. По химическому составу минералы подразделяются на кремне-

16. Средний химический (элементарный) состав твердой фазы почвы  
(по А. П. Виноградову)

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

кислородные и алюмокремнекислородные соединения (или силикаты и алумосиликаты). Кроме того, в ее состав входят аморфные и кристаллические гидроксиды алюминия, железа и кремния, а также различные минеральные соли.

Наиболее распространен в почве первичный кремнекислородный минерал кварц ( $\text{SiO}_2$ , двуокись кремния), который содержится в ней преимущественно в виде частиц песка (от 0,05 до 1 мм) и пыли (от 0,001 до 0,5 мм). Содержание его во всех почвах превышает 60%, а в легких песчаных достигает 90% и более. Кварц характеризуется большой механической прочностью и устойчивостью к выветриванию, весьма инертен и в обычных условиях не участвует в химических реакциях в почве.

Из первичных алюмосиликатных минералов в почве широко распространены калиевые и натриево-кальциевые полевые шпаты (ортоклазы и плагиоклазы), в меньшей степени — калийная и железисто-магнезиальные слюды (мусковит и биотит). Постепенно разрушаясь, эти минералы служат источником калия, кальция, магния и железа для растений. Полевые шпаты и слюды обычно присутствуют в почве преимущественно в виде частиц пыли и частично в виде илестых (меньше 0,001 мм) частиц.

Вторичные или глинистые минералы образуются в процессе выветривания и почвообразования при изменении первичных минералов — полевых шпатов и слюд. По своей химической природе они относятся к гидроалюмосиликатам. Состоят главным образом из кремния, алюминия, кислорода и водорода, но в небольшом количестве содержатся в них также кальций, магний, калий, железо. Они находятся в почве преимущественно в виде мелкодисперсных илестых и коллоидных частиц и обладают большой суммарной поверхностью и высокой поглотительной способностью. Глинистые минералы по строению кристаллической решетки, степени дисперсности и другим свойствам

объединяются в три группы: каолинитовую, монтмориллонитовую и гидрослюд.

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

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

Различные механические фракции почвы различаются не только по размеру частиц, но имеют также неодинаковый минералогический и химический состав, отличаются по содержанию элементов питания. В более крупных частицах почвы — песке и крупной пыли — преобладают кварц и полевые шпаты, поэтому они характеризуются высоким содержанием кремния, но меньшим содержанием алюминия, железа, кальция, магния, калия, фосфора и других элементов (табл. 17).

17. Примерный химический состав разных механических фракций почвы

Фракция (в мм)	Содержание в весовых процентах						
	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	P
Песок (1,0—0,2)	43,4	0,8	0,8	0,3	0,3	0,7	0,02
Пыль крупная (0,2—0,04)	43,8	1,1	0,8	0,4	0,1	1,2	0,04
Пыль средняя (0,04—0,01)	41,6	2,7	1,0	0,6	0,2	1,9	0,09
Пыль мелкая (0,01—0,002)	34,6	7,0	3,6	1,1	0,2	3,5	0,04
Илистая фракция	24,8	11,6	9,2	1,1	0,6	4,1	0,18

В состав мелкодисперсной коллоидной и илистой фракции входят преимущественно вторичные алюмосиликатные минералы, поэтому в ней больше содержится алюминия и железа, а также кальция, магния, калия, натрия, фосфора и других элементов питания растений. В связи с этим тяжелые по механическому составу глинистые и суглинистые почвы, в которых больше содержится илистых и коллоидных частиц, богаче элементами питания, чем песчаные и супесчаные. Мелкодисперсные минеральные частицы почвы (глинистые минералы) вместе с органическим веществом обуславливают адсорбционные процессы в почве, ее поглотительную способность, которая играет важную роль при взаимодействии удобрений с почвой. Следовательно, от механического состава почвы зависят многие важные ее свойства — содержание кальция, магния, калия, фосфора, железа и других элементов питания, поглотительная способность и буферность, а также физические свойства (пористость, влагоемкость, водопроницаемость, воздушный и тепловой режимы).

Органическое вещество почвы составляет по массе небольшую часть твердой фазы, но имеет большое значение для ее плодородия и питания растений. Содержание органического вещества в почвах колеблется от 1—3% (в дерново-подзолистых почвах и сероземах) до 8—10% и более в мощных черноземах (табл. 18).

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

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

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

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

Общий запас гумуса в пахотном горизонте почв с невысоким его содержанием — сероземных и дерново-подзолистых — составляет 20—50 т, у черноземов — 150—200 т, а в метровом слое соответственно 50—120 и 300—800 т на 1 га (табл. 18).

Большое значение органического вещества для плодородия почвы и питания растений определяется следующим. Органическое вещество — важный источник элементов питания для растений. В нем содержится почти весь запас азота, поэтому почвы, содержащие больше органического вещества, отличаются и большим содержанием азота. В органическом веществе содержатся также значительная часть серы и фосфора, а также небольшое количество калия, кальция, магния и других элементов. При его минерализации азот, фосфор, сера и другие питательные вещества переходят в усвояемую для растений минеральную форму. Содержащиеся в почве гуминовые кислоты и фульвокислоты, а также углекислота, образующаяся при разложении органических веществ, оказывают растворяющее действие на труднорастворимые минеральные соединения фосфора, кальция, калия, магния, в результате чего они переходят в доступную для растений форму.

Гумусовые вещества наряду с мелкодисперсными минеральными частицами почвы принимают участие в адсорбционных процессах, определяют поглотительную способность почвы и ее буферность. Органическое вещество оказывает положительное влияние на структуру почвы, ее влагоемкость, водо- и воздухопроницаемость, тепловой режим.

Органические вещества служат источником пищи и энергетическим материалом для большинства почвенных микроорганизмов. Гумусовые вещества почвы труднее подвергаются минерализации, чем органические соединения растительных остатков и других негумифицированных веществ. Однако при длительном возделывании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений может происходить значительное уменьшение общего количества гумуса и азота в почве. Размеры ежегодной минерализации органического вещества в пахотном слое дерново-подзолистых почв в среднем составляют 0,6—0,7 т, а черноземов — 1 т на 1 га с образованием соответствующего количества доступного растениям минерального азота. При среднем содержании азота в гумусе около 5% на каждую единицу поглощенного растениями из почвы азота должно минерализоваться двадцатикратное количество гумуса.

Наиболее интенсивно происходит разложение гумуса в чистых парах, где в почве может накапливаться до 100—120 кг минерального (преимущественно нитратного) азота на 1 га. Одновременно с минерализацией органического вещества в почве постоянно происходит новообразование гумуса, и изменение общего его содержания в почве определяется соотношением между этими процессами. Основным источником органических веществ в почве являются остатки растений. Под влиянием микроорганизмов и других факторов они подвергаются сложным превращениям, образуя комплекс специфических гумусовых веществ. При возделывании культурных растений масса корневых и пожнивных остатков, попадающих в почву, составляет 3—4 т у однолетних культур и 7—12 т на 1 га у клевера и люцерны. При увеличении количества поступающих в почву корневых и пожнивных остатков процессы гумусообразования усиливаются.

Систематическое применение органических и минеральных удобрений, повышая урожаи сельскохозяйственных культур и увеличивая количество корневых и пожнивных остатков, способствует также сохранению и накоплению запасов гумуса и азота в почве.

Содержание основных элементов питания в почвах и их доступность растениям. В разных типах почв содержание и состав органического вещества, а также состав минеральной части неодинаковы, поэтому они отличаются по содержанию основных элементов питания (табл. 19).

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

В большинстве почв общий запас азота, фосфора и калия составляет

## 19. Валовое содержание азота, фосфора и калия в пахотном слое разных почв

Почвы	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
	%	тыс. кг на 1 га	%	тыс. кг на 1 га	%	тыс. кг на 1 га
Дерново-подзолистая:						
песчаная	0,02—0,05	0,6—1,5	0,03—0,06	0,9—1,8	0,5—0,7	15—21
суглинистая	0,05—0,13	1,5—4,0	0,04—0,12	1,2—3,6	1,5—2,5	45—75
Черноземы	0,2—0,5	6—15	0,1—0,3	3—9	2—2,5	60—75
Сероземы	0,05—0,15	1,5—4,5	0,08—0,2	1,6—6	2,5—3	75—90

значительные величины, в десятки и сотни раз превышающие вынос их урожаем одной культуры. Однако основная масса питательных веществ находится в почве в виде соединений, недоступных для непосредственного питания растений. Азот содержится главным образом в форме гумусовых веществ, фосфор в виде труднорастворимых минеральных солей и органических веществ, а калий в нерастворимых алюмосиликатных минералах. Поэтому валовой запас питательных веществ в почве характеризует лишь ее потенциальное плодородие. Для оценки эффективного плодородия почвы, действительной способности ее обеспечивать получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур важное значение имеет содержание питательных веществ в доступных для растений формах.

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

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

Содержание усвояемых форм питательных веществ зависит от типа почвы, ее окультуренности и предшествующей удобрённости. Оно может быть различным в разных хозяйствах и на отдельных полях хозяйства. Поэтому для правильного применения удобрений наряду с проведением полевых опытов важное значение имеют агрохимические анализы почв для определения подвижных форм азота, фосфора, калия.

В зависимости от типа почв и других условий используются разные методы анализа на содержание в них подвижных питательных веществ. Для определения доступного растениям и подвижного почвенного

азота в целях прогнозирования эффективности азотных удобрений и установления оптимальных доз азота предложены следующие методы.

1. Определение содержания нитратов или суммы минерального азота ( $N - NO_3 + N - NH_4$ ) в слое почвы 0—20 или 0—40 см перед посевом.

2. Определение подвижного азота ( $N - NO_3$ ,  $N - NH_4$  и амидного) в 1%-ной  $K_2SO_4$  вытяжке по Кёнигу.

3. Определение легкогидролизуемого азота в кислотной (0,5 н.  $H_2SO_4$ ) вытяжке по Тюрину и Кононовой.

4. Определение щелочно-гидролизуемого (1 н. NaOH) азота по Корнфильду.

5. Определение окисляемого (30%-ной NaOH + 5%-ным  $KMnO_4$ ) органического азота по Криеджи и Меркли.

6. Определение нитрифицирующей способности почв по Кравкову (7-дневное компостирование почвы при 26—28°C с определением  $NO_3^-$  до и после компостирования).

Исследования ряда авторов показали, что для установления резервов доступного растениям почвенного азота и потребности почв в азотных удобрениях наиболее надежными методами из вышеперечисленных являются первый и иногда третий для дерново-подзолистых почв, первый и второй — для черноземов.

Для определения подвижного фосфора и калия в основных типах почв используются различные методы, отличающиеся в основном реактивом, который применяется для извлечения P и K, а также соотношением и временем взаимодействия его с почвой.

Подвижный фосфор в дерново-подзолистых почвах определяют методом Кирсанова (вытяжка 0,2 н. HCl) и Чирикова (0,5 н.  $CH_3COOH$ ), в черноземах — методом Чирикова и Труога (0,002 н.  $H_2SO_4$ ), в сероземах и других карбонатных почвах — методом Мачигина (1%-ной  $K_2CO_3$ ), в красноземах — методом Аррениуса (1%-ной лимонной кислоты) и Ониани (0,1 н.  $H_2SO_4$ ), в Прибалтийских республиках для определения подвижного P и K широко используется метод Эгнера-Рима (лактат Ca с рН 3,6—3,7).

Обменный калий в дерново-подзолистых почвах определяют методами Кирсанова (0,2 н. HCl), а также Масловой (1 н.  $CH_3COONH_4$ ) и Пейве (1 н. NaCl), в некарбонатных черноземах — методами Чирикова (0,5 н.  $CH_3COOH$ ) и Бровкиной (0,2 н. HCl), в сероземах и карбонатных черноземах — методами Протасова [0,2 н.  $(NH_4)_2CO_3$ ] и Мачигина в модификации ЦИНАО [1%-ный  $(NH_4)_2CO_3$ ], в красноземах — методом Ониани (0,1 н.  $H_2SO_4$ ).

Агрохимические анализы почв на содержание подвижных форм питательных веществ проводятся зональными агрохимическими лабораториями (ЗАЛ). Результаты этих анализов оформляются в виде агрохимических карт. Для их составления все почвы принято подразделять по степени обеспеченности подвижными формами азота, фосфора и калия на шесть классов (табл. 20): очень низкая (I), низкая (II), средняя (III), повышенная (IV), высокая (V) и очень высокая (VI). Анализы почвы на азот проводятся пока еще редко из-за отсутствия до-

20. Группировка почв по обеспеченности подвижными формами фосфора и калия, мг на 100 г почвы

Класс почвы	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				K <sub>2</sub> O			
	по Карсанову	по Чарикову	по Мачигаяу	по Аренаусу	по Масловой	по Карсанову	по Чарикову	по Мачигаяу
I	<2-5	<2	<1	<8	<5	<4	<2	<10
II	2,5-5	2-5	1-1,5	8-15	5-10	4-8	2-4	10-20
III	5-10	5-10	1,5-3	15-30	10-15	8-12	5-8	20-30
IV	10-15	10-15	3-4,5	30-45	15-20	12-17	9-12	30-40
V	15-25	15-20	4,5-6	45-60	20-30	17-25	13-18	40-60
VI	>25	>20	>6	>60	>30	>25	>19	>60

статочно надежного, простого и быстрого метода определения доступных растениям или подвижных его форм.

На картограммах обеспеченности подвижными формами фосфора и калия стандартными цветами (или штриховкой) выделяются площади с разной степенью обеспеченности этими элементами в соответствии с существующими градациями (рис. 8).

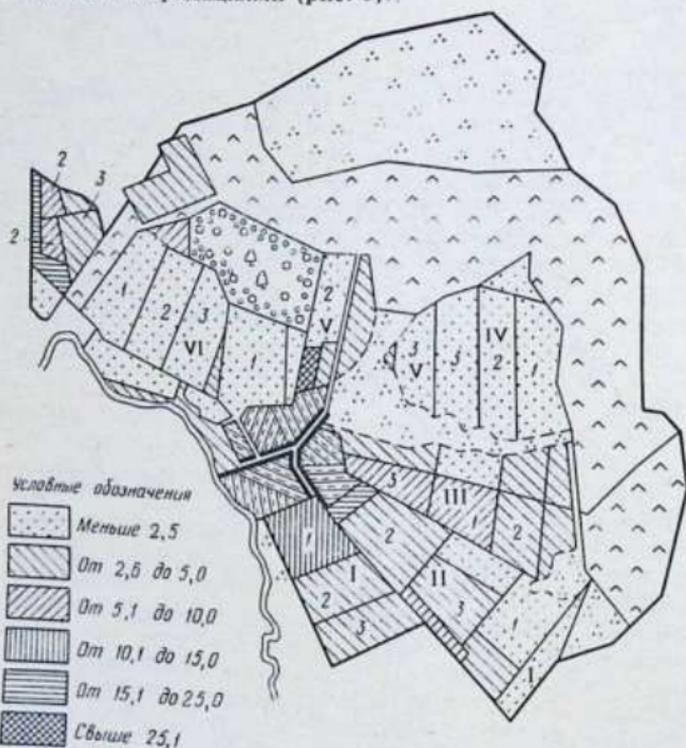


Рис 8. Картограмма содержания подвижного фосфора (в миллиграммах P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на 100 г почвы) в почвах хозяйства

Данные о содержании подвижных форм питательных веществ позволяют судить о степени обеспеченности ими почвы и потребности в удобрениях, а также корректировать рекомендуемые дозы удобрений под отдельные культуры. Для зерновых культур среднюю обеспеченность почвы элементами питания характеризуют показатели III класса, а для более требовательных пропашных и овощных культур соответственно IV и V классы. При большей, чем средняя, обеспеченности почвы питательными веществами рекомендуемая доза удобрений уменьшается, а при меньшей — повышается. При разности в степени обеспеченности на один класс против средней доза изменяется на 25—30%, а на два класса — в 1,5 раза.

### ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ

Большую роль в питании растений и в превращении внесенных в почву удобрений играет ее поглотительная способность. Основы современных представлений о поглотительной способности почвы были заложены работами академика К. К. Гедройца. Под поглотительной способностью понимается способность почвы поглощать различные вещества из раствора, проходящего через нее, и удерживать их. К. К. Гедройц различал пять видов поглотительной способности.

Биологическая поглотительная способность связана с жизнедеятельностью растений и почвенных микроорганизмов, которые избирательно поглощают из почвенного раствора необходимые элементы минерального питания и переводят их в органические соединения своих тел и тем самым предохраняют от выщелачивания из почвы. После отмирания растений и микроорганизмов происходит постепенная их минерализация, содержащиеся в них элементы питания переходят в минеральную доступную для растений форму. Однако минерализация и последующее использование растениями ранее закрепленного в почве в органической форме азота, фосфора и серы происходит довольно медленно. Наряду с минерализацией органических веществ в почве постоянно идет потребление усвояемых (минеральных) форм азота и других питательных веществ, а также внесенных удобрений почвенными микроорганизмами и перевод их в органическую форму. Когда биологическое поглощение питательных веществ микроорганизмами выражено слишком сильно, это может неблагоприятно отразиться на питании растений и их урожае.

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

Биологическое поглощение играет особенно большую роль в

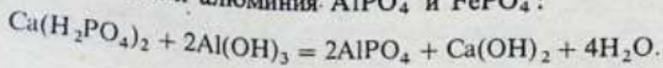
превращении азотных удобрений в почве. Исследования с использованием стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$  показали, что в результате биологического поглощения в почве закрепляется в органической форме 20—40% азота аммиачных и в 1,5—2 раза меньше (т. е. 10—20%) азота нитратных удобрений. Однако биологическое поглощение имеет особенно важное значение для нитратного азота, поскольку он никаким другим путем в почве не удерживается. Не усвоенный растениями и микроорганизмами легкоподвижный нитратный азот может вымываться, особенно из почвы легкого механического состава в районах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия. Кроме того, нитратный азот под действием микроорганизмов подвергается денитрификации и теряется из почвы в газообразной форме.

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

Физическая поглотительная способность — это положительная или отрицательная адсорбция частицами почвы целых молекул растворенных веществ. Положительная физическая адсорбция почвой растворимых минеральных солей неизвестна. Отрицательная адсорбция наблюдается при взаимодействии почвы с растворами хлоридов и нитратов, что обуславливает высокую подвижность их в почве и возможность вымывания их из верхнего слоя почвы при повышенной влажности. Такое вымывание  $\text{Cl}$ -иона имеет положительное значение, так как избыток хлора вреден для некоторых растений (картофеля, льна и др.), а для нитратов оно нежелательно, поэтому нитратные удобрения лучше вносить не осенью, а перед посевом весной и в подкормку.

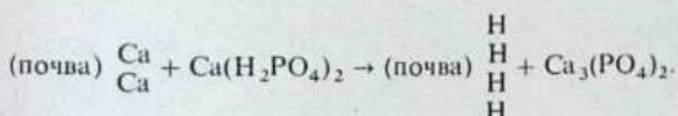
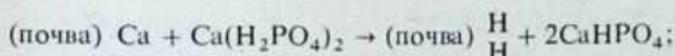
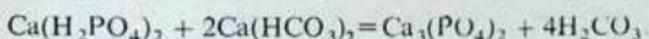
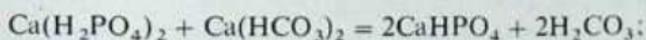
Химическая поглотительная способность связана с образованием нерастворимых и труднорастворимых в воде соединений в результате химических реакций между отдельными растворимыми солями в почве (ионами в почвенном растворе).

Так, анионы угольной и серной кислот с двухвалентными катионами кальция и магния дают труднорастворимые в воде соли:  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , выпадающие в осадок. Особое значение химическое поглощение играет в превращении фосфора в почве. При внесении водорастворимых фосфорных удобрений — суперфосфата, содержащего фосфор в виде однозамещенного фосфата кальция  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , аммофоса  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , диаммофоса  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  и др. — в почвах происходит интенсивное химическое связывание фосфора. В кислых почвах (в подзолистых и красноземах), содержащих много полуторных окислов; химическое поглощение фосфора идет с образованием труднорастворимых фосфатов железа и алюминия  $\text{AlPO}_4$  и  $\text{FePO}_4$ :



Свежеосажденные фосфаты алюминия и железа могут частично усваиваться растением, но при старении осадков они кристаллизуются и становятся менее растворимыми и слабодоступными для растений.

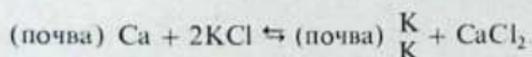
В почвах, насыщенных основаниями, содержащих много кальция и магния в поглощенном состоянии и бикарбоната кальция в почвенном растворе (черноземы, сероземы), химическое связывание фосфора происходит в результате образования слабо растворимых двух- и трехзамещенных фосфатов кальция —  $\text{CaHPO}_4$  и  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ :



Двухзамещенный фосфат кальция  $\text{CaHPO}_4$  растворим в слабых кислотах, и его фосфор усваивается растениями. При образовании значительно хуже растворимого трехзамещенного фосфата кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  доступность фосфора для растений снижается.

Химическое связывание (фиксация) фосфора обуславливает слабую подвижность его в почве и снижает доступность растениям фосфора из внесенных в почву легко растворимых удобрений. По своей способности к фиксации фосфора почвы располагаются в следующем порядке: красноземы > дерново-подзолистая почва > сероземы > черноземы.

**Физико-химическая, или обменная, поглотительная способность** имеет очень важное значение при взаимодействии удобрений с почвой. Физико-химическое поглощение — это способность мелкодисперсных коллоидных (<0,00025 мм) и илистых (<0,001 мм) частиц почвы поглощать из раствора различные катионы. Поглощение одних катионов из раствора сопровождается вытеснением в него эквивалентного количества других катионов, ранее поглощенных твердой фазой почвы:



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

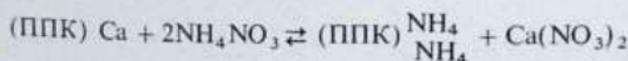
Способность органических и минеральных коллоидных частиц к обменному поглощению катионов обусловлена их отрицательным зарядом. В почве имеются и положительно заряженные коллоиды

(гидроокиси железа и алюминия при рН ниже 7—8), но, как правило, в большинстве почв преобладают отрицательно заряженные коллоиды.

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

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

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



В зависимости от концентрации раствора, его объема и природы обменивающихся катионов между катионами раствора и катионами почвенного поглощающего комплекса устанавливается некоторое подвижное равновесие. При изменении состава и концентрации почвенного раствора это равновесие смещается, в результате чего одни катионы переходят из раствора в поглощенное состояние, а другие — из поглощенного состояния в почвенный раствор. При внесении в почву растворимых минеральных удобрений, например  $\text{KCl}$ , концентрация почвенного раствора повышается, катионы удобрения вступают в обменную реакцию с катионами почвенного поглощающего комплекса, и часть их поглощается почвой.

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

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

энергией поглощения и способностью вытеснять другие катионы из поглощенного состояния.

Емкость поглощения и состав поглощенных катионов у разных почв. Разные почвы содержат неодинаковое количество способных к обмену поглощенных катионов (табл. 21). Общее количество в почве всех обменнопоглощенных катионов называется *емкостью поглощения*. Она выражается в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы. Например, если в 100 г почвы в поглощенном состоянии содержится 400 мг  $\text{Ca}^{2+}$ , 60 мг  $\text{Mg}^{2+}$  и 9 мг  $\text{NH}_4^+$ , то емкость поглощения этой почвы будет  $\frac{400}{20} + \frac{60}{12} + \frac{9}{18} = 25.5$  м.-экв. на 100 г (20 — эквивалентная масса кальция, 12 — магния, 18 — аммония).

Величина емкости поглощения характеризует поглотительную способность почв. Она зависит от механического и минералогического состава почвы, общего содержания в ней органического вещества. Почвы с малым содержанием коллоидной фракции (песчаные и супесчаные) имеют низкую емкость поглощения. Чем больше содержание в почве минеральных и органических коллоидных частиц, тем выше ее поглотительная способность. У глинистых и суглинистых почв емкость поглощения больше, чем у песчаных и супесчаных. Богатые органическим веществом черноземные почвы имеют значительно более высокую емкость поглощения (40—60 м.-экв. на 100 г), чем дерново-подзолистые почвы и сероземы (10—15 м.-экв. на 100 г для почв среднетяжелого механического состава).

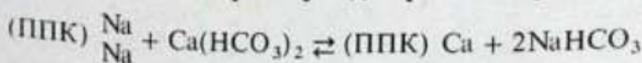
Невысокая емкость поглощения у дерново-подзолистых почв обуславливается более низким содержанием органического вещества, преобладанием в составе минеральной коллоидной фракции глинистых минералов типа каолинита, которые имеют невысокую поглотительную способность (5—15 м.-экв. на 100 г минерала), а также кислой реакцией, которая уменьшает отрицательный заряд почвенных коллоидов. Высокая емкость поглощения черноземов обусловлена тем, что они имеют нейтральную и слабощелочную реакцию, содержат больше гумуса, а в составе их мелкодисперсной минеральной фракции преобладают минералы монтмориллонитовой группы и группы гидрослюдов, которые имеют высокую поглотительную способность (80—120 м.-экв. на 100 г минерала).

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

Разные почвы отличаются не только по общей емкости поглощения, но и *составом поглощенных катионов*. В большинстве почв в составе

поглощенных катионов преобладает  $\text{Ca}^{2+}$ , второе место занимает  $\text{Mg}^{2+}$  и в значительно меньших количествах находится  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$ . Сумма  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  обычно составляет около 90% общего количества обменнопоглощенных катионов (табл. 21). В кислых почвах (подзолистых и красноземах) среди поглощенных катионов значительную часть составляют  $\text{H}^+$  и  $\text{Al}^{3+}$ , а в солонцовых почвах —  $\text{Na}^+$ . Обменнопоглощенные почвой катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$  являются важным источником питательных веществ для растений, они сравнительно легко вытесняются в раствор и хорошо усваиваются растениями.

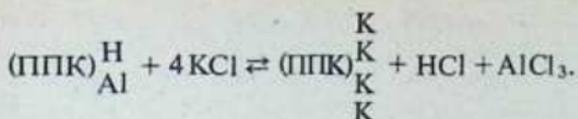
Состав поглощенных катионов оказывает большое влияние на свойства почвы и условия роста растений. Кальций и магний коагулируют органические и минеральные коллоиды, которые лучше сохраняются и накапливаются в почве. Поэтому преобладание в составе поглощенных катионов  $\text{Ca}^{2+}$ , например, в черноземах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



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

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

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



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

### КИСЛОТНОСТЬ И БУФЕРНОСТЬ ПОЧВЫ

Кислотность почвы создается наличием ионов  $\text{H}^+$  в почвенном растворе и в поглощающем комплексе. Различают актуальную и потенциальную кислотность почвы. *Актуальная кислотность* обусловлена повышенной концентрацией ионов  $\text{H}^+$  в почвенном растворе. Определяется она в водной вытяжке из почвы и измеряется величиной рН, которая обозначает отрицательный логарифм концентрации ионов  $\text{H}^+$  в растворе.

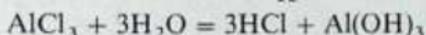
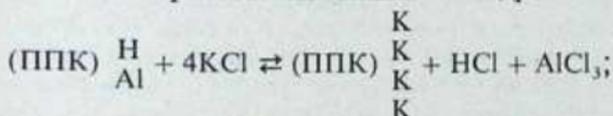
При нейтральной реакции концентрация ионов  $\text{H}^+$  и гидроксила  $(\text{OH})^-$  одинакова —  $10^{-7}$  мг на 1 л раствора, т. е. рН раствора 7,0. Если рН больше 7,0 — реакция щелочная, если рН меньше 7,0 — реакция кислая.

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

Реакция водной вытяжки разных почв колеблется от рН 3—3,5 (в сфагновых торфах) до рН 9—10 (в солонцовых почвах). Щелочную реакцию имеют южные черноземы и каштановые почвы (рН 7,5), сероземы (рН до 8,5) и солонцы (рН до 9 и более). Реакция раствора, близкая к нейтральной (рН 6,5—7) у обыкновенного и мощного черноземов, слабокислая реакция (рН 5,5—6,5) у выщелоченных черноземов и серых лесных почв, а подзолистые и дерново-подзолистые почвы имеют кислую или сильнокислую реакцию (рН 4—5 и ниже).

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

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

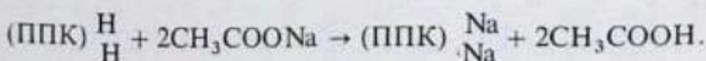


Кислотность, обусловленная ионами водорода и алюминия, находящимися в поглощенном состоянии и способными вытесняться в

раствор при действии на почву какой-либо нейтральной соли (например, KCl), называется *обменной кислотностью*. Определяется она обработкой почвы раствором 1 н. KCl (солевая вытяжка) и выражается в м.-экв. на 100 г почвы или величиной рН. В солевой вытяжке определяется суммарная величина актуальной и обменной кислотности. Поэтому при наличии у почвы обменной кислотности рН ее солевой вытяжки ниже, чем рН водной вытяжки.

Обменная кислотность характерна для дерново-подзолистых почв и красноземов, а также оподзоленных и деградированных черноземов. Это скрытая кислотность, но при действии на почву нейтральных солей она переходит в актуальную и оказывает отрицательное влияние на развитие растений. Особенно вредно действует переходящий в раствор алюминий. Поэтому при внесении в кислые почвы извести необходимо добиваться нейтрализации и актуальной и обменной кислотности.

При обработке почвы 1 н. KCl вытесняется из почвенного поглощающего комплекса не весь водород, часть его ионов более прочно поглощена коллоидами почвы и нейтральными солями не вытесняется. Их можно вытеснить, действуя на почву раствором гидролитически щелочной соли, например уксуснокислого натрия  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (раствор этой соли имеет рН около 8,2):



Кислотность почвы, обусловленная менее подвижными ионами водорода и вытесняемыми при обработке почвы гидролитически щелочной солью, называется *гидролитической кислотностью*. С гидролитической кислотностью приходится встречаться чаще, чем с обменной, она свойственна большинству почв, даже черноземам. Эта кислотность включает менее подвижную часть поглощенных ионов  $\text{H}^+$ , труднее обменивающихся на катионы почвенного раствора, поэтому она (при отсутствии обменной кислотности) не оказывает непосредственного вредного действия на растения. Определять ее необходимо для установления дозы извести и возможности эффективного применения фосфоритной муки.

При обработке почвы раствором уксуснокислого натрия в раствор вытесняется все количество содержащихся в почве ионов водорода (и алюминия), т. е. при этом определяется сумма всех видов кислотности (актуальная, обменная и гидролитическая). Чтобы получить величину собственно гидролитической кислотности, необходимо из общего показателя вычесть величину обменной кислотности. Обычно этого не делают и термином «гидролитическая кислотность» обозначают общую кислотность почвы, выражая ее в м.-экв. на 100 г почвы.

Степень насыщенности почвы основаниями. Для характеристики почвы важно знать не только абсолютные размеры кислотности, т. е. общее количество поглощенных ионов водорода, но и соотношение между ними и другими поглощенными катионами —  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и др. Количество всех поглощенных катионов, кроме водорода и алюминия, в м.-экв. на 100 г почвы (сумма поглощенных оснований)

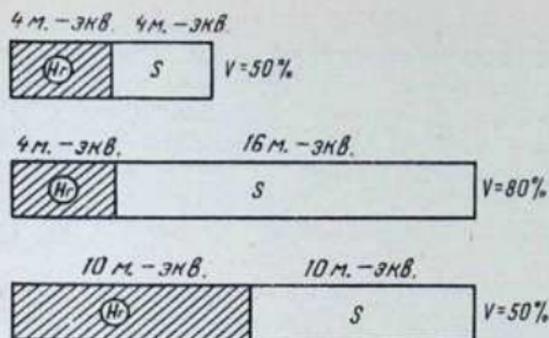


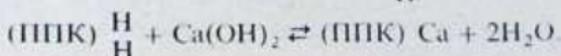
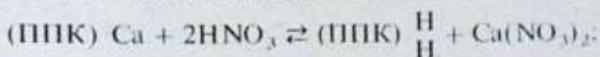
Рис. 9 Схематическое изображение зависимости между емкостью поглощения, гидролитической кислотностью, суммой поглощенных оснований и степенью насыщенности почвы основаниями.

обозначается буквой  $S$ , а общее количество поглощенного водорода, т. е. гидролитическая кислотность, обозначается  $Hг$ . Сложение их дает общую емкость поглощения почвы ( $T$ ) в м.-экв. на 100 г почвы:  $S + Hг = T$ . Доля суммы поглощенных оснований ( $S$ ), выраженная в процентах от емкости поглощения ( $T$ ), называется степенью насыщенности почв основаниями и обозначается буквой  $V$ .

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

Величина степени насыщенности основаниями — важный показатель для характеристики степени кислотности почвы, она учитывается при определении нуждаемости почв в известковании (рис. 9). Чем меньше степень насыщенности почвы основаниями (при одинаковой абсолютной величине кислотности), тем сильнее нуждаемость ее в известковании.

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



В почвах, насыщенных основаниями, свободные кислоты (например,  $\text{HNO}_3$ ) нейтрализуются с образованием в растворе нейтральной соли  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  вследствие поглощения почвой ионов  $\text{H}^+$  кислоты в обмен на катионы  $\text{Ca}^{2+}$ , которые из поглощенного состояния вытесняются в раствор. В почвах, не насыщенных основаниями, имеющих обменную или гидролитическую кислотность, происходит нейтрализация щелочи  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в результате поглощения ее катиона в обмен на ионы  $\text{H}^+$ , которые вытесняются в раствор и связывают ионы  $\text{OH}^-$  с образованием воды.

Чем больше гидролитическая кислотность почвы, тем выше буферность ее против подщелачивания. Почвы, имеющие высокую степень насыщенности основаниями (черноземы, сероземы), имеют высокую буферность против подкисления. Внесение высоких доз органических удобрений и известкование повышают буферность почвы против подкисления.

### АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ СССР

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

Для дерново-подзолистых почв характерно низкое содержание гумуса, общего азота и фосфора и резкое снижение их количества с глубиной профиля. Агрохимические свойства этих почв сильно варьируют в зависимости от их механического состава и степени окультуренности. В суглинистых почвах содержится от 2 до 3—4% гумуса, 0,1—0,2% азота, 0,07—0,12% фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и 1,5—2,5% калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ). Валовой запас гумуса (в слое 0—20 см) составляет 60—80 т, азота 3—6 т, фосфора 2—3,5 т и калия 45—75 т на 1 га. Песчаные и супесчаные почвы, занимающие площадь более 11 млн. га, беднее гумусом, N, P, K, Ca, Mg и микроэлементами, чем суглинистые. Содержание гумуса в легких почвах не превышает 0,5—1,0%, азота 0,03—0,08%, фосфора — 0,03—0,06% и калия 0,5—1,0%, валовой запас их составляет: гумуса 15—30 т, азота 0,9—2,4 т, фосфора 0,9—1,8 т и калия 15—30 т на 1 га.

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

Большинство дерново-подзолистых почв характеризуется сравнительно низким содержанием усвояемых (минеральных) форм азота, подвижного фосфора, а песчаные и супесчаные почвы — также и калия. Размер кислотности и содержание подвижных форм питательных веществ в почвах в сильной степени зависят от их окультуренности (табл. 22).

## 22. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистых почв

Степень окультуренности	рН солевой вытяжки	Мощность пахотного горизонта, см	Содержание гумуса, %	Подвижный фосфор	Подвижный калий
				мг на 100 г почвы	
Слабая	4—4,5	до 20	1,5—2	до 5	до 10
Средняя	4,6—5,0	20—22	2—2,5	5—10	10—15
Сильная	5,1—6,0	22—25	2,5—4	15—25	20—30

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

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

Серые лесные почвы характеризуются слабокислой реакцией (рН 4,8—6), невысокой обменной (до 1 м.-экв.), но значительной гидролитической кислотностью (от 2 до 6 м.-экв. на 100 г), сумма обменных оснований 15—30 м.-экв., из них 80—90% приходится на  $Ca^{2+}$ , степень насыщенности основаниями 80—95%. Содержание гумуса в пахотном горизонте (0—20 см) колеблется от 2 до 6%, а валовой запас от 60 до 150 т на 1 га и с глубиной снижается более постепенно, чем в дерново-подзолистых почвах. Общее содержание азота в этих почвах 0,15—0,35%, фосфора 0,05—0,2%, калия 1,5—3%, а валовой запас их в слое 0—20 см соответственно 4—10 т, 1,5—6 т и 45—90 т на 1 га.

Серые лесные почвы в зависимости от мощности гумусового горизонта, содержания гумуса и развития признаков оподзоливания подразделяются на светло-серые, серые и темно-серые, отличающиеся по агрохимическим свойствам (табл. 23).

## 23. Агрохимические свойства серых лесных почв

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

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

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

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

**Черноземы.** Агрохимические свойства основных подтипов черноземов характеризуются следующими показателями (табл. 24).

24. Агрохимические свойства черноземов

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

Черноземы по сравнению с другими почвами характеризуются более высоким естественным плодородием, имеют мощный гумусовый горизонт, значительно больше содержат гумуса (4—12%) и общего азота (0,2—0,5%) в пахотном горизонте с постепенным снижением их по профилю. Валовой запас гумуса и азота в слое 0—20 см составляет соответственно 60—220 и 3—15 т на 1 га, а в метровом слое — в 3—4 раза больше. Общее содержание фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) колеблется от 0,1 до 0,3%, а валовой запас его 2—4,5 т на 1 га. Реакция этих почв, близкая к нейтральной или слабощелочная (рН 6—8), обменная кислотность, как правило, отсутствует, гидролитическая кислотность колеблется от 0 до 4 м.-экв. на 100 г. Черноземы имеют высокую емкость поглощения

(30—60 м.-экв.) и степень насыщенности основаниями (85—100%). Наибольшая мощность гумусового горизонта (100—180 см), более высокое содержание гумуса (8—12%), общего азота (0,4—0,5%) и фосфора (0,25—0,35%) и валовые их запасы (соответственно 120—220, 7—15 и 3,5—4,5 т на 1 га), а также емкость поглощения (50—60 м.-экв. на 100 г) у типичного чернозема. К северу — у выщелоченного чернозема и к югу — у обыкновенного и особенно южного черноземов эти показатели снижаются. Реакция почвы слабокислая у выщелоченного чернозема (pH 5,5—6,5) и слабощелочная (pH 7,8) у обыкновенного и южного, у которых также выше степень насыщенности основаниями и незначительная или вовсе отсутствует гидролитическая кислотность. У выщелоченных черноземов гидролитическая кислотность достигает часто 3—5 м.-экв. на 100 г. Все подтипы черноземов богаты калием, общее содержание его равно 2,5—3%, а валовой запас 75—90 т на 1 га. Несмотря на высокое потенциальное плодородие черноземов, обеспеченность их усвояемыми формами азота и подвижным фосфором, особенно старопашотных и слабоудобрявшихся почв, очень часто невысокая. Поэтому на этих почвах наблюдается высокая эффективность фосфорных удобрений, а при более благоприятных условиях увлажнения — и азотных удобрений. На старопашотных и слабоудобрявшихся черноземах уменьшаются по сравнению с целинными запасы общего и обменного калия, поэтому на таких почвах, особенно под калиелюбивые культуры (сахарная свекла, картофель, подсолнечник и др.), эффективно применение калийных удобрений (вместе с азотными и фосфорными). Минеральные удобрения наиболее эффективны в более увлажненных западных районах черноземной зоны, в восточных районах (параллельно с ухудшением условий увлажнения) эффективность их снижается.

Каштановые почвы делятся на темно-каштановые, каштановые и светло-каштановые, которые имеют следующие агрохимические свойства (табл. 25).

25. Агрохимические свойства каштановых почв

Подтип	Мощность гумусового горизонта, см	Содержание гумуса, %	Общий N, %	Общий фосфор, %	pH солевой вытяжки	Сумма обменных катионов
Темно-каштановая	35—45	4—5	0,2—0,3	0,1—0,2	7—7,2	30—35
Каштановая	30—40	3—4	0,15—0,20	0,1—0,2	7,2—7,5	20—13
Светло-каштановая	25—30	2—3	0,10—0,15	0,08—0,15	7,4—8	12—15

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

У каштановых и светло-каштановых почв, которые распространены в более засушливых районах сухих степей, меньше мощность гумусового горизонта (30—40 и 25—30 см), ниже содержание гумуса (3—4 и 2—3%) и общего азота (0,15—0,20 и 0,10—0,15%); более резкое снижение их с глубиной профиля, карбонатный горизонт залегает выше (вскипание от НС1 на глубине 30—40 см и 25—30 см), реакция слабощелочная и щелочная (рН 7,2—8). Сумма обменных оснований 20—25 и 12—15 м.-экв. на 100 г, среди обменных катионов преобладает  $\text{Ca}^{2+}$ , имеется также  $\text{Mg}^{2+}$ , а у светло-каштановых почв и  $\text{Na}^+$ . Среди последних много солонцеватых и сильносолонцеватых разновидностей. Для каштановых почв характерна различная степень засоления, но солевой горизонт обычно расположен на глубине 1 м и ниже. Из верхнего горизонта водорастворимые соли вымыты, содержание их (главным образом бикарбонатов Са и Mg) небольшое (сотые %). В солевом горизонте из водорастворимых солей преобладают сульфаты и хлориды. Каштановые почвы богаты калием, но имеют низкую обеспеченность подвижными формами азота и фосфора. Однако эффективность минеральных удобрений на этих почвах из-за недостатка влаги обычно низкая. В условиях богарного земледелия рекомендуется внесение небольших доз фосфорных удобрений в рядки при посеве зерновых культур. При орошении эффективность азотных и фосфорных удобрений резко повышается, но калийные удобрения также мало эффективны. Для повышения плодородия солонцовых почв и солонцов рекомендуется применение гипса.

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

Сероземы характеризуются высокой карбонатностью, малогумусностью и низким содержанием азота. Содержание гумуса в слое 0—20 см у светлых сероземов 1—1,5%, типичных — 1,5—3%, темных — до 4—5%.

Общее содержание азота соответственно 0,07—0,12%, 0,1—0,2% и 0,35—0,40%. Валовой запас гумуса в слое 0—20 см колеблется от 30—40 у светлых сероземов до 120—150 т на 1 га у темных, а запас азота от 2—4 до 8—10 т на 1 га.

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

Сероземы имеют слабощелочную реакцию (рН 7,2—8), относительно низкую емкость поглощения (9—10 м.-экв. у светлых, 12—15 м.-экв. — у типичных и 18—20 м.-экв. на 100 г у темных сероземов). Из суммы обменнопоглощенных катионов 80—90% составляет  $\text{Ca}^{2+}$ , 10—15%  $\text{Mg}^{2+}$  и 5—8%  $\text{K}^+$  и  $\text{Na}^+$ . Для орошаемых сероземов характерна высокая биологическая активность и нитрификационная способность, но образующиеся нитраты интенсивно мигрируют (при поливах) по профилю почвы. Для повышения плодородия этих почв исключительно большое значение имеет систематическое применение органических и минеральных удобрений.

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

### Контрольные вопросы

1. Каков состав почвенного воздуха, почвенного раствора и твердой фазы почвы. их значение для растений?
2. Что такое минеральный состав почвы и его значение как источника питательных веществ для растений?
3. Какова роль органического вещества почвы в ее плодородии и питании растений?
4. Каково общее содержание N, P, K в почвах и их доступность для растений?
5. Какие вы знаете виды поглотительной способности почвы и их значение при взаимодействии удобрений с почвой?
6. Что такое биологическая поглотительная способность и ее значение в превращении азотных удобрений в почве?
7. Каково значение химической поглотительной способности в превращении фосфорных удобрений в почве?
8. Что такое физико-химическое или обменное поглощение катионов в почве? Что называется почвенным поглощающим комплексом? Какова способность почв к обменному поглощению разных катионов?
9. Какова емкость поглощения и состав поглощенных катионов у разных почв?
10. Чем обусловлена кислотность почв?
11. Какие вы знаете виды почвенной кислотности: разница между актуальной и потенциальной кислотностью?
12. Что такое степень насыщенности почв основаниями?
13. Что такое буферная способность почвы, от чего она зависит и каково ее значение для роста растений и применения удобрений?
14. Дайте характеристику агрохимических свойств основных типов почв.

### ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

#### Отбор образцов почвы в поле и подготовка их к анализу

Для агрохимического анализа почвы обычно берут смешанные почвенные образцы из пахотного слоя. Их составляют из многих индивидуальных проб, которые отбирают буром равномерно на всей площади участка или поля (но лишь в пределах одной почвенной разности). При отборе индивидуальных проб необходимо избегать нетипичных для данного поля мест (западин, бугров, площадок из-под куч удобрений и т. д.). С однородного по рельефу участка (площадью 5—10 га в полевых севооборотах и 1—3 га в овощных севооборотах) берут один смешанный образец из 20—30 индивидуальных проб, которые отбирают буром на глубину 0—20 см или по диагоналям участка или (на вытянутом в длину участке) посередине него на одинаковом расстоянии друг от друга. Пробы желательно отбирать при состоянии физической спелости почвы. Взятые индивидуальные пробы почвы тщательно перемешивают на листе фанеры или куске брезента. Для составления смешанного образца отбирают небольшой объем

почвы, но не менее 200—300 г и высыпают в чистый мешочек или картонную коробку. В них кладут фанерную или картонную этикетку, на которой простым карандашом должно быть написано: название хозяйства, севооборот, поле или участок, номер образца, время его взятия и фамилия работника, бравшего образец. Такую же запись делают и в тетради, в которой, кроме того, отмечают характеристику рельефа поля, тип почвы, виды и состояние культурных растений и сорняков.

Смешанные образцы почвы отправляют в лабораторию, где они после соответствующей подготовки поступают на анализ. Образец почвы в лаборатории необходимо высыпать на плотный лист бумаги, размять руками комья и отобрать пинцетом посторонние включения (корни, камни и т. д.). Затем образец почвы (предварительно доведенный до воздушно-сухого состояния) хорошо перемешивают, слегка измельчают, просеивают через сито с круглыми отверстиями диаметром 2 мм и берут из него ложкой или шпателем (не менее чем из пяти разных мест) аналитическую пробу, которую лучше хранить в стеклянных банках с притертой пробкой или в мешочках и коробочках.

**Определение подвижных форм фосфора и калия  
в почвах (из одной навески) по методу А. Г. Кирсанова**

**Принцип метода.** Метод основан на извлечении подвижного фосфора и калия из почвы 0,2 н. HCl при отношении почвы к раствору 1 : 5 и определении фосфора в вытяжке по интенсивности окраски молибденовой сини на электрофотокolorиметре, а калия — на пламенном фотометре.

**Ход анализа.** На теххимических весах берут навеску почвы 10 г, помещают ее в бутылки или колбы на 250 мл, приливают к навеске 50 мл 0,2 н. HCl (температура его должна быть в пределах 18—20°C) и перемешивают почву с раствором 1 мин вручную или на специальной мешалке. После перемешивания суспензию отстаивают 15 мин, а затем фильтруют. Из фильтрата берут пипеткой 5 мл вытяжки в колбы на 100 мл и приливают из бюретки 95 мл реактива Б (реактив 2). Через 10 мин окрашенный в синий цвет раствор колориметрируют на электрофотокolorиметре при красном светофильтре. В оставшемся фильтрате определяют калий на пламенном фотометре. Образцовые растворы (реактив 3) шкалы отбирают и окрашивают точно так же, как и почвенную вытяжку. Расчет результатов анализа проводят на основе отсчетов на ФЭК и пламенном фотометре по калибровочным шкалам на фосфор и калий.

**Материалы и оборудование.** Образцы почвы. Бутылки или колбы на 250 мл. Колбы на 100 мл. Пипетки на 5 мл. Бюретки на 100 мл. Теххимические веса. Фотоэлектроколориметр. Пламенный фотометр.

**Реактивы.** 1 0,2 н. раствор HCl — 16 мл концентрированной HCl разбавляют дистиллированной водой до 1 л. 2. Реактивы А и Б. При смешивании растворов: а) молибденовой сини (6 г соли растворяют в 200 мл дистиллированной воды при нагревании); б) сурьмяновиннокислого калия (0,145 г соли растворяют при нагревании в 100 мл воды); в) серной кислоты (70 мл концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> приливают к 430 мл дистил-

лированной воды) и доведении смешанных растворов до 1 л дистиллированной водой получают реактив А, который хранят в склянке из темного стекла. Реактив В готовят в день проведения анализов — 0,887 г аскорбиновой кислоты растворяют в 168 мл реактива А и доводят водой до 1 л. 3. Образцовые растворы на фосфор и калий: а) на фосфор — 0,1917 х. ч.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  помещают в мерную колбу на 1000 мл и растворяют в 0,2 н.  $\text{HCl}$ . Доводя объем до метки, полученный раствор содержит 0,1 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$  в 1 мл. Он служит исходным для приготовления запасной шкалы образцовых растворов. Для этого в мерные колбы на 500 мл отбирают следующие количества исходного раствора  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ :

№ образцового раствора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объем исходного раствора $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , мл	5	15	25	50	75	100	125	150	200	250
Содержание $\text{P}_2\text{O}_5$ , мг на 1 кг почвы	5	15	25	50	75	100	125	150	200	250

Растворы в колбах доводят до метки 0,2 н.  $\text{HCl}$ . Из образцовых растворов запасной шкалы отбирают пипеткой 5 мл в колбочки на 100 мл и окрашивают эти растворы рабочей шкалы точно так же, как вытяжку из почвы;

б) На калий — 0,7915 х. ч.  $\text{KCl}$  помещают в мерную колбу на 1000 мл и растворяют 0,2 н.  $\text{HCl}$ , доводя объем ее до метки. Раствор содержит 0,5 мг  $\text{K}_2\text{O}$  в 1 мл и является исходным для приготовления шкалы образцовых растворов. Для этого в мерные колбы на 250 мл отбирают следующие количества исходного раствора  $\text{KCl}$ :

№ образцового раствора	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Объем исходного раствора $\text{KCl}$ , мл	1	2	4	6	10	20	40	60	80
Содержание $\text{K}_2\text{O}$ , мг на 1 кг почвы	10	20	40	60	100	200	400	600	800

Растворы в колбах доводят до метки 0,2 н.  $\text{HCl}$  и используют для построения калибровочной кривой. Хранить их следует не более 1 месяца.

#### Определение доступного растениям калия в черноземных почвах по методу Е. А. Бровкиной

**Принцип метода.** Метод основан на извлечении подвижного калия из черноземов 0,2 н.  $\text{HCl}$  (по А. Т. Кирсанову) и дальнейшем определении калия по Я. В. Пейве.

**Ход анализа.** Навеску почвы в 15 г помещают в склянку на 200—250 мл и заливают 75 мл 0,2 н.  $\text{HCl}$ . Суспензию взбалтывают (1 ч) и фильтруют. Берут 50 мл фильтрата в фарфоровую чашку и выпаривают на водяной бане досуха. Просушенный остаток прокалывают для удаления аммиачных солей и органического вещества.

После охлаждения осадка приливают к нему 25 мл 1 н.  $\text{NaCl}$  и растворяют содержимое, растирая осадок стеклянной палочкой.

Жидкость отфильтровывают через маленький фильтр в сухую колбочку. Берут 10 пробирок с метками на 5 мл и градуированной пипеткой переносят в них уменьшающиеся количества фильтрата (5; 4; 3; 2,5; 2; 1,8; 1,5; 1,0; 0,8 мл). Доводят объем жидкости до 5 мл 1 н.  $\text{NaCl}$ . В каждую пробирку, кроме последней, прибавляют мерной ложечкой около 0,1 г сухого реактива кобальтнитрита натрия, потихоньку взбалтывая раствор. В последнюю пробирку наливают 5 мл раствора  $\text{NaCl}$  и вставляют термометр (рекомендуется кобальтнитрит натрия в первую очередь прибавить в пробирку № 9 и в

случае немедленного появления мути испытуемый раствор разбавить вдвое 1 н. NaCl. Результаты анализа при этом удваиваются). После прибавления реактива содержимое пробирок хорошо взбалтывают и оставляют на 30 мин при температуре 18—20°С. Затем записывают температуру и наблюдают за появлением мути и выпадением осадка. Отмечают первую пробирку, в которой не выпал осадок и не появилась муть.

**Вычисление результатов анализа.** При температуре от 12° до 24°С и особенно при 18—20°С количество калия ( $K_2O$ ) в мг на 1 л раствора, не дающего мути при осаждении кобальтнитритом натрия, равно температуре, при которой проводили анализ. Количество  $K_2O$  в миллиграммах на 100 г почвы ( $x$ ) вычисляется по следующей формуле:

$$x = \frac{t^\circ \cdot 5 \cdot 100}{1000 \cdot n},$$

где  $t^\circ$  — замеренная температура раствора, равняется количеству миллиграммов  $K_2O$ , перешедшего в 1 л раствора; 1000 — для пересчета количества  $K_2O$  в миллиграммы на 1 мл раствора; 5 — общий объем раствора в пробирке, мл;  $n$  — навеска почвы, г, соответствующая объему вытяжки в той первой пробирке, где не выпал осадок; 100 — для выражения содержания  $K_2O$  на 100 г почвы. После сокращения формула приобретает следующий вид:

$$x = \frac{t^\circ}{2n},$$

где  $n$  — вычисляется путем умножения числа миллилитров вытяжки в пробирке, где не выпал осадок, на 0,4 (г почвы, соответствующие 1 мл вытяжки).

На основании определения содержания подвижных форм фосфора и калия в почвенных образцах, взятых в различных полях севооборота хозяйства, необходимо указать, к какому классу по обеспеченности фосфором и калием относится данная почва, и составить соответствующие картограммы. В зависимости от того, к какому классу по содержанию фосфора и калия (в мг на 100 г) относятся разные почвы, нужно использовать следующие цвета для раскраски отдельных контуров на картограммах: красный — для I класса, оранжевый — для II, желтый — для III, зеленый — для IV, голубой — для V и синий — для VI класса.

#### Определение обменной кислотности (рН солевой вытяжки почв)

**Принцип метода.** Обменная кислотность определяется обработкой почвы 1 н. KCl. При этом в раствор вытесняются обменнопоглощенные ионы водорода и алюминия и происходит его подкисление (см. стр. 75). Кислотность вытяжки определяют колориметрическим или потенциометрическим методом, и результат выражают в единицах рН.

**Ход анализа.** Колориметрический метод

определения рН почвы. В колбочку на 100 мл насыпают 10 г почвы и приливают в нее 25 мл 1 н. КСl (реактив 1). Колбочку закрывают резиновой пробкой и хорошо взбалтывают (в течение 5 мин), после чего дают жидкости отстояться до полного осветления. Пипеткой переносят 5 мл прозрачной вытяжки (не взмучивая осадка почвы на дне пробирки) в чистую пробирку, прибавляют 5—6 капель комбинированного индикатора (реактив 2), закрывают пробирку пробкой и хорошо взбалтывают. От индикатора раствор в пробирке окрашивается. Эту окраску сравнивают со стандартной шкалой Алямовского, и величину рН записывают в рабочую тетрадь.

**Потенциометрическое определение рН почвы.** На теххимических весах берут навеску почвы 10 г, помещают в колбочку емкостью 100 мл и приливают 25 мл 1 н. КСl. Почву с раствором хорошо перемешивают в течение 1 мин и в суспензии (без отстаивания жидкости) измеряют рН с помощью прибора «рН-метр». Для этого погружают в суспензию стеклянный электрод и солевой контакт электрода сравнения и через 1,5 мин измеряют рН, отмечая его на шкале прибора (см. стр. 308)

**Использование результатов анализа.** Результаты определения рН солевой вытяжки служат для характеристики степени кислотности почвы. При рН до 4,5 кислотность сильная, рН 4,6—5 — средняя, рН 5,1—5,5 — слабая, рН 5,6—6,0 — реакция близкая к нейтральной, >6,0 — нейтральная. На основании определения рН солевой вытяжки в образцах почвы, взятых с различных частей поля (или разных полей), студенты учебной группы оформляют картограмму кислотности. Для обозначения контуров почв с различными величинами рН нужно взять следующие цвета: < 4,5 — красный, 4,6—5 — желтый, 5,1—5,5 — зеленый, 5,6—6,0 — голубой, > 6,0 — синий. По величине рН солевой вытяжки устанавливают степень нуждаемости почв в известковании и ориентировочную норму известки (см. стр. 99—100).

**Материалы и оборудование.** Образцы почвы. Теххимические веса. Колбочки на 100 мл, пипетки на 5 мл. Прибор Алямовского. рН-метр.

**Реактивы:** 1. 1 н. раствор КСl (74,56 г соли растворяют в 400—500 мл дистиллированной воды и доводят его до объема 1 л, раствор должен иметь рН 5,6—6, в противном случае добавляют по каплям 10%-ную НСl или КОН до получения указанного значения рН. 2. Комбинированный индикатор получают смешиванием одной части 0,02%-ного раствора метилового красного (а) с двумя частями 0,04%-ного раствора бромтимолового синего (б). Индикатор позволяет вести определение рН в интервале от 4 до 8; в кислом интервале рН дает красную окраску, а щелочном — синюю. Хранят индикатор и составные его части в темных склянках.

а) 0,02%-ный раствор метилового красного: 0,1 г индикатора метилового красного растирают в агатовой ступке с небольшим количеством этилового спирта и смывают им же в мерную колбу на 500 мл; всего для растворения навески следует налить 300 мл этилового спирта; для перевода индикатора в растворимую натриевую соль добавляют 7,4 мл 0,05 н. раствора NaOH, доливают раствор дистиллированной водой до 500 мл и хорошо перемешивают.

б) 0,04%-ный раствор бромтимолового синего: 0,4 г бромтимолового синего растворяют в 208 мл этилового спирта, добавляют 12,8 мл 0,05 н. раствора NaOH, доливают дистиллированной водой до 1 л и хорошо перемешивают.

Величина гидролитической кислотности, определенная этим методом, характеризует суммарную (потенциальную и актуальную) кислотность почвы. Она используется для расчета дозы извести и оценки эффективности фосфоритной муки в сравнении с суперфосфатом.

**Принцип метода.** Метод основан на обработке почвы 1 н. раствором гидролитически щелочной соли  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (при соотношении почвы к раствору 1 : 2,5). При этом вытесняются из почвы не только обменнопоглощенные, но и более прочно удерживаемые в ППК ионы  $\text{H}^+$ . Кислотность вытяжки или суспензии определяется затем или путем титрования ее 0,1 н.  $\text{NaOH}$ , или рН-метрическим методом.

**Ход анализа.** На теххимических весах берут навеску почвы 20 г и помещают в бутылку или колбу емкостью 250—500 мл. Приливают 50 мл 1 н. раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (реактив 1), закрывают каучуковой пробкой и содержимое взбалтывают в течение 1 ч на ротаторе или качалке. Полученную суспензию отфильтровывают и 25 мл фильтрата переносят в коническую колбу. Приливают к фильтрату 2—3 капли фенолфталеина (реактив 2) и оттитровывают его 0,1 н. раствором  $\text{NaOH}$  (реактив 3) до не исчезающей в течение 1 мин слабо-розовой окраски.

Результаты анализа вычисляют по формуле:

$$H_z = \frac{a \cdot T \cdot 10 \cdot 1,75}{10}$$

где  $H_z$  — гидролитическая кислотность, м.-экв. на 100 г почвы;  $a$  — расход на титрование 0,1 н.  $\text{NaOH}$ , мл;  $T$  — поправка к титру щелочи; 10 в числителе — для пересчета результатов на 100 г почвы (25 мл фильтрата соответствует 10 г почвы); 10 в знаменателе — для перевода результатов в м.-экв.; 1,75 — коэффициент на полноту вытеснения водорода из почвы.

Экспериментально показано, что полная величина гидролитической кислотности в 1,5—2 (в среднем в 1,75) раза больше, чем определяемая данным методом путем однократной обработки почвы  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .

При проведении анализа с рН-метрическим окончанием почву с раствором уксуснокислого натрия перемешивают в течение 1 мин и оставляют до следующего дня. Затем суспензию снова перемешивают 1 мин и измеряют рН с помощью «рН-метра», как описано выше (стр. 307—311). Величину  $H_z$  в м.-экв. на 100 г находят по величине рН, пользуясь следующей таблицей:

рН	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2
$H_z$	9,04	7,28	5,85	4,71	3,79	3,05	2,46	1,98	1,60	1,28

**Материалы и оборудование.** Образцы почвы. Теххимические весы. Бутылки или колбы на 250—500 мл с пробками. Ротатор или качалка. Бюретка на 50 или 100 мл. Коническая колбочка на 100 мл. Пипетки на 25—50 мл. Воронки, фильтры, «рН-метр».

**Реактивы.** 1. 1 н. раствор  $\text{CH}_3\text{COONa}$ : 136,06 г соли растворяют в дистиллированной воде и доливают ее в литровой колбе до метки. Раствор с одной каплей фенолфталеина должен давать слабо-розовое окрашивание (иначе добавляют к нему по каплям 1 н.  $\text{NaOH}$  или 10%-ую  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). 2. Фенолфталеин — 1%-ный спиртовой раствор. 3. 0,1 н. щелочь ( $\text{NaOH}$ )

**Определение суммы поглощенных оснований  
(по Каппену — Гильовицу)**

**Принцип метода.** Метод основан на обработке почвы 0,1 н. раствором  $\text{HCl}$ , при этом часть кислоты идет на вытеснение и нейтрализацию поглощенных оснований, а остаток ее учитывается титрованием 0,1 н. раствором  $\text{NaOH}$ . По разности между взятым и оставшимся количеством  $\text{HCl}$  находят ту часть ее, которая израсходовалась на вытеснение и нейтрализацию поглощенных оснований.

**Ход анализа.** На теххимических весах берут навеску почвы 10 г, помещают ее в бутылку или колбу емкостью 250 мл и приливают из бюретки (или пипетки) 50 мл 1 н. раствора  $\text{HCl}$  (реактив 1). Бутылку или колбу закрывают пробкой и содержимое взбалтывают в течение 1 ч на ротаторе или качалке, после чего почву с кислотой оставляют стоять на 24 ч, затем хорошо взбалтывают от руки и фильтруют через сухой беззольный фильтр. Из полученного фильтрата берут пипеткой 25 мл, помещают в коническую колбочку на 100 мл, прибавляют три капли фенолфталеина (реактив 2), кипятят на газовой горелке или электроплитке и в горячем виде при помешивании титруют 0,1 н. раствором  $\text{NaOH}$  (реактив 3) до слабо-розовой окраски, не исчезающей в течение 1 мин.

Результаты анализа вычисляются по формуле:

$$S = \frac{(a \cdot T_1 - b \cdot T_2) \cdot 20}{10},$$

где  $S$  — сумма поглощенных оснований, м.-экв. на 100 г почвы;  $a$  — количество взятой 0,1 н.  $\text{HCl}$ , мл;  $b$  — количество мл 0,1 н.  $\text{NaOH}$ , пошедшее на титрование;  $T_1$  и  $T_2$  — поправки к титру 0,1 н.  $\text{HCl}$  и 0,1 н.  $\text{NaOH}$ ; 20 — коэффициент для перевода результатов на 100 г почвы (25 мл фильтрата соответствуют 5 г почвы); 10 — коэффициент для перевода результатов в м.-экв.

**Материалы и оборудование.** Образцы почв. Теххимические веса. Бутылки или колбы на 250 мл с пробками. Ротатор или качалка. Бюретки на 50—100 мл. Пипетки на 50 мл. Конические колбочки на 100 мл. Электроплитка. Воронки. Фильтры (беззольные).

**Реактивы.** 1. 0,1 н. раствор  $\text{HCl}$ . 2. Фенолфталеин. 3. 0,1 н. раствор  $\text{NaOH}$ .

**Вычисление емкости поглощения и степени насыщенности  
почвы основаниями**

Емкость поглощения почвы (в м.-экв. на 100 г почвы) вычисляют по формуле:

$$T = S + H_2,$$

где  $S$  — сумма поглощенных оснований;  $H_2$  — гидролитическая кислотность (т. е. сумма всех ионов  $\text{H}^+$ , находящихся в почве), м.-экв. на 100 г.

Она характеризует обменную поглотительную способность почвы, играющую важную роль при взаимодействии ее с удобрениями (стр. 71).

Степень насыщенности почвы основаниями  $V$  показывает, какая часть емкости поглощения насыщена основаниями (в %), ее вычисляют по формуле:

$$V\% = \frac{S \cdot 100}{T}$$

Степень насыщенности почвы основаниями является весьма важным показателем оценки необходимости известкования и возможности применения фосфоритной муки (см. стр. 99, 139).

---

**ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ**

---

В нашей стране значительные площади занимают кислые и щелочные солонцовые почвы. Вследствие большого количества в поглощенном состоянии катионов водорода и алюминия в кислых, а натрия в солонцовых почвах резко ухудшаются их свойства и снижается плодородие. Для коренного улучшения и повышения плодородия этих почв необходима их химическая мелиорация в сочетании с другими агротехническими приемами. Методы химической мелиорации — известкование кислых и гипсование щелочных солонцовых почв — основаны на изменении состава поглощенных катионов в этих почвах путем введения кальция в почвенный поглощающий комплекс.

**ИЗВЕСТКОВАНИЕ КИСЛЫХ ПОЧВ**

Кислые почвы занимают в нашей стране большие площади — свыше 60 млн. га, в том числе около 40 млн. га приходится на пашню. Основная часть кислых почв находится в Нечерноземной зоне страны. Кроме дерново-подзолистых почв, имеют кислую реакцию и нуждаются в известковании красноземы, серые лесные, торфяно-болотные почвы и частично выщелоченные черноземы.

Известкование, устраняя избыточную кислотность почв, повышает их плодородие и эффективность минеральных удобрений. В постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства Нечерноземной зоны РСФСР» (1974 г.) особо подчеркивается решающая роль известкования кислых почв в увеличении производства сельскохозяйственной продукции. За годы девятой пятилетки (1971—1975) в стране произведено около 30 млн. га кислых почв. В десятой пятилетке масштабы известкования значительно возросли — до 8—10 млн. га в год с ежегодным внесением 45—50 млн. т известковых удобрений.

**Отношение различных растений к реакции почвы и известкованию**

Для каждого вида растений существует определенный, наиболее благоприятный для роста и развития интервал реакции среды. Большинство культурных растений и полезных почвенных микроорга-

низмов лучше развивается при реакции, близкой к нейтральной (рН 6—7).

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

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

2. Чувствительны к повышенной кислотности пшеница, ячмень, кукуруза, подсолнечник, все бобовые культуры, за исключением люпинов и сераделлы, огурцы, лук, салат. Они лучше растут при слабокислой или нейтральной реакции (рН 6—7) и хорошо отзываются на известкование сильно- и среднекислых почв.

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

4. Лен и картофель нуждаются в известковании только на сильнокислых почвах. Картофель мало чувствителен к кислотности, а для льна лучше слабокислая реакция (рН 5,5—6,5). Высокие нормы  $\text{CaCO}_3$ , особенно при ограниченных дозах удобрений, оказывают отрицательное действие на качество урожая этих культур, картофель сильно поражается паршой, снижается содержание крахмала в клубнях, а лен заболевает бактериозом, ухудшается качество волокна. Это отрицательное влияние известкования объясняется не столько нейтрализацией кислотности, сколько уменьшением усвояемых соединений бора в почве и избыточной концентрацией ионов кальция в растворе, из-за чего затрудняется поступление в растение других катионов, в частности магния и калия.

В севооборотах с большим удельным весом картофеля и льна при использовании высоких норм удобрений, особенно калийных, известкование можно проводить полными нормами, при этом лучше вносить известковые удобрения, содержащие магний, сланцевую золу или металлургические шлаки, а при использовании  $\text{CaCO}_3$  вносить одновременно борные удобрения. В этом случае не наблюдается отрицательного действия известкования на лен и картофель, и в то же время повышается урожай клевера, озимой пшеницы и других культур, чувствительных к кислотности.

5. Люпин, сераделла и чайный куст хорошо переносят кислую реакцию и чувствительны к избытку водорастворимого кальция в почве, поэтому при известковании повышенными дозами снижают урожай. При возделывании этих культур на зеленое удобрение рек

идется вносить известь не перед посевом, а при запашке их почву.

Таким образом, на большинство сельскохозяйственных культур повышенная кислотность почвы оказывает отрицательное действие и они положительно отзываются на известкование. Неблагоприятное действие кислой реакции на растения весьма многосторонне, прямое и косвенное действие повышенной концентрации ионов водорода сочетается с косвенным влиянием ряда сопутствующих кислой реакции факторов. При повышенной кислотности почвенного раствора ухудшается рост и отгнивание корней, проницаемость клеток корня, поэтому ухудшается использование растениями воды и питательных веществ почвы и внесенных удобрений. При кислой реакции нарушается обмен веществ в растениях, ослабляется синтез белков, подавляются процессы превращения простых углеводов (моносахаров) в другие более сложные органические соединения. Особенно чувствительны растения к повышенной кислотности почвы в первый период роста, сразу после прорастания.

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

Кислые почвы имеют неблагоприятные биологические, физические и химические свойства. Коллоидная часть кислых почв бедна кальцием и другими основаниями. Вследствие вытеснения кальция ионами водорода из почвенного перегноя повышается его дисперсность и подвижность, а насыщение водородом минеральных коллоидных частиц приводит к постепенному их разрушению. Этим объясняется малое содержание в кислых почвах коллоидной фракции, они имеют поэтому неблагоприятные физические и физико-химические свойства, плохую структуру, низкую емкость поглощения и слабую буферность.

В кислых почвах деятельность полезных почвенных микроорганизмов, особенно азотфиксирующих свободноживущих и клубеньковых бактерий, для развития которых наиболее благоприятна нейтральная реакция (рН 6,5—7,5), сильно подавлена; образование доступных для растений форм азота, фосфора и других питательных веществ вследствие ослабления минерализации органического вещества протекает слабо. В то же время повышенная кислотность способствует развитию в почве грибов, среди которых много паразитов и возбудителей различных болезней растений.

Отрицательное действие повышенной кислотности в значительной степени связано с увеличением подвижности алюминия и марганца в почве. При кислой реакции растворимость соединений алюминия и марганца увеличивается, а повышенное содержание их в растворе оказывает вредное действие на растения.

Особенно чувствительны к повышенному содержанию подвижного алюминия клевер, люцерна, озимая пшеница и рожь (при перезимовке), свекла, лен, горох, гречиха, ячмень. Эти культуры страдают при содержании его в почве свыше 2—3 мг на 100 г. При высоком содержании в кислых почвах подвижного алюминия и железа происходит связывание

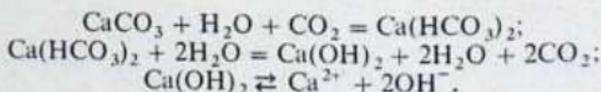
ими усвояемых форм фосфора с образованием нерастворимых и малодоступных растениям фосфатов полуторных окислов, в результате чего ухудшается питание растений фосфором.

В кислых почвах уменьшается подвижность молибдена, он переходит в труднорастворимые формы, и его может недоставать для нормального роста растений, особенно бобовых. В кислых, особенно песчаных и супесчаных почвах, мало усвояемых соединений кальция и магния; кроме того, при кислой реакции затрудняется поступление их в растение, поэтому ухудшается питание и этими важными элементами.

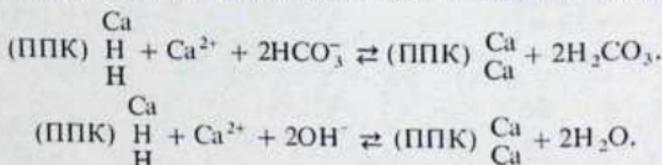
### Взаимодействие извести с почвой.

#### Влияние ее на свойства почвы

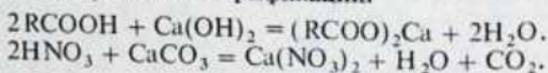
При внесении в почву извести ( $\text{CaCO}_3$ ) она взаимодействует с угольной кислотой, находящейся в почвенном растворе, и нейтрализует ее. При этом нерастворимый в воде карбонат кальция превращается в растворимый бикарбонат кальция, который является гидролитически щелочной солью:



В почвенном растворе повышается концентрация ионов кальция, которые вытесняют водород из почвенного поглощающего комплекса:



Известь также нейтрализует свободные органические (гуминовые) кислоты, содержащиеся в кислых почвах, и азотную кислоту, образующуюся в процессе нитрификации:



Таким образом, при внесении извести нейтрализуются кислоты в почвенном растворе, а также ионы водорода в почвенном поглощающем комплексе, т. е. устраняется актуальная и обменная кислотность, значительно снижается гидролитическая кислотность, повышается насыщенность почвы основаниями. Устраняя кислотность, известкование оказывает многостороннее положительное действие на свойства почвы, на ее плодородие.

Замена поглощенного водорода кальцием сопровождается коагулирующей почвенных коллоидов, в результате чего уменьшается их разрушение и вымывание, улучшаются физические свойства почвы — структурность, водопроницаемость, аэрация.

При внесении извести снижается содержание в почве подвижных соединений алюминия и марганца, они переходят в неактивное состояние, и поэтому устраняется вредное действие их на растения.

В результате снижения кислотности и улучшения физических свойств почвы под влиянием известкования усиливается жизнедеятельность микроорганизмов и мобилизация ими азота, фосфора и других питательных веществ из почвенного органического вещества. В известкованных почвах интенсивнее протекают процессы аммонификации и нитрификации, лучше развиваются азотфиксирующие бактерии (клубеньковые и свободноживущие), обогащающие почву азотом за счет азота воздуха, в результате этого улучшается азотное питание растений.

Известкование способствует переводу труднодоступных растениям фосфатов алюминия и железа в более доступные фосфаты кальция и магния. При известковании калий труднорастворимых минералов интенсивнее переходит в более подвижные соединения, а поглощенный почвой калий вытесняется в раствор, но усвоение его растениями вследствие антагонизма между катионами  $K^+$  и  $Ca^{2+}$  не увеличивается. Известкование оказывает влияние на подвижность в почве и доступность для растений микроэлементов. Соединения молибдена после внесения извести переходят в более усвояемые формы, и улучшается питание растений этим элементом. Подвижность соединений бора и марганца при известковании, наоборот, уменьшается, и растения могут испытывать недостаток в них. Поэтому на известкованных почвах эффективно внесение борных удобрений, особенно под культуры, требовательные к бору, — сахарную и кормовую свеклу, клевер, люцерну, гречиху, лук и др. При внесении извести почва обогащается кальцием, а при использовании доломитовой муки — и магнием, полностью обеспечивается потребность растений в этих элементах.

Улучшение питания растений азотом и зольными элементами связано также с тем, что на известкованных почвах растения развивают более мощную корневую систему, способную больше усваивать питательных веществ из почвы.

### Эффективность известкования

Под влиянием известкования значительно повышается урожай сельскохозяйственных культур. Обобщенные результаты многих полевых опытов научно-исследовательских учреждений Нечерноземной зоны показывают, что известкование сильно- и среднекислых дерново-подзолистых почв повышает урожай озимой пшеницы и овса на 2—3 ц, сена многолетних трав на 10—30 ц, сахарной свеклы на 30—80 ц, зеленой массы кукурузы на 20—70 ц, картофеля на 10—20 ц на 1 га.

Урожай сельскохозяйственных культур повышается в большей степени при известковании сильнокислых почв, чем средне- и слабокислых, и прибавки урожая возрастают с увеличением нормы извести.

Изменения, вызываемые в почве известкованием, сохраняются длительное время. С учетом последствия каждая тонна извести дает

за две ротации севооборота общую прибавку урожая культур пересчете на зерно 12—15 ц на 1 га.

Известь медленно растворяется и взаимодействует с почвой поэтому действие ее проявляется постепенно, эффект от известкования из года в год возрастает и достигает максимума на второй-третий год.

Известкование является основным условием эффективного применения удобрений на кислых почвах. Эффективность минеральных органических удобрений на кислых почвах под влиянием известкования резко повышается.

Прибавки урожая от совместного применения извести и минеральных удобрений выше, чем сумма прибавок от раздельного их внесения. Высокий эффект дает совместное применение извести и навоза. Опыты показывают, что на кислых дерново-подзолистых почвах внесение извести и 10—20 т на 1 га навоза в большинстве случаев дает такую же или более высокую прибавку урожая сельскохозяйственных культур, как и двойное количество навоза (20—40 т на 1 га) на известкованной почве. Известкование позволяет, следовательно, уменьшить вдвое норму навоза без снижения его эффективности и удобрить им вдвое большую площадь. Известкование кислых почв не только повышает урожай сельскохозяйственных культур и эффективность удобрений, но и обеспечивает получение значительного экономического эффекта. Это положение хорошо иллюстрируется результатами стационарного полевого опыта Центральной опытной станции ВИУА (Барыбино, Московской области), который проводился с разными нормами извести в течение двух ротаций семипольного севооборота.

Затраты на известкование окупались стоимостью прибавок урожая за 1—2 года, а за две ротации севооборота от полной нормы извести (7 т на 1 га) чистый доход составил 486 руб. и от половинной нормы (3,5 т на 1 га) — 300,9 руб. с 1 га.

Экономическая эффективность известкования в севооборотах существенно различается в зависимости от состава возделывания культур (табл. 26).

26. Чистый доход от известкования в различных севооборотах (М. Ф. Корнилов)

Севообороты	Кислотность почвы	Норма извести, т на 1 га	Доход, руб. с 1 га
Восьмипольный, полевой	Сильная и средняя	3,0	254
	Слабая	2,0	88
Шестипольный, прифермский	Сильная и средняя	4,0	349
	Слабая	3,0	156
Семипольный, овощной	Сильная и средняя	4,0	971
	Слабая	3,0	415

Наибольшие чистый доход и окупаемость затрат обеспечиваются в овощных севооборотах с наличием культур, сильно отзывавшихся на известкование кислых почв.

Результаты многих полевых опытов показывают, что на сильно- и среднекислых почвах затраты на известкование окупаются стоимостью

дополнительного урожая зерновых за 1,3 года, кормовых культур — менее чем за год, а картофеля и овощей — в трех-пятикратном размере в течение года. На слабокислых почвах время окупаемости затрат возрастает в 1,5 раза.

За ротацию севооборота каждая тонна извести на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны обеспечивает прибавку урожая культур (в пересчете на зерно) не менее 7—8 ц с 1 га, а затраты на известкование окупаются в 12—13 раз.

### Известковые удобрения

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

**Известняковая мука** — основное промышленное известковое удобрение; получается при размоле или дроблении известняков. Они состоят в основном из карбоната кальция —  $\text{CaCO}_3$ , но чаще всего доломитизированы, т. е. содержат также  $\text{MgCO}_3$  (до 10—15% в расчете на  $\text{MgO}$ ). Чем выше содержание в породе  $\text{MgCO}_3$ , тем она тверже и прочнее. При большом содержании  $\text{MgCO}_3$  (18—20% в расчете на  $\text{MgO}$ ) порода называется доломитом, при ее размоле получается доломитовая мука. Качество известковых удобрений оценивается по количеству соединений, нейтрализующих кислотность почвы, и по тонине помола. Промышленные известковые удобрения должны содержать не менее 85%  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ . Чем тоньше помол известняковой и доломитовой муки, тем скорее и полнее она растворяется, быстрее нейтрализует кислотность почвы и тем выше ее эффективность. Наиболее эффективна известняковая мука с тониной размола менее 0,25 мм. При высоком содержании грубых частиц (крупнее 1—3 мм) эффективность ее резко снижается.

Согласно государственному стандарту, известняковая мука I класса должна содержать не более 5% частиц крупнее 1 мм и 70% с диаметром менее 0,25 мм, влажность ее не должна превышать 1,5%, а количество примесей не более 15%.

**Жженая и гашеная известь.** При обжиге известняков  $\text{CaCO}_3$  превращается в  $\text{CaO}$  ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ), получается жженая (комовая) известь. При взаимодействии ее с водой образуется гидроксид кальция ( $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2$ ), так называемая гашеная известь (пушенка) — тонкий, рассыпающийся порошок. Гашеная известь получается также как отход на известковых заводах и при производстве хлорной извести. По способности нейтрализовать кислотность почвы 1 т  $\text{Ca(OH)}_2$  равна 1,35 т  $\text{CaCO}_3$ . Пушенка — быстродействующее известковое удобрение, она лучше растворяется в воде, чем  $\text{CaCO}_3$ . Эффективность ее в первый год после внесения может быть выше, чем  $\text{CaCO}_3$ , но с годами их действие выравнивается. Продолжительность действия  $\text{Ca(OH)}_2$  из-за более быстрого вымывания кальция меньше, чем  $\text{CaCO}_3$ , а стоит она дороже.

Большое значение для известкования кислых почв имеют рыхлые известковые породы, не требующие размола: известковые туфы (ключевая известь), гажа (озерная известь), мергель, торфотуфы, природная доломитовая мука.

Известковый туф (ключевая известь) ценное известковое удобрение, обычно содержит от 80 до 96%  $\text{CaCO}_3$ . Перед внесением иногда необходимо отсеивать более крупные твердые частицы. Месторождения известковых туфов чаще всего встречаются в пониженных элементах рельефа — притеррасных поймах, местах выхода ключей.

Гажа (озерная известь) содержит 80—95%  $\text{CaCO}_3$ , залегает в местах усыхания замкнутых водоемов, почти целиком состоит из частиц менее 1 мм. Озерная известь — быстродействующее эффективное известковое удобрение.

Мергель содержит от 25 до 50%  $\text{CaCO}_3$ . Встречается в виде рассыпчатой массы и плотной породы. Плотный мергель вывозят на поле зимой и складывают небольшими кучами. Под влиянием влаги и низкой температуры он разрыхляется, переходит в рассыпающуюся массу, которую можно вносить в почву.

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

Природная доломитовая мука содержит, кроме  $\text{CaCO}_3$ , также  $\text{MgCO}_3$  (в сумме 95% и более в пересчете на  $\text{CaCO}_3$ ). Это особенно ценное известковое удобрение. Известковые материалы, содержащие магний, для многих сельскохозяйственных культур (свекла, картофель, лен, клевер, люцерна, гречиха, морковь, лук и др.) более эффективны, чем известковые удобрения, не содержащие магния, особенно на бедных магнием песчаных и супесчаных почвах. При внесении их в почву устраняется или уменьшается отрицательное действие известкования полными нормами на картофель и лен.

В качестве известковых удобрений могут быть использованы также различные отходы промышленности: сланцевая зола, доменные и мартеновские шлаки, дефекакт (дефекационная грязь) и др.

### Определение нуждаемости почв в известковании и нормы извести

Эффективность известкования зависит от кислотности почв: чем выше кислотность, тем острее потребность в известковании и больше прибавки урожая. Поэтому, прежде чем вносить известь на то или иное поле, необходимо определить степень кислотности почвы и нуждаемость ее в известковании, установить норму извести в соответствии с особенностями почвы и возделываемых растений.

Необходимость известкования почвы ориентировочно можно определить по некоторым внешним признакам. Кислые сильноподзолистые почвы обычно имеют белесый оттенок, ярко выраженный подзолистый горизонт, достигающий 10 см и более. На повышенную кислотность почвы и нуждаемость ее в известковании указывает также

плохой рост и сильное выпадение клевера, люцерны, озимой пшеницы при перезимовке, обильное развитие устойчивых к кислотности сорняков: щавелька, пикульника, торицы полевой, лютика ползучего, белоуса, щучки.

Потребность почвы в известковании с достаточной для практических целей точностью может быть определена по обменной кислотности (рН солевой вытяжки). При значении рН солевой вытяжки 4,5 и ниже потребность в известковании сильная, 4,6—5 — средняя, 5,1—5,5 — слабая и при рН больше 5,5 — отсутствует. Величина кислотности почвы — важный, но не единственный показатель, характеризующий потребность почв в известковании. Важно учитывать также степень насыщенности почвы основаниями (V) и ее механический состав. С учетом этих трех показателей степень нуждаемости почв в известковании может быть установлена значительно точнее (табл. 27).

27. Оценка степени нуждаемости в известковании в зависимости от свойств почвы (по М. Ф. Корншлову)

Почвы по механическому составу	Нуждаемость почв в известковании							
	сильная		средняя		слабая		отсутствует	
	рН	V, %	рН	V, %	рН	V, %	рН	V, %
Тяжело- и среднесуглинистые	4,5	50	4,5—5,0	50—65	5,0—5,5	65—75	5,5	75
Легкосуглинистые	4,5	40	4,0—5,0	40—60	5,0—5,5	60—70	5,5	70
Супесчаные и песчаные	4,5	34	4,5—5,0	35—50	5,0—5,5	50—60	5,5	60
Заболоченные торфянистые и торфяноболотные	3,5	35	3,5—4,2	35—55	4,2—4,8	55—65	4,8	65

При проведении известкования, кроме свойств почвы, необходимо учитывать также особенности возделываемых культур в севообороте.

Для полевых севооборотов с небольшим удельным весом льна и картофеля, а также культур, чувствительных к кислотности (овошных, кормовых и др.), очередность известкования совпадает с группировкой почв по степени нуждаемости в нем, указанной в табл. 27; почвы, сильно нуждающиеся, известкуют в первую очередь, средне нуждающиеся — во вторую и слабо нуждающиеся — в третью очередь. В севооборотах с большим удельным весом льна и картофеля слабо нуждающиеся почвы не известкуют, а в севооборотах с чувствительными к кислотности культурами в первую очередь необходимо известковать не только почвы сильно, но и средне нуждающиеся.

Нормы известки зависят от степени кислотности почв, их механического состава и особенностей возделываемых культур.

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

Ориентировочные нормы извести можно определить по величине рН солевой вытяжки. В зависимости от этих показателей ВИАУ рекомендует вносить в дерново-подзолистые почвы, содержащие не более 3% органического вещества, следующие нормы извести (табл. 28).

28. Нормы извести ( $\text{CaCO}_3$ , т на 1 га) в зависимости от рН солевой вытяжки и механического состава почвы

Почвы	рН солевой вытяжки					
	4,5 и менее	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4—5,5
Супесчаные и легкосуглинистые	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,0—2,0
Средне- и тяжелосуглинистые	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5—4,0

Более точно установить полную норму извести можно по величине гидролитической кислотности. При расчете нормы извести (в т  $\text{CaCO}_3$  на 1 га) величину гидролитической кислотности в м.-экв. на 100 г почвы ( $H_2$ ) умножают на коэффициент 1,5. Например, гидролитическая кислотность почвы равна 4 м.-экв. на 100 г почвы. Норма  $\text{CaCO}_3$  будет  $4 \times 1,5 = 6$  т на 1 га.

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

$$H = \frac{\text{Норма } \text{CaCO}_3 \text{ (т на 1 га) по кислотности почвы} \cdot 100 \cdot 100}{\% \text{ CaCO}_3 \text{ в удобрении} \cdot (100 - \% \text{ частиц более 1 мм})}$$

Устанавливая норму извести для конкретных условий, необходимо учитывать механический состав почвы и особенности культур севооборота. На тяжелых почвах и под культуры, очень чувствительные к повышенной кислотности (свекла, кукуруза, клевер, люцерна, капуста и др.), лучше вносить полную норму извести, рассчитанную по гидролитической кислотности. На более легких малобufferных почвах и для культур, не чувствительных к кислотности (картофеля, люпина и др.), норму извести необходимо уменьшить на  $\frac{1}{3} - \frac{1}{2}$ .

Для лучшей организации известкования зональные агрохимические лаборатории на основе агрохимического обследования почв составляют и передают хозяйствам картограммы кислотности почвы, на которых выделяются участки с разной степенью кислотности и нуждаемости в известковании (рис. 10). Периодически (через 5 лет) агрохимические анализы повторяют для уточнения ранее составленных картограмм. В настоящее время ЦИНАО разработан программный комплекс «Искра» по составлению с помощью ЭВМ проектно-сметной документации на известкование, в которой определяются площади почв, подлежащие известкованию по годам, необходимые нормы извести и

Условные обозначения  
рН в КСЛ вытяжке

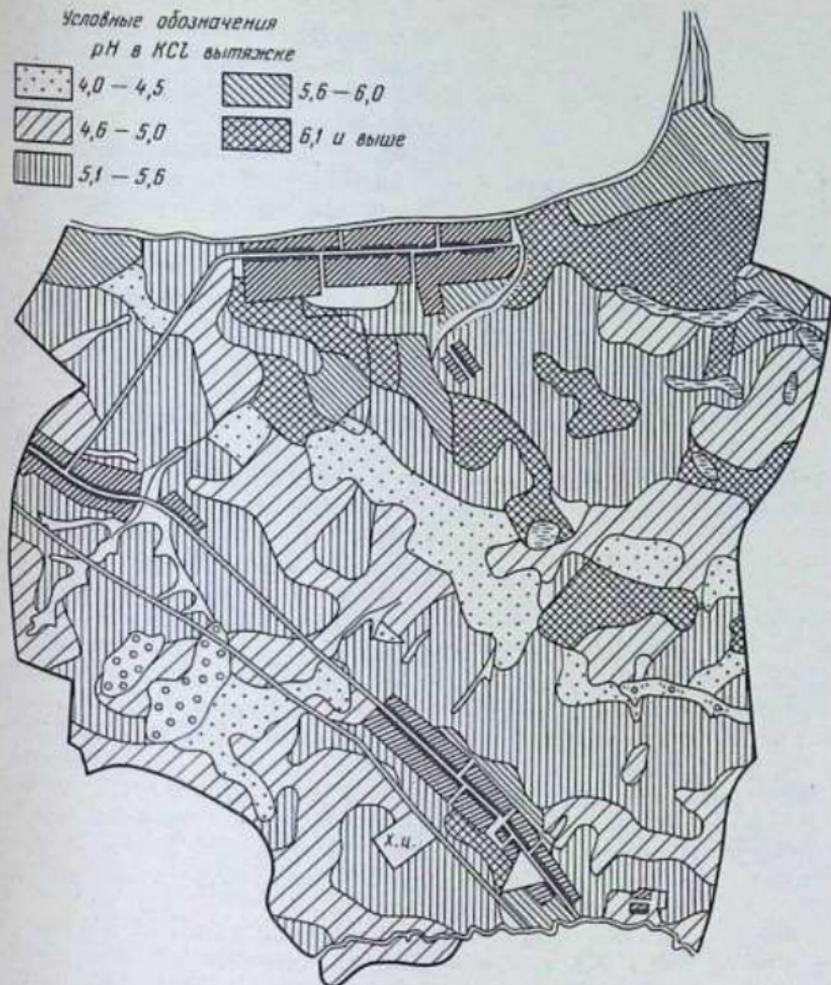
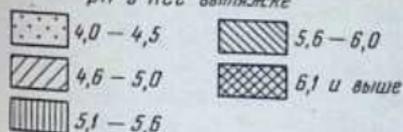


Рис. 10. Картограмма кислотности почвы полей хозяйства.

общая потребность в известковых удобрениях, транспортных средствах и машинах для их внесения, затраты на известкование и их окупаемость в хозяйстве. Работы по химической мелиорации почв в колхозах и совхозах осуществляются за счет бюджетных государственных средств.

### Сроки и способы внесения извести

Известь обладает длительным действием. Установлено, что полная норма извести может оказывать положительное влияние на урожай сельскохозяйственных культур в течение двух ротаций 7—8-польного севооборота, половинная норма — не более одной ротации (6—7 лет). С течением времени после внесения извести вновь происходит посте-

пешное увеличение кислотности почвы (особенно быстро на малобуферных почвах и при систематическом применении физиологически кислых удобрений в высоких дозах) и возникает потребность в повторном известковании. Периодичность и эффективность повторного внесения извести зависит от ее нормы при первичном известковании и обеспеченности хозяйства минеральными удобрениями. При известковании половинными нормами и интенсивном применении минеральных удобрений периодичность известкования учащается, а эффективность повторного внесения извести достаточно высокая. Необходимость повторного известкования определяют на основе данных агрохимического анализа почвы (определения степени ее кислотности) и расчета баланса кальция по результатам лизиметрических опытов.

Эффективность известкования в большой степени зависит от равномерного внесения извести в почву и тщательного перемешивания ее с почвой. Известь должна быть хорошо измельчена и перед заделкой равномерно рассеяна по поверхности почвы, что лучше всего достигается с помощью известковых сеялок и разбрасывателей. Пылевидные известковые удобрения — известковая мука, сланцевая зола, цементная пыль и пылевидные отходы металлургической промышленности вносятся цементовозами или другими машинами этого типа. Необходимо применять такой способ заделки извести, при котором обеспечивается хорошее перемешивание ее со всем пахотным слоем почвы. Полную, а также половинную норму извести необходимо вносить с заделкой под плуг с осени под зяблевую вспашку или весной под перепашку зяби, лучше всего вместе с органическими удобрениями — навозом, торфом, компостами. При использовании фосфоритной муки ее лучше вносить под вспашку зяби, а известь — под перепашку или культивацию. В Нечерноземной зоне в севооборотах с клевером местом первоочередного известкования является покровная культура. В пропашных севооборотах известь в первую очередь необходимо вносить под кукурузу и корнеплоды, а в овощных — под капусту и свеклу или под их предшественники.

В виде исключения известь можно вносить и в зимний период с последующей заделкой под весеннюю вспашку. Частичное проведение известкования в зимний период снижает напряженность работ осенью, сокращает затраты на хранение извести и обеспечивает более равномерную загрузку техники. Во избежание смыва извести тальми водами и сдувания ее ветром с поверхности снега зимнее внесение можно проводить лишь на выровненных площадях с уклоном не более  $5^{\circ}$  и при скорости ветров в зимний период не более 4—5 м/с, а разбросанную известь заделывать в снежный покров. Только при таких условиях эффективность зимнего внесения извести может не уступать осеннему и весеннему.

На естественных сенокосах и пастбищах известь вносят поверхностно. Известкование кислых почв резко повышает продуктивность кормовых угодий, при этом не только возрастает урожай, но и улучшаются состав травостоя, кормовые достоинства сена и пастбищного корма. Известкование является одним из основных мероприятий

при залужении и создании культурных пастбищ на кислых почвах. Известь вносят под вспашку при проведении культуртехнических работ, можно вносить ее под культивацию.

## ГИПСОВАНИЕ СОЛОНЦОВ

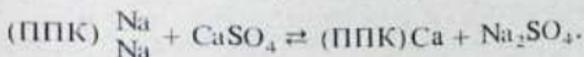
В нашей стране имеются большие площади почв со щелочной реакцией. К ним относятся солонцы и сильносолонцеватые почвы. Они распространены в полупустынной и степной зонах СССР, среди массивов каштановых, черноземных почв и сероземов, занимая до 25% почвенного покрова. Щелочная реакция этих почв обусловливается наличием катионов натрия в почвенном поглощающем комплексе и соды в почвенном растворе.

В зависимости от содержания поглощенного натрия почвы подразделяются на слабосолонцеватые, содержащие 5—10%  $\text{Na}^+$  от общей емкости поглощения, солонцеватые — 10—20%  $\text{Na}^+$  и солонцы — более 20%  $\text{Na}^+$ . Солонцы в зависимости от глубины расположения солонцового горизонта делятся на корковые — солонцовый горизонт залегает на глубине не более 7 см, среднестолбчатые — на глубине 8—15 см и глубокостолбчатые — на глубине более 15 см.

Солонцы и солонцеватые почвы вследствие содержания большого количества поглощенного  $\text{Na}^+$  отличаются плохими физическими свойствами: во влажном состоянии набухают и заплывают, а при высыхании твердеют, образуют корку и растрескиваются на глыбы; обработка их сильно затруднена. Щелочная реакция солонцовых почв вредна для культурных растений. Плотный солонцовый горизонт препятствует проникновению вглубь корневой системы. Урожай сельскохозяйственных культур на таких почвах очень низкие.

Слабосолонцеватые почвы могут быть улучшены агробиологическим методом и глубокой трехъярусной вспашкой в сочетании с внесением больших норм навоза, посевом люцерны и других культур, которые аккумулируют кальций в корнях, а после их разложения  $\text{Ca}^{2+}$  освобождается и вытесняет  $\text{Na}^+$  из поглощающего комплекса.

Гипсование необходимо для улучшения солонцов и солонцеватых почв, содержащих более 10%  $\text{Na}^+$  от общей емкости поглощения. При внесении в почву гипса устраняется сода в почвенном растворе, а поглощенный почвой натрий вытесняется и заменяется кальцием с образованием в растворе нейтральной соли — сульфата натрия.



При небольшом содержании в растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  он не оказывает вредного действия на растения, но при гипсовании солонцов, содержащих более 20%  $\text{Na}^+$  от емкости поглощения, в растворе образуется большое количество  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , и его необходимо удалять из почвы промыванием. В результате гипсования устраняется щелочная реакция

солонцовых почв, улучшаются физические, физико-химические и биологические свойства почвы, повышается ее плодородие.

Для гипсования могут быть использованы следующие материалы.

Гипс сыромолотый  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — тонко размолотый серый или белый порошок, содержит 71—73%  $\text{CaSO}_4$ .

Фосфогипс — отход туковых заводов, очень тонкий порошок, содержит 70—75%  $\text{CaSO}_4$  и 2—3%  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Глиногипс — добывается из природных залежей, в естественном виде рыхлый, не требует размола, содержит от 63 до 92%  $\text{CaSO}_4$  и от 1 до 19% глины. Норма внесения гипса в зависимости от количества поглощенного натрия и щелочности почвы может быть от 3 до 10 т на 1 га.

Для расчета нормы гипса в зависимости от количества поглощенного  $\text{Na}^+$  можно пользоваться следующей формулой:

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ (в т на 1 га)} = (\text{Na} - 0,1 T) \cdot 0,086 H_n \cdot d_c,$$

где 0,086 — 1 м.-экв.  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , г; Na — содержание поглощенного натрия, м.-экв. на 100 г почвы; 0,1 T — 10% Na от емкости поглощения (допустимое содержание поглощенного натрия в почве);  $H_n$  — глубина пахотного слоя, см;  $d_c$  — объемная масса почвы гипсуемого слоя.

При орошении норма гипса может быть уменьшена на 25—30%. Полную норму гипса можно вносить постепенно, несколькими приемами в течение 2—3 лет.

В зависимости от площади солонцовых пятен в общем почвенном массиве гипсование проводят сплошное (если пятен солонцов более 30% и они окружены солонцеватыми почвами) или выборочное (солонцовых пятен до 30% от общей площади). Растворимость гипса, быстрота его действия и эффективность тем больше, чем лучше он перемешивается с почвой и выше ее влажность. Поэтому большую часть гипса лучше вносить в паровом поле, где обеспечиваются оба эти условия.

На корковых солонцах гипс вносят после вспашки и заделывают культиватором. На глубокостолбчатых солонцах при залегании солонцового горизонта на глубине более 15 см всю норму гипса вносят перед вспашкой и заделывают плугом с предплужником. При расположении солонцового горизонта на глубине 7—15 см гипс можно заделывать под вспашку или культивацию, а также в два приема — по  $\frac{1}{2}$  нормы под каждую из этих обработок почвы.

По данным большого количества опытов, гипсование без орошения в черноземной зоне дает прибавку урожая зерна 3—6 ц на 1 га, а в зоне каштановых почв — 2—3 ц на 1 га. При орошении эффективность гипсования еще выше. Значительно повышается эффективность гипсования при сочетании с глубокой перепашкой солонцов и с одновременным внесением навоза, компостов, применением зеленого удобрения. При гипсовании возрастает эффективность как органических, так и минеральных удобрений (табл. 29).

29. Действие на урожай яровой пшеницы гипсования в сочетании с внесенным навоза и минеральных удобрений (данные Сибирского научно-исследовательского института сельского хозяйства)

Вариант опыта	Среднестолбчатые солонцы		Глубокостолбчатые солонцы	
	урожай, ц с 1 га	прибавка урожая, ц на 1 га	урожай, ц с 1 га	прибавка урожая, ц на 1 га
Контроль	1,7	—	4,5	—
Гипс 5 т + N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>	9,5	7,8	12,6	8,1
Гипс 5 т + навоз 40 т	15,4	13,7	16,2	11,7
Гипс 10 т + навоз 40 т	12,1	10,4	18,6	14,1

Если под солонцовым слоем на небольшой глубине залегают слои, богатый CaCO<sub>3</sub> или CaSO<sub>4</sub>, то гипс можно не вносить, а применять глубокую мелиоративную вспашку, при которой этот слой выворачивается и перемешивается с солонцовым слоем. Этот прием называется самогипсованием солонцов. После внесения гипса или мелиоративной вспашки на неорошаемых площадях необходимо проводить снегозадержание, а при орошении желательнее дать полив.

Положительное влияние гипсования на плодородие почвы и урожай растений наблюдается в течение 8—10 лет, причем вследствие постепенного взаимодействия гипса с почвой эффект от гипсования из года в год возрастает.

Гипс используется не только с целью химической мелиорации солонцовых почв, но и для улучшения питания растений кальцием и серой на других почвах, прежде всего в Нечерноземной зоне.

Гипс как удобрение, содержащее кальций и серу, применяется прежде всего под бобовые травы — клевер и люцерну, которые потребляют значительно больше Ca и S, чем другие культуры. Гипс вносят на травах поверхностно в количестве 3—4 ц на 1 га. Положительное действие гипса на рост, развитие и урожай бобовых растений на кислых почвах обусловлено не только улучшением питания кальцием и серой, но и повышением устойчивости растений к кислотности в результате увеличения концентрации Ca в почвенном растворе, а также улучшением доступности растениям калия почвы вследствие вытеснения его из поглощенного состояния кальцием. Прибавки урожая клеверного сена от внесения гипса на дерново-подзолистых почвах составляют 7—10 ц, на серых лесных почвах и выщелоченных черноземах до 6—7 ц на 1 га.

#### Контрольные вопросы

1. Как относятся различные растения к кислотности почв и известкованию?
2. В чем состоит отрицательное действие повышенной кислотности на растения и свойства почвы?
3. Как происходит взаимодействие извести с почвой, какое влияние она оказывает на свойства почвы?
4. Как влияет известкование кислых почв на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность органических и минеральных удобрений?

5. Какие материалы используют для известкования кислых почв? Дайте их краткую характеристику.
6. Как определить нуждаемость почвы в известковании?
7. Что такое полная норма извести, как она устанавливается?
8. Какими способами и когда вносится известь?
9. Каковы особенности известкования в севооборотах со льном и картофелем?
10. Для улучшения каких почв необходимо их гипсование?
11. Что происходит в почве при внесении гипса?
12. Как рассчитать дозы гипса?
13. Какие материалы используются для гипсования почв?
14. Какие условия повышают эффективность гипсования?
15. Как используется гипс в качестве удобрения, содержащего серу и кальций?

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

### Определение нуждаемости почв в известковании и расчет нормы извести

Используя результаты агрохимического анализа почвы (рН солевой вытяжки, Нг,  $S$  и  $V$ ), необходимо установить степень нуждаемости почвы в известковании и определить необходимую дозу извести.

В условиях производства для решения вопроса о необходимости известкования почвы чаще всего пользуются показателем ее обменной кислотности — рН солевой (КС) вытяжки. Более точно установить степень нуждаемости в известковании можно, однако, используя одновременно три показателя: рН солевой вытяжки, степень насыщенности почвы основаниями ( $V\%$ ) и механический состав почвы (см. табл. 27 на стр. 99). Норму извести определяют по величине рН солевой вытяжки, пользуясь таблицей 28.

Более точно рассчитать полную норму извести можно по величине гидролитической кислотности:

$$\text{норма CaCO}_3 \text{ (т на 1 га)} = \text{Нг} \times 1,5$$

Коэффициент 1,5 получается из следующего расчета: 1 м.-экв. Нг эквивалентен 50 мг  $\text{CaCO}_3$ . Поскольку Нг выражают в м.-экв. на 100 г почвы, то для перехода к массе почвы пахотного слоя на площади 1 га (который для среднесуглинистых дерново-подзолистых почв принимается равным 3 млн. кг), 50 умножают на 10 (для перехода от 100 г к 1 кг почвы) и на 3 000 000, а чтобы от миллиграммов перейти к тоннам, результат умножения делят на 1 000 000 000. Выполнив эти действия ( $50 \times 10 \times 3\,000\,000 : 1\,000\,000\,000$ ), получим 1,5. Определить нормы извести для данной почвы надо и по рН солевой вытяжки и по величине гидролитической кислотности.

### Подготовка исходных материалов для составления проектно-сметной документации по известкованию почв

Для лучшей организации известкования зональные агрохимические лаборатории наряду с картограммами кислотности почвы выдают колхозам и совхозам проектно-сметную документацию на известкование. Для ее составления с помощью ЭВМ ЦИНАО разработан специальный программный комплекс «Искра». Исходные материалы

для этого представляют зональной агрохимической лаборатории агрономы колхозов и совхозов. В них должны содержаться следующие сведения:

1. Наименование колхоза или совхоза.
2. Бригада или отделение (наименование населенного пункта).
3. Площади почв, подлежащие известкованию в данный год по каждой бригаде и севообороту.
4. Характеристика почвы — механический состав, кислотность (рН КСl-вытяжки).
5. Виды известковых удобрений, которые будут применяться в хозяйстве для известкования почв, и их характеристика — содержание  $\text{CaCO}_3$ , влажность и содержание частиц крупнее 1 мм (в %).
6. Необходимые нормы извести (установленные по рН или по гидролитической кислотности) по каждому участку или полю хозяйства.
7. Оптовая цена 1 т известкового удобрения.
8. Марка машины для посева извести.
9. Год предыдущего известкования.
10. Виды транспортных средств и расстояние перевозок извести (для местных известковых материалов).

Хозяйство-заказчик должно заполнить специальную форму «Исходные данные для расчета проектно-сметной документации на мелнорапию кислых почв» в соответствии с существующей инструкцией. Учащиеся должны ознакомиться с этой инструкцией и заполнить указанную выше форму. Программный комплекс «Искра» предусматривает выдачу хозяйствам (по каждому участку или полю) следующих показателей.

1. Нормы извести в действующем веществе в зависимости от свойств почвы и дозы в физической массе в зависимости от качества вносимых известковых удобрений.

2. Потребность в извести на указанную площадь поля (участка) и в целом по хозяйству.

3. Затраты на транспортировку, погрузку, разгрузку и хранение извести по каждому полю и по хозяйству.

4. Затраты на внесение норм известковых удобрений на известкуемую площадь каждого поля и хозяйства в целом с учетом зональных особенностей, марок машин, сроков известкования.

5. Общие затраты на известкование на 1 га на известкуемую площадь каждого поля и хозяйства в целом.

6. Показатели эффективности и окупаемости затрат на известкование кислых почв — прибавка урожая (в ц на 1 га), зерновых единиц и стоимость прибавки (руб./га), годовая и за время эффективного действия извести; условно-чистый доход за время эффективного действия извести (руб.) на указанную площадь, на 1 га, на 1 т извести, на один рубль затрат, а также срок окупаемости затрат (лет).

**Определение общей нейтрализующей способности известковых удобрений  
методом титрования**

**Принцип метода.** Известь обрабатывают при нагревании титрованной НСl. Часть ее расходуется на связывание основания, а избыток кислоты оттитровывают щелочью. По количеству НСl, связанной основанием (разница между количеством НСl, взятой для обработки извести, и щелочью, пошедшей на титрование), вычисляют суммарное содержание окисей, гидроокисей и карбонатов, выражая их в пересчете на  $\text{CaCO}_3$  в % к массе извести.

**Ход анализа.** Берут на технoхимических весах навеску извести 2,5 г, помещают ее в мерную колбу емкостью 250 мл, смачивают 10—15 мл дистиллированной воды, обливают постепенно 125 мл 1,0 н. раствора НСl и нагревают при частом встряхивании 30 мин на кипящей водяной бане. После охлаждения раствор доводят дистиллированной водой до объема колбы, тщательно перемешивают и фильтруют через сухой фильтр в сухую посуду. 100 мл фильтрата (что отвечает 50 мл 1 н. или 100 мл 0,5 н. НСl) берут в мерную колбу емкостью 200 мл, прибавляют 2—3 капли фенолфталеина и титруют оставшуюся несвязанную соляную кислоту 0,5 н. щелочью до слабо-розовой окраски (первое титрование).

Дальнейший ход анализа зависит от качества анализируемой извести. Если она чистая (оттитрованный раствор прозрачный), то к оттитрованному раствору прибавляют 2 мл 1 н. НСl, нагревают до кипения и окончательно оттитровывают 0,5 н. раствором щелочи (второе титрование). Если же известковый материал невысокого качества (в растворе имеется коричневатый осадок гидроокисей железа и алюминия, маскирующий окраску фенолфталеина), то раствор охлаждают, фильтруют в мерную колбу на 200 мл, фильтрат доводят до объема колбы прокипяченной дистиллированной водой, приливаемой через фильтр, тщательно перемешивают и добавляют 2 мл 1 н. раствора НСl, затем берут 100 мл фильтрата, нагревают до кипения и дотитровывают (второе титрование) 0,5 н. раствором щелочи. Количество миллилитров 0,5 н. щелочи, затраченной на второе титрование, в этом случае при подсчете результатов умножают на 2.

**Вычисление результатов анализа.** Сумму окисей, гидроокисей и карбонатов в пересчете на  $\text{CaCO}_3$  вычисляют (в % на сухое вещество) по формуле:

$$x = \frac{[104 \cdot K_1 - (a + b) \cdot K_2] \cdot 0,014 \cdot 1,785 \cdot 100 \cdot 100}{n(100 - c)}$$

где  $a$  — количество 0,5 н. щелочи, мл, израсходованное на первое титрование;  $b$  — то же, на второе титрование;  $n$  — навеска, отвечающая взятому для титрования объему вытяжки (если навеска равнялась точно 2,5 г, то  $n = \frac{2,5 \cdot 100}{250} = 1$  г); 104 — количество 0,5 н. НСl, мл (для анализа брали 100 мл вытяжки и после первого титрования прибавляли 2 мл 1 н. НСl, что отвечает 4 мл 0,5 н. НСl, следовательно, общее количество титруемого раствора равно 104 мл); 0,014 — количество

окси кальция (г) связываемое 1 мл 0,5 н. HCl;  $K_1, K_2$  — поправки к титрам кислоты и щелочи;  $\frac{100}{100-c}$  — поправка на влажность ( $c$  — содержание влаги в удобрении, %); 1,785 — коэффициент для пересчета CaO в CaCO<sub>3</sub>.

Данные анализа используют для вычисления фактической дозы извести с учетом содержания в ней CaCO<sub>3</sub>. Так, если необходимо внести 4 т CaCO<sub>3</sub> на 1 га, а содержание его в имеющемся удобрении равно 80%, то фактическая доза ( $x$ ) составит:

$$x = \frac{100 \cdot 4}{80} = 5 \text{ т}$$

**Материалы и оборудование.** Образцы кислых почв. Технохимические весы. Мерные колбы на 200 и на 250 мл. Фильтры. Воронки. Электроплитки или газовые горелки. Бюретки.

**Реактивы.** 1 н. раствор HCl. 0,5 н. раствор NaOH. Фенолфталеин.

#### **Определение поглощенного натрия в солонцовых почвах (по методу И. Н. Антипова-Каратаева и Л. Я. Манаевой)**

Определение поглощенного натрия имеет важное значение для выработки приемов улучшения засоленных почв засушливой зоны. Содержание поглощенного натрия является важной характеристикой этих почв. В зависимости от его количества почвы классифицируются по степени солонцеватости, а также рассчитываются дозы гипса для химической мелиорации солонцов и солонцеватых почв.

**Принцип метода.** Почву обрабатывают строго определенным количеством титрованного раствора гипса, кальций которого вытесняет натрий из почвенного поглощающего комплекса. Остаток неизрасходованного кальция определяют путем осаждения его титрованным раствором щелочной смеси (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и NaOH). Избыток щелочной смеси, в свою очередь, оттитровывается кислотой. По количеству израсходованного кальция вычисляют содержание в почве поглощенного натрия.

Одновременно происходит вытеснение кальцием не только натрия, но и калия. Поэтому результат бывает более точным, если вычесть из суммы содержание обменного калия.

Если в почве присутствуют щелочные карбонаты (например, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), то при общей щелочности водной вытяжки более 2 м.-экв. на 100 г почвы следует вводить поправку, так как часть кальция гипсового раствора затрачивается на осаждение карбонатов.

Этот метод пригоден для почв, не содержащих гипса.

**Ход анализа.** Навеску почвы (5 г при содержании натрия в почве более 20%, 10 г — при 10—20% от емкости поглощения) помещают в колбу на 250—300 мл. Приливают из бюретки или пипетки точно 200 мл титрованного раствора гипса (реактив 1), закрывают колбу пробкой и оставляют на двое суток, периодически (через каждые 1—2 ч) взбалтывая содержимое во время работы в лаборатории.

Раствор через двое суток отфильтровывают в сухую колбу через плотный беззольный фильтр (синяя обложка). 100 мл фильтрата

переносят пипеткой в мерную колбу на 200 мл из жаростойкого стекла, нагревают до кипения и, не охлаждая, приливают к нему 75 мл щелочной смеси (реактив 2), во избежание разбрызгивания смесь прибавляют вначале отдельными каплями. В колбе должен появиться белый осадок гидратов окиси и карбонатов кальция и магния. Раствор с выпавшим осадком кипятят еще 2—3 мин, а затем держат 15—20 мин на небольшом нагреве для лучшей коагуляции осадка. Затем раствор охлаждают (вначале на воздухе, а потом в холодной воде) и добавляют дистиллированной воды, лишенной  $\text{CO}_2$ , до метки. Взбалтывают его и по возможности быстро отфильтровывают в сухую колбу. Фильтрат должен быть совершенно прозрачным.

100 мл его переносят в коническую колбу и титруют 0,1 н. раствором  $\text{HCl}$  (реактив 3) в присутствии метилоранжа до изменения желтой окраски раствора в слабо-розовую.

Количество поглощенного натрия вычисляют по формуле:

$$x = \frac{a - (b - 2c) \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot 100}{n} - C,$$

где  $x$  — поглощенный натрий, м.-экв. на 100 г почвы;  $a$  — содержание  $\text{Ca}^{2+}$ , м.-экв. в 200 мл титрованного раствора гипса;  $b$  — объем, мл щелочной смеси, взятой для осаждения остатка  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ;  $c$  — объем, мл 0,1 н.  $\text{HCl}$ , израсходованной на титрование избытка щелочной смеси (удваивается, так как для титрования бралась половина фильтрата, удваивающего избыток щелочной смеси);  $2$  — для удваивания  $(b - 2c)$ , так как для осаждения брали половину раствора гипса;  $0,1$  — число м.-экв., соответствующее 1 мл 0,1 н. щелочи;  $n$  — навеска почвы, г;  $100$  — коэффициент для пересчета результатов на 100 г почвы;  $C$  — общая щелочность, м.-экв. на 100 г почвы.

На основе результатов определения поглощенного натрия в почвенных образцах с разных участков или полей составляют карту степени засоленности почв (по поглощенному натрию) и вычисляют норму гипса.

**Материалы и оборудование.** Образцы почвы. Технохимические весы. Конические колбочки на 200—300 мл. Мерные колбы из жаропрочного стекла на 200 мл. Электроплитки или газовые горелки.

**Реактивы.** 1. Раствор гипса: 3 г гипса растворяют в 1 л воды в течение 3—4 ч при частом помешивании, фильтруют через плотный фильтр, берут 3—4 пробы фильтрата по 20 мл и определяют концентрацию кальция с помощью щавелевокислого аммония: после определения титра по кальцию вычисляют его содержание (м.-экв.) в 200 мл раствора. 2. Щелочная смесь — отдельно приготовленные точные 0,1 н. растворы  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{NaOH}$  (перед осаждением кальция  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{NaOH}$  смешивают в соотношении 2:1 и берут для анализа необходимое количество этой смеси). 3. 1 н. раствор  $\text{HCl}$ . 4. Метилоранж.

## МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Минеральные удобрения содержат питательные вещества в виде различных минеральных солей. Они подразделяются на две группы.

**Простые, или односторонние, удобрения** содержат один какой-либо основной элемент питания. Сюда относятся: азотные, фосфорные, калийные удобрения и микроудобрения.

**Комплексные, или многосторонние (сложные, сложно-смешанные и смешанные), удобрения** содержат одновременно два и более основных питательных элементов.

Содержание действующего вещества в минеральных удобрениях выражается в весовых процентах: в азотных удобрениях в расчете на N, в фосфорных — на  $P_2O_5$ , в калийных — на  $K_2O$ . Для пересчета дозы удобрения в килограммах действующего вещества на физические удобрения или условные стандартные туки (в которых принято содержание N — 20,5%,  $P_2O_5$  — 18,7%,  $K_2O$  — 41,6%) установленная норма N,  $P_2O_5$  или  $K_2O$ , кг на 1 га, делится на процент содержания действующего вещества в соответствующих удобрениях. Например, доза 70 кг N на 1 га будет составлять  $\frac{70}{20,5} \approx 3,5$  ц в условных стандартных туках, или  $\frac{70}{34,5} \approx 2$  ц аммиачной селитры (содержащей 34,5% N).

## АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

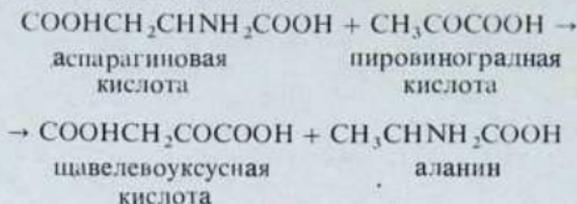
## Значение азота для растений, содержание и превращение его в почве

Громадное значение азотных удобрений в повышении урожайности сельскохозяйственных культур обусловливается исключительно важной ролью азота в жизни растений. Азот входит в состав белков, являющихся главной составной частью цитоплазмы и ядра клеток, в состав нуклеиновых кислот, хлорофилла, ферментов, фосфатидов, большинства витаминов и других органических азотистых соединений, которые играют важную роль в процессах обмена веществ в растениях.

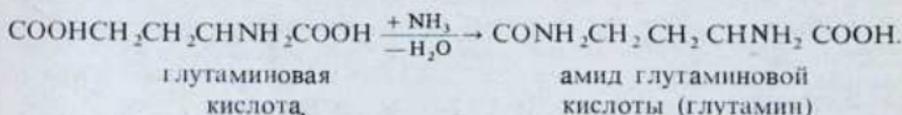
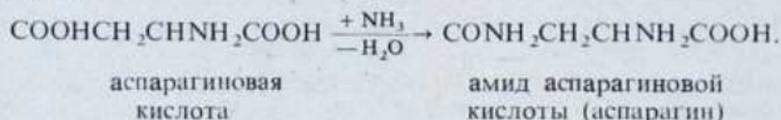
Основным источником азота для питания растений являются соли азотной кислоты и соли аммония. В естественных условиях питание растений азотом происходит путем поглощения ими из почвенного



к пировиноградной кислоте образуется аминокислота аланин и освобождается щавелевоуксусная кислота:



Большое значение в азотном обмене растений принадлежит амидам — аспарагину и глутамину, которые образуются присоединением к аспарагиновой и глутаминовой кислотам еще одной молекулы аммиака:



В результате образования амидов, как показали классические исследования Д. Н. Прянишникова, происходит обезвреживание аммиака, накапливающегося в растениях при обильном аммиачном питании и недостатке в растениях углеводов.

При недостатке углеводов и, следовательно, органических кетокислот (особенно при прорастании семян с малым запасом углеводов, например сахарной свеклы) избыточное поступление аммиачного азота в растения может оказать отрицательное действие. В этом случае аммиачный азот не успевает использоваться на синтез аминокислот и накапливается в тканях, вызывая «аммиачное отравление» растений. Те растения, в посевном материале которых содержится большое количество углеводов (например, крахмала у картофеля), быстро усваивают поступающий аммиачный азот и хорошо отзываются на внесение аммиачных удобрений.

Биосинтез белка, состоящего из аминокислот, соединенных между собой пептидными связями, происходит с участием нуклеиновых кислот, являющихся матрицей, на которой фиксируются и соединяются аминокислоты в определенной последовательности с образованием разнообразных белковых молекул.

В процессе роста и развития в растениях постоянно синтезируется огромное количество разнообразных белков. Они отличаются по молекулярной массе, составу аминокислот и их последовательности в полипептидных цепях, по своим функциональным свойствам.

Для биосинтеза белков, как и других сложных органических соединений, требуется затрата большого количества энергии. Основные источники ее в растениях — фотосинтез и дыхание (окислительное фосфорилирование), поэтому существует тесная связь между синтезом белка и интенсивностью дыхания и фотосинтеза.

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

В разные фазы роста и развития растений ход процессов обмена азотистых веществ неодинаков. При прорастании семян происходит расщепление запасных белков эндосперма или семядолей и продукты гидролиза используются для построения белков молодых проростков. После формирования фотосинтезирующего листового аппарата питание растений и синтез белка осуществляются за счет минерального азота, поглощенного из почвы. Наиболее интенсивно поглощение и усвоение растениями азота из окружающей среды идут в период максимального роста и образования вегетативных органов — стеблей и листьев. Из физиологически устаревших частей растений, в которых преобладают процессы распада белка, продукты его гидролиза передвигаются в молодые интенсивно растущие органы. При формировании семян белковые вещества вегетативных частей растения подвергаются гидролизу и образующиеся продукты оттекают в репродуктивные органы, где снова используются на синтез белка. В это время потребление растениями азота из почвы ограничивается или практически заканчивается.

Работами Д. Н. Прянишникова и его учеников доказано, что аммиачный и нитратный азот является при определенных условиях равноценным источником азота для растений. Однако использование растениями аммиачного или нитратного азота зависит от ряда внутренних и внешних факторов: биологических особенностей культуры, обеспеченности растения углеводами, реакции среды, наличия кальция, магния, калия, фосфора и микроэлементов. При нейтральной реакции аммиачный азот усваивается растениями лучше, а при кислой — хуже, чем нитратный. Повышенное содержание кальция, магния и калия создает более благоприятные условия для усвоения аммиачного азота, а при нитратном питании важное значение имеет создание достаточного уровня фосфорного питания. Недостаток молибдена тормозит восстановление нитратов и ограничивает ассимиляцию нитратного азота растениями. В естественных условиях сравнительная ценность для растений нитратных и аммиачных форм азотных удобрений в значительной степени определяется их превращением в почве и свойствами самой почвы.

Условия азотного питания оказывают большое влияние на рост и развитие растений. При недостатке азота рост растений резко замедляется. Особенно сильно сказывается недостаток азота в начале вегетации на вегетативных органах. Листья бывают мелкие, имеют

бледно-зеленую окраску (что связано с нарушением синтеза хлорофилла), преждевременно желтеют, стебли становятся тонкими и слабо ветвятся. Ухудшается также формирование и развитие репродуктивных органов и налив зерна, резко снижается урожай и содержание белка в нем.

При достаточном снабжении растений азотом синтез органических азотистых веществ в растении усиливается. Растение образует мощные листья и стебли, имеющие интенсивно-зеленую окраску, хорошо растут и кустятся; улучшается также формирование и развитие органов плодоношения. В результате резко повышается урожай и содержание белка в нем.

✓ Содержание азота в различных растениях и разных органах растения значительно различается. В семенах основное количество азота (до 90% от общего содержания) находится в составе белка. Растительные белки содержат от 14 до 18% азота, а в среднем около 16%. Следовательно, относительное содержание азота в семенах тесно коррелирует с содержанием белка и составляет около  $\frac{1}{6}$  от количества белка. ✓

Наиболее высоким содержанием белка и, следовательно, азота отличаются семена бобовых и масличных культур, меньше его в зерне злаков. ✓

✓ В вегетативных органах растений при созревании азота гораздо меньше, чем в семенах. Так, в зерне пшеницы содержание азота составляет от 2,3 до 3,5% сухого вещества, а в соломе — от 0,4 до 0,7%. Из вегетативных органов азотом богаче листья, особенно молодые, меньше его в стеблях и корнях. В листьях и стеблях растений, а также в корнеплодах и клубнях доля небелкового азота может быть весьма значительной. ✓ Например, в листовых овощах, корнях сахарной, кормовой свеклы и моркови, клубнях картофеля небелковые соединения азота в момент достижения товарной спелости составляют до половины от общего количества этого элемента.

✓ Для создания хорошего урожая растения потребляют из почвы значительное количество азота: зерновые культуры около 100 кг, кукуруза, картофель, сахарная свекла до 150—200 кг с 1 га. ✓

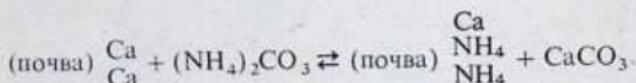
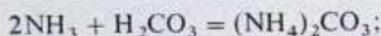
✓ Содержание азота в почвах зависит от количества в них гумуса. В черноземных почвах общее содержание азота достигает 0,4—0,5%, а в дерново-подзолистых почвах и сероземах — только 0,05—0,15%. Общий запас азота в пахотном слое разных почв колеблется от 1500 до 15000 кг на 1 га. ✓

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

✓ Разложение органических азотистых веществ в почве в общем виде может быть представлено следующей схемой: гуминовые вещества,

белки → аминокислоты, амиды → аммиак → нитриты → нитраты → молекулярный азот.

↓ Распад органических азотсодержащих веществ почвы до аммиака называется *аммонификацией*. Аммонификация осуществляется разнообразными аэробными и анаэробными почвенными микроорганизмами и происходит во всех почвах при разной реакции среды, но замедляется в анаэробных условиях и при сильнокислой и щелочной реакции. Аммиак взаимодействует с угольной кислотой почвенного раствора, образуя углекислый аммоний, а  $\text{NH}_4^+$  поглощается почвой: ✓



↓ Аммонийный азот в почве подвергается *нитрификации* — окислению до  $\text{HNO}_3$ , которая с находящимися в почве катионами  $\text{Ca}^{2+}$  и др. дает соли азотной кислоты — нитраты [ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и др.]. Окисление  $\text{NH}_4^+$  до  $\text{NO}_3^-$  идет через ряд промежуточных продуктов — гидросиламин ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ), азотистую кислоту ( $\text{HNO}_2$ ) и др. ✓

↓ Процесс нитрификации осуществляется группой специфических аэробных бактерий, для которых окисление аммиака является источником энергии. Одни из них (*Nitrosomonas*) окисляют  $\text{NH}_4^+$  до  $\text{NO}_2^-$ , другие (*Nitrobacter*) окисляют  $\text{NO}_2^-$  до  $\text{NO}_3^-$ . Оптимальные условия для нитрификации — хорошая аэрация, влажность почвы 60—70% от капиллярной влагоемкости, температура 25—32° С и близкая к нейтральной реакция. Интенсивность нитрификации — один из признаков культурного состояния почвы. ✓

На кислых подзолистых почвах в условиях плохой аэрации, избыточной влажности и низкой температуры процессы минерализации протекают слабо и останавливаются на стадии образования аммиака. Процесс нитрификации вследствие неблагоприятных условий для деятельности нитрифицирующих бактерий бывает подавлен, нитратов образуется мало. ✓

На окультуренных, хорошо обработанных почвах процессы аммонификации и нитрификации осуществляются более интенсивно, больше образуется минеральных соединений азота, главным образом нитратов. Известкование кислых почв, систематическое внесение органических и минеральных удобрений, усиливая микробиологическую деятельность в почве, резко повышают интенсивность минерализации органического вещества и образования усвояемых соединений азота.

### Круговорот азота в земледелии

↓ Образующиеся в почве минеральные соединения азота не накапливаются в ней в больших количествах, так как потребляются растениями, а также используются микроорганизмами и частично снова превращаются в органическую форму. ✓ Кроме того, нитратный азот

теряется из почвы в результате денитрификации и вымывания его из корнеобитаемого слоя осадками и поливными водами. Потери нитратов за счет вымывания из почв тяжелого механического состава под растениями обычно незначительны. Однако на легких, особенно парующих, почвах в увлажненных районах, а также в условиях орошаемого земледелия такие потери могут достигать значительных размеров (до 30 кг N и более). Отрицательной стороной вымывания нитратов является также загрязнение ими водных источников, в том числе и питьевых ресурсов.

В основном потери азота из почвы происходят в газообразной форме в результате денитрификации — процесса дессимиляторного восстановления нитратного азота до молекулярного азота ( $N_2$ ) либо до газообразных окиси и закиси азота (NO и  $N_2O$ ). Биологическая денитрификация осуществляется группой денитрифицирующих бактерий и особенно интенсивно протекает в анаэробных условиях и щелочной реакции почвы при наличии доступного микроорганизмам органического вещества. Биологическая денитрификация протекает и в обычных условиях азотации, реакции среды и увлажнения, поскольку в почвах даже при общих аэробных условиях неизбежно наличие анаэробных микрзон, а диапазон благоприятной реакции среды для развития денитрификаторов довольно широкий. Наряду с биологической денитрификацией имеет место косвенная или «хемоденитрификация», которая связана с образованием газообразных окислов азота и молекулярного азота при разложении промежуточных продуктов нитрификации — нитритов и гидросиламина (особенно при кислой реакции), а также при химическом взаимодействии нитритов с  $NH_4^+$ ,  $\alpha$ -аминокислотами, ионами  $Fe^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  и с органическими веществами почвы.

Следовательно, в круговороте азота в земледелии процессы нитрификации наряду с положительным значением играют и отрицательную роль, так как образующиеся нитраты и нитриты могут вымываться и теряться из почвы в виде газообразных продуктов ( $N_2$ ,  $N_2O$ , NO), которые образуются в результате биологической и «хемоденитрификации».

Азот, усвоенный растениями, лишь частично снова возвращается в почву с навозом, ибо значительная часть его, которая содержится в товарной продукции (зерно, волокно льна, клубни картофеля и т. д.), отчуждается из хозяйства и не может быть возвращена в почву.

Чтобы избежать обеднения почвы азотом и получать высокие, устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур, необходимо постоянно заботиться о пополнении запасов его в почве.

Единственным естественным источником пополнения запасов азота в почве является азот атмосферы.

В атмосфере над каждым гектаром почвы находится около 80 тыс. т азота, но молекулярный азот воздуха недоступен для большинства растений (кроме бобовых).

Связывание молекулярного азота воздуха и пополнение запасов азота в почве происходит двумя путями. Небольшое количество связанного

азота (до 3—5 кг на 1 га) образуется в самой атмосфере под действием грозных разрядов и с осадками в виде аммиака, азотистой и азотной кислоты поступает в почву. Значительно большее значение для пополнения почвы азотом и питания растений имеет связывание (фиксация) азота воздуха азотфиксирующими микроорганизмами, свободно живущими в почве (азотобактер, клостридиум и др.), и клубеньковыми бактериями, живущими в симбиозе с бобовыми растениями (биологический синтез азота).

Свободноживущие азотфиксаторы ассимилируют до 5—6 кг азота на 1 га. Размеры симбиотической азотфиксации зависят от вида и урожайности бобовых растений. Так, клевер при хорошем урожае может накапливать 150—160 кг азота, люпин — 100—170, люцерна — 250—300 кг на 1 га. Примерно  $\frac{1}{3}$  часть связанного бобовыми травами азота остается в послеуборочных и корневых остатках и после их минерализации может использоваться культурами, следующими в севообороте после бобовых. В среднем на 1 т сена (содержащую 25—30 кг азота) в корневых и послеуборочных остатках содержится и поступает в почву 10—15 кг азота. Вклад биологического азота в азотный баланс определяется поэтому площадью, занимаемой многолетними бобовыми травами и их урожаем, от которого зависит количество азота, оставляемого в почве в корневых и послеуборочных остатках. Если площадь, занятая бобовыми травами, составляет 10% от общей посевной площади, а урожай сена равен 4 т с 1 га, то ежегодное поступление в почву азота на 1 га посевов бобовых составит 40—60 кг, а в среднем на 1 га всей посевной площади 4—6 кг.

Следовательно, суммарное поступление азота за счет указанных выше источников далеко не компенсирует выноса азота урожаями сельскохозяйственных культур и потерь его из почвы в результате вымывания и денитрификации. Поэтому для получения высоких урожаев всех сельскохозяйственных культур и повышения качества урожая громадное значение имеет внесение в почву минеральных азотных удобрений, получаемых путем искусственного синтеза из азота воздуха на химических заводах.

Производство азотных удобрений основано главным образом на получении синтетического аммиака из молекулярного азота и водорода. Азот получают пропусканьем воздуха в генератор с горящим коксом, а источником водорода являются природный газ, нефтяные и коксовые газы. Из смеси  $N_2$  и  $H_2$  (в отношении 1 : 3) при высокой температуре и давлении в присутствии катализаторов получают аммиак:  
$$N_2 + 3H_2 = 2NH_3$$

Синтетический аммиак используют не только для получения аммонийных солей, но и азотной кислоты, которая идет для производства аммиачно-нитратных и нитратных удобрений.

Азотные удобрения подразделяются на следующие четыре группы.

1. Н и т р а т н ы е у д о б р е н и я (селитры), содержащие азот в нитратной форме, —  $NaNO_3$ ,  $Ca(NO_3)_2$ .

2. А м м о н и й н ы е и а м м и а ч н ы е у д о б р е н и я, содержащие азот в аммонийной или аммиачной форме, —  $(NH_4)_2SO_4$ ,

$\text{NH}_4\text{Cl}$ , жидкие азотные удобрения (безводный аммиак, аммиачная вода).

3. Аммиачно-нитратные удобрения, содержащие азот в аммонийной и нитратной форме, —  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

4. Удобрения, содержащие азот в амидной форме, —  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . *мочевины*

В ассортименте выпускаемых в нашей стране азотных удобрений в 1980 г. преобладали более концентрированные формы: мочевины (27%), аммиачная селитра (39%), жидкий аммиак (4%) и сложные удобрения (22%), а доля низкопроцентных удобрений (сульфат аммония, аммиачная вода, кальциевая и натриевая селитры) непрерывно снижается.

### Нитратные удобрения.

Нитратные удобрения — натриевая и кальциевая селитры — составляют незначительную долю от выпускаемых азотных удобрений (менее 1%), однако рассмотрение их свойств, превращений в почве и применения представляет интерес с точки зрения правильного понимания особенностей других, в том числе основных азотных удобрений — аммиачной селитры и мочевины.

Натриевая селитра (нитрат натрия, азотнокислый натрий) —  $\text{NaNO}_3$  содержит 15—16% азота. ✓

До разработки синтетического способа получения аммиака натриевая селитра добывалась из естественных залежей гуано в Чили и являлась основным азотным удобрением. Выпускаемая в настоящее время в небольшом количестве натриевая селитра является побочным продуктом при получении азотной кислоты из аммиака. Это мелкокристаллическая соль белого или желтовато-бурого цвета, хорошо растворимая в воде. Обладает заметной гигроскопичностью, при хранении в неблагоприятных условиях может слеживаться. При правильном хранении не слеживается и сохраняет удовлетворительную рассыпаемость.

✓ Кальциевая селитра (нитрат кальция, азотнокислый кальций) —  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  содержит 13—15% азота. Получают ее нейтрализацией азотной кислоты мелом или известью:  $2\text{HNO}_3 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . ✓

✓ Нитрат кальция — кристаллическая соль белого цвета, хорошо растворимая в воде. Обладает очень высокой гигроскопичностью и даже при нормальных условиях хранения сильно отсыревает, расплывается и слеживается. Перевозят и хранят ее во влагонепроницаемой упаковке. ✓

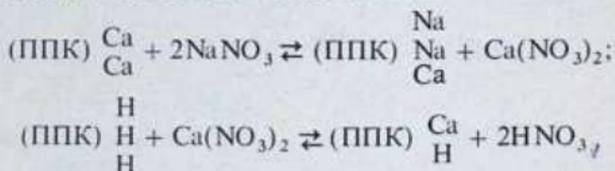
Для уменьшения гигроскопичности кристаллическую кальциевую селитру гранулируют с применением гидрофобных покрытий. Однако и гранулирование не устраняет полностью неблагоприятные физические свойства удобрения.

✓ Натриевая и кальциевая селитры — физиологически щелочные удобрения. Растения в большом количестве потребляют анионы  $\text{NO}_3^-$ , чем катионы  $\text{Na}^+$  или  $\text{Ca}^{2+}$ , которые, оставаясь в почве, сдвигают ее ре-

акцию в сторону подщелачивания. При систематическом применении на кислых дерново-подзолистых почвах эти удобрения оказывают заметное нейтрализующее действие, снижая почвенную кислотность.

Особенно хорошие результаты получают при внесении на кислых, бедных основаниями, почвах кальциевой селитры. При ее внесении не только уменьшается кислотность, но и улучшаются физические свойства почвы, так как кальций коагулирует почвенные коллоиды. √

В почве селитры быстро растворяются и вступают в обменные реакции с катионами почвенного поглощающего комплекса:



Катионы  $\text{Na}^+$  или  $\text{Ca}^{2+}$  поглощаются почвой, а анионы  $\text{NO}_3^-$  остаются в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность. √ Поэтому в условиях влажного климата или при обильном орошении, особенно на легких почвах, нитратный азот может вымываться. √

Селитры не рекомендуется вносить заблаговременно, с осени, лучше вносить их весной под предпосевную культивацию. Очень хорошо вносить селитры в подкормку под озимые и пропашные культуры. Натриевую селитру вносят также в рядки при посеве, особенно предпочтительно ее применение в рядки с семенами под сахарную свеклу и другие корнеплоды. Кальциевая селитра малопригодна для внесения в рядки из-за неблагоприятных физических свойств.

Нитратные удобрения могут применяться на различных почвах под все сельскохозяйственные культуры. На кислых дерново-подзолистых почвах, особенно при внесении под культуры, чувствительные к высокой кислотности, эти азотные удобрения дают лучшие результаты, чем аммиачные. На черноземах они не имеют преимуществ. Натриевая селитра малопригодна на засоленных почвах и солонцах. На дерново-подзолистых почвах первое место по эффективности занимает кальциевая селитра, а на черноземах для большинства культур она равноценна натриевой и уступает ей лишь при применении под сахарную свеклу, кормовые и столовые корнеплоды. Более высокая эффективность натриевой селитры под эти культуры связана с положительным действием катиона натрия. Натрий усиливает отток углеводов из листьев в корни, в результате чего повышается урожай корней свеклы и содержание в них сахара.

### Аммиачные удобрения

Твердые аммонийные удобрения выпускаются в нашей стране в относительно небольших количествах (6% от валового производства), в то время как производство жидких аммиачных удобрений (безводного аммиака) постоянно расширяется. √

## Твердые аммонийные удобрения

↓ Сульфат аммония (серноокислый аммоний) —  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  содержит 20,8—21% азота. Кристаллическая соль, хорошо растворимая в воде; гигроскопичность ее невысокая, поэтому при нормальных условиях хранения слеживается мало и сохраняет хорошую рассеиваемость. ✓

↓ Получается насыщением крепкой серной кислоты газообразным аммиаком:  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NH}_3 = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . ✓

↓ При производстве сульфата аммония может использоваться синтетический аммиак, а также аммиак, образующийся при коксовании каменного угля. В готовом продукте может присутствовать небольшое количество свободной серной кислоты (0,2—0,4%) и других примесей. ✓

↓ Синтетический сульфат аммония белого цвета, а коксохимический из-за наличия органических примесей имеет серую, синеватую или красноватую окраску. В СССР производится только коксохимический сульфат аммония. ✓

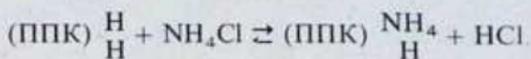
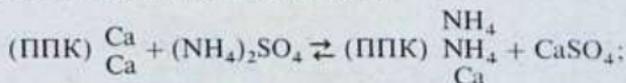
↓ Удобрение содержит около 24% серы и является хорошим источником этого элемента для питания растений. ✓

↓ Наряду с сульфатом аммония сельское хозяйство получает в небольших количествах сульфат аммония - натрия  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$  — отход производства капролактама. Это кристаллическая соль желтоватого цвета, содержит около 9%  $\text{Na}_2\text{O}$ , 2,5% органических примесей и 16% азота. Обладает хорошими физическими свойствами, мало гигроскопичен и не слеживается. В связи с содержанием натрия является хорошим удобрением для сахарной свеклы и растений семейства крестоцветные, отзывчивых на серу и натрий. ✓

↓ В качестве побочного продукта при производстве соды в небольшом количестве получается также хлористый аммоний —  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . ✓

↓ Это кристаллическая соль белого цвета, хорошо растворимая в воде, содержит 24—26% азота. Хлористый аммоний имеет высокую физиологическую кислотность, а также содержит большое количество хлора (67%), из-за чего мало пригоден для применения под культуры, чувствительные к хлору (табак, виноград, коноплю, гречиху и др.). ✓

↓ Сульфат аммония и хлористый аммоний — удобрения физиологически кислые, так как растениями быстрее и в большем количестве потребляются катионы  $\text{NH}_4^+$ , чем анионы  $\text{SO}_4^{2-}$  (или  $\text{Cl}^-$ ), последние, накапливаясь в почве, вызывают ее подкисление. При однократном внесении умеренных доз этих удобрений заметного подкисления почвы не наблюдается, но при систематическом применении, особенно на малобufferных почвах, происходит значительное их подкисление. После внесения в почву аммонийные удобрения быстро растворяются в почвенной влаге и вступают в обменные реакции с катионами почвенного поглощающего комплекса:



Катионы  $\text{NH}_4^+$  поглощаются почвой в обмен на эквивалентное количество других катионов, находившихся ранее в поглощенном состоянии. Поглощенный аммоний хорошо доступен для растений. В то же время подвижность его в почве и опасность вымывания в условиях обильного увлажнения уменьшаются. Аммонийные удобрения можно вносить заблаговременно, с осени под зяблевую вспашку.

Поглощение аммония почвой и его меньшая подвижность могут играть и отрицательную роль. Аммонийный азот локализуется в почве в очагах его внесения и очень слабо передвигается, поэтому при внесении аммонийных удобрений в подкормку или в рядки при посеве использование азота молодыми растениями, имеющими слаборазвитую корневую систему, может затрудняться.

Для внесения в рядки или гнезда аммонийные удобрения мало пригодны также и потому, что интенсивное поступление аммонийного азота в молодые проростки может сказаться на них отрицательно из-за токсического действия избытка аммиака.

В рядки или подкормку лучше вносить нитратные удобрения. Аммонийные удобрения вносятся преимущественно до посева в качестве основного удобрения. С течением времени разница в подвижности нитратных и аммонийных удобрений сглаживается, так как аммонийный азот постепенно подвергается нитрификации и переходит в нитратную форму.

Хлористый аммоний нитрифицируется медленнее, чем сульфат аммония, что связано с отрицательным влиянием хлора на деятельность нитрифицирующих бактерий.

В результате нитрификации аммиачных удобрений образуется  $\text{HNO}_3$  и вместе с тем освобождается  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (или  $\text{HCl}$ ). Образующиеся кислоты подкисляют почвенный раствор и вытесняют основания из почвенного поглощающего комплекса. При длительном систематическом применении аммонийных удобрений, особенно на малобуферных слабокультурных дерново-подзолистых почвах, повышается актуальная, обменная и гидролитическая кислотность, уменьшается степень насыщенности почвы основаниями, увеличивается содержание подвижных форм алюминия и марганца. В результате ухудшаются условия роста растений и эффективность удобрений снижается. Возрастает потребность в известковании.

Особенно сильно реагируют на подкисляющее действие аммонийных удобрений культуры, чувствительные к почвенной кислотности: клевер, пшеница, ячмень, свекла, капуста. Для этих культур аммонийные удобрения уже с первых лет их применения на неизвесткованных кислых почвах оказываются менее эффективными, чем нитратные. Известкование дерново-подзолистых почв снимает отрицательное влияние аммонийных удобрений на свойства почвы и урожай сельскохозяйственных культур и является важнейшим условием эффективного их применения. Хорошая заправка почвы навозом, повышая ее буферность, также снижает отрицательное действие этих удобрений на свойства почвы и имеет важное значение для более эффективного их применения.

На кислых известкованных почвах для повышения эффективности аммонийных удобрений применяют их нейтрализацию. Для этого к аммонийному удобрению примешивают перед внесением известь, мел и доломит: на 1 ц  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  1,3 ц  $\text{CaCO}_3$ , а на 1 ц  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1,4 ц  $\text{CaCO}_3$ .

При систематическом применении аммонийных удобрений на почвах, насыщенных основаниями и имеющих высокую нейтрализующую способность, — черноземах и особенно сероземах заметного подкисления их не происходит. Поэтому эффективность аммонийных удобрений на этих почвах не ниже, а на сероземах нередко даже выше, чем нитратных удобрений. Эффективно применение сульфата аммония при орошении, особенно под рис, возделываемый в условиях затопления.

### Жидкие азотные удобрения

Безводный (жидкий) аммиак —  $\text{NH}_3$ , самое высококонцентрированное азотное удобрение, содержит 82,3% азота. Получается сжижением газообразного аммиака под давлением. По внешнему виду бесцветная, подвижная жидкость, плотность 0,61 при 20°C, температура кипения 34°C. При хранении в открытых сосудах  $\text{NH}_3$  быстро испаряется. Жидкий аммиак обладает высокой упругостью паров, поэтому хранят и транспортируют его в стальных баллонах или цистернах, выдерживающих высокое давление.

Аммиакаты — раствор аммиачной селитры или аммиачной селитры в смеси с кальциевой или мочевиной в жидком аммиаке. В зависимости от состава содержат от 37 до 53% азота. Единица азота в аммиакатах стоит дороже, чем в жидком аммиаке. В нашей стране они не получили распространения.

Аммиачная вода — водный раствор синтетического или коксохимического аммиака, выпускается двух сортов — с содержанием азота 20,5 и 18% (25% и 20%  $\text{NH}_4\text{OH}$ ). По внешнему виду бесцветная или желтоватая жидкость с резким запахом аммиака (нашатырного спирта).

Упругость паров небольшая, хранить и транспортировать аммиачную воду можно в герметически закрывающихся резервуарах (цистернах, баках), рассчитанных на невысокое давление.

В аммиачной воде азот находится в форме  $\text{NH}_3$  и  $\text{NH}_4\text{OH}$ , причем аммиака содержится значительно больше, чем аммония. Этим обусловлена возможность потерь азота вследствие улетучивания  $\text{NH}_3$  при перевозке, хранении и внесении удобрения.

Использовать аммиачную воду в качестве удобрения проще и безопаснее, чем жидкий аммиак и аммиакаты, но недостатком ее является низкое содержание азота. Поэтому производство аммиачной воды в последние годы уменьшилось, а безводного аммиака увеличивается.

Преимущество жидких азотных удобрений заключается в том, что производство и применение их обходятся значительно дешевле, чем твердых. При производстве жидких азотных удобрений отпадает необходимость в строительстве цехов азотной кислоты, кристаллиза-

ции, упарки, грануляции, сушки, что позволяет в 1,5—2 раза снизить капиталовложения на строительство азотно-тукового завода равной мощности (по азоту) стоимости единицы азота в жидком аммиаке примерно в 1,5—2 раза меньше, чем в аммиачной селитре.

Все жидкие азотные удобрения вносятся специальными машинами, обеспечивающими немедленную заделку их на глубину не менее 10—12 см на тяжелых почвах и 14—18 см на легких. Поверхностное внесение этих удобрений недопустимо, так как аммиак быстро испаряется. При более мелкой заделке их в сухой верхний слой также возможны значительные потери аммиака, особенно на легких песчаных и супесчаных почвах. Из влажной почвы потери азота вследствие улетучивания аммиака значительно меньше, чем из сухой почвы.

При внесении жидких аммиачных удобрений с заделкой в почву ионы аммония и  $\text{NH}_3$  связываются почвенной влагой с образованием гидроокиси аммония ( $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{OH}$ ), обменно поглощаются коллоидной фракцией, поэтому слабо передвигаются в почве. В первые дни после внесения удобрений происходит подщелачивание почвы, а затем по мере нитрификации аммонийного азота реакция почвы сдвигается в сторону подкисления. При нитрификации аммонийного азота возрастает его подвижность в почве.

Жидкие азотные удобрения можно применять в качестве основного (допосевого) удобрения под все культуры. Их можно вносить в этом случае осенью и весной перед посевом с немедленной заделкой в почву. Под культуры узкорядного сева вносить их необходимо машинами с близкой расстановкой сошников (20—25 см), а посев проводить перпендикулярно направлению их прохода.

Под пропашные культуры можно применять жидкий аммиак в подкормку. Во избежание ожогов растений удобрение вносят в середину междурядий или на расстоянии не менее 10—12 см от растений.

При работе с жидкими азотными удобрениями следует соблюдать необходимые правила техники безопасности, так как пары аммиака вызывают раздражение слизистых оболочек глаза и дыхательных путей, удушье и кашель. При осмотре и ремонте емкостей из-под этих удобрений нужны также меры предосторожности, поскольку смесь аммиака с воздухом взрывоопасна.

### Аммиачно-нитратные удобрения .

Аммиачная селитра (азотнокислый аммоний, нитрат аммония) —  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  — основное азотное удобрение, содержит 34,5—35% азота. Получается нейтрализацией азотной кислоты аммиаком:  $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 = \text{NH}_4\text{NO}_3$ .

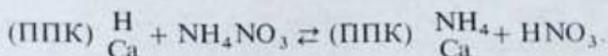
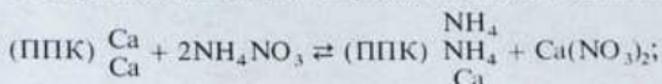
Аммиачная селитра производится в виде кристаллов белого или желтоватого цвета и в виде гранул размером 1—3 мм, различной формы (сферической, в виде чешуек, пластинок). Негранулированная, кристаллическая аммиачная селитра обладает высокой гигроскопичностью, при хранении слеживается, поэтому должна храниться в водонепроницаемых мешках и сухом помещении. В настоящее время

химическая промышленность производит гранулированную селитру, которая менее гигроскопична, меньше слеживается, сохраняет хорошую рассеиваемость, особенно если в процессе ее получения вводятся в небольших количествах специальные кондиционирующие (гидрофобные) добавки, а влажность удобрения не более 0,3%.

Аммиачная селитра — хорошо растворимое высококонцентрированное удобрение. Может применяться под все культуры и на всех почвах. Аммиачную селитру можно вносить в качестве основного удобрения, в рядки или лунки при посеве и в подкормку в период вегетации. В основное удобрение в условиях влажного климата, особенно на легких почвах, лучше вносить ее весной под предпосевную культивацию, а в менее увлажненных районах можно вносить с осени, не опасаясь вымывания азота.

В аммиачной селитре сочетаются положительные свойства аммонийных и нитратных удобрений. Половина азота в ней находится в легкоподвижной нитратной форме и половина в менее подвижной аммонийной форме. Из раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  растения быстрее поглощают катион  $\text{NH}_4^+$ , чем анион  $\text{NO}_3^-$ , поэтому аммиачная селитра является физиологически кислым удобрением, но подкисляющее действие ее на почву выражено слабее, чем сульфата аммония.

В почве  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  взаимодействует с почвенным поглощающим комплексом, катион  $\text{NH}_4^+$  поглощается коллоидами почвы, а анион  $\text{NO}_3^-$  остается в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность:



На почвах, насыщенных основаниями (сероземы, черноземы), в растворе образуются нейтральные соли азотнокислого кальция (или магния) и подкисления почвенного раствора не происходит даже при систематическом внесении высоких доз удобрения. Для этих почв аммиачная селитра является одной из лучших форм азотных удобрений.

На кислых дерново-подзолистых почвах, содержащих в поглощенном состоянии мало кальция и много ионов  $\text{H}^+$ , в почвенном растворе образуется  $\text{HNO}_3$ , вследствие чего он подкисляется. Подкисление носит временный характер, так как исчезает по мере потребления нитратного азота растениями. В первое же время, особенно при внесении большой дозы селитры и неравномерном ее рассеивании, в почве могут создаваться очаги с повышенной кислотностью.

При длительном применении аммиачной селитры на малобуферных дерново-подзолистых почвах подкисление может быть довольно сильным, в результате чего эффективность ее, особенно при внесении под культуры, чувствительные к повышенной кислотности, заметно снижается.

Для повышения эффективности аммиачной селитры на кислых

почвах большое значение имеет их известкование. Отрицательное влияние физиологической кислотности аммиачной селитры может быть устранено также путем нейтрализации ее известью или доломитом при соотношении 1 : 1.

### Мочевина

Мочевина (карбамид) —  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  содержит 46% азота, является самым концентрированным из твердых азотных удобрений, получается путем синтеза из аммиака и углекислого газа при высоких давлениях и температуре:  $2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 = \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

По внешнему виду белый мелкокристаллический продукт, хорошо растворимый в воде. Гигроскопичность кристаллической мочевины (при температуре до  $20^\circ\text{C}$ ) сравнительно небольшая, но с повышением температуры заметно увеличивается и при хранении она может слеживаться. В настоящее время промышленность выпускает гранулированную мочевину с размером гранул 1—3 мм и содержанием влаги 0,2%, которая обладает лучшими физическими свойствами, практически не слеживается и сохраняет хорошую рассеиваемость.

Во время грануляции мочевины образуется биурет  $(\text{CONH}_2)_2\text{HN}$ , обладающий токсическим действием на растения, однако содержание его в гранулированной мочеvine, выпускаемой в настоящее время, не превышает 1% и практически безвредно для растений при обычных способах и сроках ее применения.

В почве мочевина полностью растворяется почвенной влагой и под влиянием уробактерий, выделяющих фермент уреазу, быстро (в течение 2—3 дней) аммонифицируется, превращаясь в углекислый аммоний:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .

Углекислый аммоний — соединение непрочное. На воздухе он разлагается с образованием бикарбоната аммония и газообразного аммиака:  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{NH}_3$ . Поэтому при поверхностном внесении мочевины без заделки, особенно на почвах с нейтральной и щелочной реакцией, могут происходить потери ее азота в виде аммиака.

При заделке мочевины в почву образующийся аммоний поглощается ее коллоидной фракцией и постепенно усваивается растениями, а также подвергается нитрификации с образованием  $\text{HNO}_3$ .

В первые дни после внесения мочевины вследствие образования  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  (гидролитически щелочной соли) происходит временное местное подщелачивание почвы. По мере нитрификации углекислого аммония (причем нитрификация  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  происходит значительно быстрее, чем  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и особенно  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) подщелачивание почвы сменяется некоторым ее подкислением.

На малобуферных легких почвах при внесении большой дозы удобрения смещения реакции почвенного раствора могут быть особенно заметными, но после усвоения азота растениями в почве не остается ни щелочных, ни кислотных остатков.

Мочевина — одно из лучших азотных удобрений и на большинстве культур по своей эффективности равноценна аммиачной селитре, а на рисе — сульфату аммония.

Мочевину можно применять как основное удобрение или вносить в подкормку под все культуры и на различных почвах. При внесении мочевины в почву необходимо обеспечить своевременную ее заделку, так как при поверхностном размещении удобрения могут происходить потери азота за счет улетучивания аммиака из образующегося углекислого аммония, особенно на карбонатных и щелочных почвах. Значительные потери в форме аммиака могут происходить при применении мочевины в подкормку на лугах и пастбищах, поскольку дернина обладает высокой уреазной активностью.

Мочевину с успехом можно применять для некорневой подкормки овощных и плодовых культур, а также поздних подкормок пшеницы с целью повышения содержания белка в зерне. В отличие от других азотных удобрений она даже в повышенной концентрации ( $> 5\%$ ) не обжигает листья и вместе с тем хорошо усваивается растениями. Кроме того, мочевина применяется также в животноводстве как азотная добавка к углеводистым кормам. Производство ее в ближайшие годы будет увеличиваться.

С целью снижения потерь азота удобрений и повышения их эффективности разрабатывается технология производства медленно действующих форм азотных удобрений — малорастворимых (мочевинноформальдегидные удобрения) или с контролируемой скоростью высвобождения азота за счет различных синтетических покрытий. Для консервации азота мочевины и аммонийных удобрений в почве в аммонийной форме производится покрытие гранул удобрения серой либо введение в их состав ингибиторов нитрификации.

### Использование азота удобрений растениями и его превращение в почве

До недавнего времени считалось, что растения используют азот удобрений на 60—70%. Коэффициенты использования растениями азота удобрений определяли косвенным методом — по разнице в выносе азота урожаем при внесении азотного удобрения и без его применения (в варианте РК). При этом допускалось, что растения в том и другом случае используют одинаковое количество азота из почвы.

Благодаря применению в агрохимических исследованиях метода меченых атомов (в этом случае в опытах используют азотные удобрения, меченные стабильным изотопом азота  $^{15}\text{N}$ , что позволяет отделить азот удобрения —  $^{15}\text{N}$  от азота почвы —  $^{14}\text{N}$ ) было установлено, что при внесении азотных удобрений растения усваивают больше азота из почвы, чем в контрольных вариантах, и непосредственно из удобрения используется значительно меньше азота, чем считалось раньше. Результаты исследований с  $^{15}\text{N}$  (в том числе авторов учебника) показали, что в полевых условиях растения усваивают непосредственно из удобрения лишь 30—50% азота от внесенного, причем коэффициенты использования азота различных форм азотных удобрений существенно не различаются, за исключением экстремальных условий их применения.

Разница в коэффициентах использования азота удобрений, определяемых разностным методом (60—70%), и действительным с использованием (30—50%) составляет в среднем 20—30% от внесенного. Она характеризует дополнительное усвоение растениями азота почвы при внесении азотных удобрений, которое обусловлено усилением мобилизации азота из почвенного органического вещества. Дополнительным усвоением азота почвы в известной степени компенсирует неполное использование растениями азота непосредственно из внесенных удобрений. Исследования с применением  $^{15}\text{N}$  показали, что значительное количество азота удобрений теряется из почвы, а также закрепляется в ней в органической форме. Биологическое закрепление азота больше из аммонийных удобрений и мочевины (30—40% от внесенного), чем из нитратных (10—20%). Особенно резко оно возрастает при запашке в почву большого количества бедных азотом, но богатых клетчаткой органических веществ (пожнивных растительных остатков и соломы злаковых, соломистого навоза и др.). Закрепившийся в почве в органической форме азот удобрений медленно минерализуется и слабо используется последующими культурами (на 2—3% от внесенного в первый год последствия и еще меньше в последующие годы). Поэтому последствие азотных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур обычно незначительное.

Таким образом, в почве одновременно с минерализацией органического вещества происходит биологическое закрепление почвенного минерального азота и азота удобрений в органическую форму (иммобилизация). При этом азот не теряется, но временно переходит в недоступные растениям органические формы. Соотношение процессов минерализации и иммобилизации играет важную роль в азотном режиме почвы, в значительной степени определяет содержание в ней усвояемых минеральных форм азота и условия азотного питания растений. Значительная часть внесенного азота удобрений теряется из почвы в газообразной форме (в виде  $\text{N}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$ ) в результате денитрификации. Газообразные потери азота больше из нитратных удобрений, чем из аммонийных и мочевины. В полевых условиях в год внесения удобрений эти потери из почвы под растениями в среднем составляют около 20% из аммонийных и около 30% из нитратных удобрений. Из парующей почвы они резко возрастают, достигая 40—50% и более.

Газообразные потери азота удобрений связаны с их нитрификацией в почве и последующей денитрификацией. Интенсивная нитрификация аммонийного азота удобрений способствует также вымыванию его из почвы в виде нитратов, особенно в условиях избыточного увлажнения или при обильном орошении. Однако обычно потери азота удобрения вследствие вымывания нитратов незначительны. Снижение коэффициентов использования и эффективности азотных удобрений обусловлено в основном потерями азота в газообразной форме в результате денитрификации.

Для уменьшения потерь азота и повышения эффективности азотных удобрений важное значение имеет внесение их в оптимальные сроки и в оптимальных дозах и соотношениях с другими удобрениями в сочета-

нии с рациональной системой обработки почвы, севооборотом и правильным режимом орошения.

Одним из путей снижения потерь азота почвы и удобрения вследствие денитрификации и вымывания нитратов, а также устранения опасности загрязнения водных источников и уменьшения количества нитратов в сельскохозяйственной продукции является применение ингибиторов нитрификации. Эти препараты (органические соединения из класса хлорпиридинов и пиримидинов и др.) при внесении в почву в дозе 0,5—2 кг на 1 га вместе с аммонийными удобрениями тормозят нитрификацию в течение 1,5—2 месяцев и сохраняют минеральный азот почвы и удобрений в аммонийной форме. Подавляя нитрификацию азота удобрений, ингибиторы снижают в 1,5—2 раза его потери в газообразной форме и вследствие вымывания нитратов. В результате этого под влиянием ингибиторов, как показали многочисленные опыты, значительно повышается урожай культур и эффективность азотных удобрений. Наиболее эффективно, по имеющимся данным (П. М. Смирнов, Э. А. Муравин, С. Д. Базилевич, 1976), применение ингибиторов нитрификации в районах орошаемого земледелия, особенно под хлопчатник и на рисовых плантациях, а также под другие культуры на легких почвах в зоне достаточного увлажнения.

#### Контрольные вопросы

1. Каковы значение азота для растений, использование его для синтеза белков и динамика потребления растениями?
2. Содержание, формы и превращение азота в почве.
3. Особенности круговорота азота в земледелии.
4. Каков ассортимент азотных удобрений в нашей стране?
5. Что такое нитратные удобрения, их формы, состав, свойства и применение?
6. Твердые аммонийные и жидкие аммиачные удобрения, их свойства и особенности применения.
7. Аммиачная селитра, ее состав, свойства и применение.
8. Мочевина, ее состав, свойства, превращение в почве и применение.
9. Насколько полно используется азот удобрений растениями и каким превращениям он подвергается в почве?

#### ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

##### Значение фосфора для растений, содержание и формы его в почве

Фосфор, как и азот, — важнейший элемент питания растений. Растения поглощают фосфор главным образом в виде анионов ортофосфорной кислоты ( $H_3PO_4$ ). Они могут усваивать фосфор и из солей метафосфорной ( $H_2PO_3$ ) и пирофосфорной кислот (после их гидролиза), а также фосфор некоторых органических фосфатов — фитинглюкозофосфатов и др. (после отщепления от них фосфорной кислоты ферментом фосфатазой, выделяемой корнями). Ортофосфорная кислота, будучи трехосновной, при pH 7—8 и ниже может отдиссоциировать один или два иона  $H^+$ , образуя ионы  $H_2PO_4^-$  и  $HPO_4^{2-}$  (значительно больше первых, чем вторых), которые и поглощаются растениями. Поступившие в растения ионы  $H_2PO_4^-$  (или  $HPO_4^{2-}$ )

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

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

В растительных клетках фосфору принадлежит исключительная важная роль в энергетическом обмене, в разнообразных процессах обмена веществ. Он участвует в углеводном и азотном обмене, в процессах фотосинтеза, дыхания и брожения. Самые разнообразные превращения углеводов в растения начинаются с присоединения фосфорной кислоты к молекулам углеводов или с ее отщепления, т. е. с их фосфорилирования или дефосфорилирования. Для осуществления синтетических процессов особенно большое значение имеют богатые энергией фосфорные соединения, из которых основная роль принадлежит аденозинтрифосфорной кислоте (АТФ). АТФ является главным акцептором энергии, освобождающейся в процессе дыхания, аккумулируемой при фотосинтезе, и основным поставщиком ее для осуществления различных синтетических процессов.

Большая роль фосфора в углеводном обмене обуславливает положительное влияние фосфорных удобрений на накопление сахара в сахарной свекле, крахмала в клубнях картофеля и т. д.

Фосфор играет также важную роль в обмене азотистых веществ в растениях. Восстановление нитратов до аммония, образование аминокислот, их дезаминирование и переаминирование происходят при участии фосфора. Этим определяется тесная связь между азотным и фосфорным питанием растений. При недостатке фосфора нарушается синтез белка и уменьшается содержание его в растениях.

Фосфора, так же как и азота, больше всего содержится в репродуктивных и молодых растущих органах и частях растения, где интенсивно идут процессы синтеза органического вещества (см. табл. 10). Из более старых листьев фосфор может передвигаться к зонам роста и использо-

ваться повторно, поэтому внешние признаки его недостатка проявляются у растений прежде всего на старых листьях.

Растения наиболее чувствительны к недостатку фосфора в самом раннем возрасте, когда их слабо развитая корневая система обладает низкой усвояющей способностью. Отрицательное действие недостатка фосфора в этот период не может быть исправлено последующим даже обильным фосфорным питанием. Начальный период роста является критическим в отношении фосфатного питания, хотя наибольшее поглощение его приходится на период интенсивного роста вегетативных органов. Поэтому снабжение растений легко растворимым фосфором с начала вегетации имеет исключительно важное значение.

Важное значение имеет обеспечение растений фосфором и в период формирования репродуктивных органов. Усиленное питание растений фосфором в это время ускоряет образование репродуктивных органов и созревание растений, повышает урожай и его качество.

Содержание фосфора ( $P_2O_5$ ) в различных почвах колеблется от 0,03 до 0,2%, а общий запас его в пахотном слое от 1000 до 6000 кг на 1 га. Фосфора больше в почвах с высоким содержанием органического вещества (в мощных и обыкновенных черноземах), чем в бедных гумусом почвах (дерново-подзолистых и сероземах). Основное количество фосфора находится в почве в форме минеральных и органических соединений, недоступных для растений.

В материнских породах фосфор содержится в основном в форме фторапатита  $Ca_5F(PO_4)_3$  и гидроксилapatита  $Ca_5OH(PO_4)_3$ . При разрушении этих первичных фосфорсодержащих минералов образуются вторичные минеральные соединения фосфора, представленные различными солями ортофосфорной кислоты. В кислых почвах (дерново-подзолистых и красноземах) образуются фосфаты полуторных окислов  $AlPO_4$  и  $FePO_4$ , а также основные соли железа и алюминия  $Fe_2(OH)_3PO_4$ ,  $Al_2(OH)_3PO_4$ , которые характеризуются очень слабой растворимостью и доступностью для растений. В почвах, насыщенных основаниями (черноземах и сероземах), образуются преимущественно двух- и трехзамещенные фосфаты кальция  $CaHPO_4$  и  $Ca_3(PO_4)_2$ . Они слабо растворимы в воде, но постепенно растворяются находящимися в почвенном растворе угольной, азотной и органическими кислотами, и поэтому их фосфор более доступен для растений, чем апатита и фосфатов полуторных окислов. Во всех почвах присутствуют (но обычно в незначительных количествах) хорошо растворимые в воде однозамещенные фосфаты кальция и магния, а также одно- и двухзамещенные фосфаты калия, натрия и аммония, фосфор которых легко доступен растениям.

В результате деятельности растений и микроорганизмов в почвах накапливаются также органические соединения фосфора. Они представлены нуклеопротеидами, фитином, фосфатидами, сахарофосфатами и другими органическими соединениями, входящими в состав растений и тел микроорганизмов. Доля органических фосфатов от общего содержания  $P_2O_5$  в различных почвах колеблется от 10%

(в дерново-подзолистых почвах и сероземах) до 50% (в черноземах). Органические фосфаты могут усваиваться растениями только после минерализации и отщепления фосфорной кислоты.

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

За вегетационный период растения потребляют из почвы с 1 га в среднем от 20 до 60 кг  $P_2O_5$ , т. е. значительно меньше, чем азота и калия. Больше фосфора содержится в зерне и значительно меньше в соломе, поэтому основная часть усвоенного растениями фосфора вместе с зерном и другой товарной продукцией вывозится из хозяйства и не может быть возвращена в почву с навозом или корневыми и стерневыми остатками. Кроме того, если запасы азота в почве пополняются в результате фиксации азота воздуха, то в отношении фосфора нет других источников для пополнения запасов его в почве, кроме фосфорных удобрений. Эти особенности круговорота фосфора в сравнении с азотом определяют высокую потребность в фосфорных удобрениях и большое значение их для повышения урожая. Потребность в фосфорных удобрениях и их эффективность особенно возрастают при достаточном обеспечении растений азотом.

Фосфорные удобрения в зависимости от растворимости и доступности для растений подразделяются на три группы.

1. Удобрения, хорошо растворимые в воде, — суперфосфат простой и суперфосфат двойной.

2. Удобрения, слабо растворимые в воде, но растворимые в слабых кислотах (2%-ной лимонной кислоте и лимоннокислом аммонии), — преципитат, томасшлак, термофосфаты, обесфторенный фосфат.

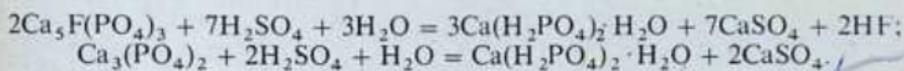
3. Удобрения, нерастворимые в воде, полностью растворимые только в сильных кислотах, — фосфоритная мука, костяная мука.

Источник получения фосфорных удобрений — природные фосфорсодержащие агоруды (фосфориты и апатиты), а также богатые фосфором отходы металлургической промышленности (томасшлак, мартеновские шлаки). Основное значение имеют апатиты и фосфориты.

Фосфорные удобрения производятся путем кислотной и термической переработки фосфатов и содержат фосфор в виде солей ортофосфорной кислоты. Кроме того, некоторые сложные фосфорсодержащие удобрения получают на основе полифосфорных (суперфосфорных) кислот. В ассортименте фосфорных удобрений, выпускаемых в нашей стране, наибольшая доля приходится на концентрированные формы — двойной суперфосфат (24%) и сложные удобрения — аммофос (34%), нитроаммофоска (15%), производство которых постоянно расширяется.

## Суперфосфат

Суперфосфат простой получается обработкой размолотого апатита или фосфорита разбавленной серной кислотой. На одну часть сырья берется такое же количество (по массе) серной кислоты. При этом происходит разложение труднорастворимых фосфатов (apatита или фосфорита) с образованием водорастворимого однозамещенного фосфата кальция  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  и гипса  $\text{CaSO}_4$ , нерастворимого в воде:



Образующийся гипс остается в составе удобрения, составляя около 40% его массы. Поэтому концентрация фосфора в суперфосфате почти вдвое меньше, чем в исходном сырье. По этой причине низкопроцентные фосфориты не используются для изготовления суперфосфата, его получают преимущественно из апатитового концентрата (более 80% всего производства), а также более высокопроцентных фосфоритов.

Простой суперфосфат, получаемый из апатита, содержит 19—20% фосфора в расчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ , а из фосфоритов — 14—16%. Большая часть фосфора в суперфосфате содержится в виде монофосфата кальция, кроме того, некоторое количество фосфора находится в виде свободной фосфорной кислоты, которая составляет 5—5,5% его массы (и обуславливает кислую реакцию удобрения) и небольшое количество — в виде дикальциевого фосфата  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , а также трехкальциевого фосфата и фосфатов железа и алюминия. Суперфосфат оценивается по содержанию в нем усвояемого фосфора, т. е. растворимого в воде и цитратном растворе (аммиачный раствор лимоннокислого аммония). Усвояемый фосфор в суперфосфате составляет 88—98% от общего содержания.

Простой суперфосфат выпускают в основном в гранулированном виде с размером гранул 2—4 мм. Негранулированный порошковидный суперфосфат имеет неудовлетворительные физические свойства, при высокой влажности воздуха отсыревает, мажется, ухудшается его рассеиваемость.

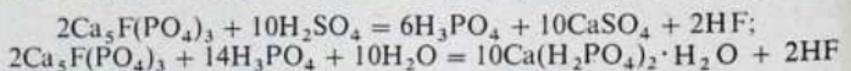
Гранулированный суперфосфат обладает хорошими физическими свойствами: не слеживается, сохраняет хорошую рассеиваемость. При гранулировании свободную фосфорную кислоту нейтрализуют (известью или аммиаком) и суперфосфат высушивают, поэтому содержание воды в нем снижено (против исходного порошковидного) с 15—16% до 1—4%, содержание  $\text{H}_3\text{PO}_4$  — с 5—5,5% до 1—1,5%. Содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  около 20%.

При нейтрализации свободной кислотности суперфосфата аммиаком получают аммонизированный суперфосфат,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , с содержанием азота около 1,5—3%.

Двойной суперфосфат в отличие от простого не содержит гипса, поэтому имеет высокое содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 42—49%. Фосфор содержится в нем в виде водорастворимого монофосфата кальция

$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и небольшого количества (4,5—5,7%) свободной фосфорной кислоты.

При производстве двойного суперфосфата апатит (или фосфорит) обрабатывают серной кислотой. Берут ее больше, чем при производстве простого суперфосфата, с тем чтобы получить не монофосфат кальция, а фосфорную кислоту, которой затем обрабатывают новую порцию сырья, и получают двойной суперфосфат  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ :



Двойной суперфосфат готовится в гранулированном виде. Производство его как высококонцентрированного и транспортабельного удобрения имеет особенно большое значение для районов, удаленных от туковых заводов.

Химические и физические свойства, применение и эффективность двойного суперфосфата такие же, как и простого. Только при систематическом внесении под культуры с повышенной потребностью в сере (крестоцветные, клевер и другие бобовые) эффективность его может быть ниже, чем простого суперфосфата, содержащего  $\text{CaSO}_4$ , особенно в районах со слабой обеспеченностью серой. В этом случае применение двойного суперфосфата рекомендуется сочетать с внесением азотных и калийных удобрений, содержащих серу [ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ], или вносить гипс в качестве удобрения.

В почве суперфосфат вступает в химическое взаимодействие полуторными окислами, карбонатами кальция и магния (или поглощенным кальцием) и превращается в нерастворимые в воде фосфаты менее доступные для растений, т. е. подвергается химическому поглощению — «ретроградации». В почвах, насыщенных основаниями — черноземах и особенно сероземах и других карбонатных почвах, — образуются двухзамещенный и слаборастворимый трехзамещенный фосфаты кальция (см. стр. 71).

В кислых дерново-подзолистых почвах и красноземах, содержащих большое количество подвижных форм полуторных окислов, образуются фосфаты алюминия и железа, слабо доступные для растений. Чем больше в почве подвижных форм полуторных окислов, тем сильнее происходит химическое поглощение фосфорной кислоты суперфосфата. В результате этого уменьшается использование фосфора растениями и снижается его эффективность.

Суперфосфат вследствие химического поглощения почти полностью закрепляется в месте его внесения и очень слабо передвигается в почве. При внесении в качестве основного удобрения суперфосфат следует заделывать под плуг, с тем чтобы удобрение находилось в более глубоком и постоянно влажном слое почвы, где размещается основная масса деятельных корней растений.

При мелкой заделке суперфосфата (под культиватор или борону) основная масса удобрения оказывается в самом верхнем слое почвы, который быстро высыхает. Корни в этом слое отмирают, поэтому фосфор удобрения хуже используется растениями.

В качестве основного удобрения суперфосфат лучше вносить с осени под зяблевую вспашку (особенно в засушливых районах) или весной под перепашку зяби.

Связывание суперфосфата почвой происходит сильнее при более полном контакте удобрения с почвой (разбросное внесение, мелкие размеры частиц). Фосфор гранулированного суперфосфата слабее закрепляется почвой вследствие меньшего контакта с ней гранул удобрения по сравнению с очень мелкими частицами порошковидного суперфосфата.

Закрепление фосфора гранулированного суперфосфата почвой особенно снижается при местном внесении его в рядки или гнезда при посеве, а также при ленточном внесении до посева специальными машинами. В этом случае удобрение смешивается с меньшим объемом почвы, чем при разбросном внесении.

Эффективность гранулированного суперфосфата при одинаковых способах внесения (как при разбросном внесении с глубокой заделкой в почву до посева, так и при местном внесении в рядки или лунки) значительно выше, чем порошковидного, особенно на кислых почвах.

Высокая эффективность суперфосфата при местном внесении в рядки (гнезда или лунки) при посеве обуславливается не только меньшим закреплением его в почве, но и тем, что удобрение при этом оказывается в непосредственной близости к прорастающим семенам, поэтому создаются благоприятные условия питания растений фосфором с самого раннего периода роста.

В рядки при посеве зерновых и сахарной свеклы доза суперфосфата на 1 га составляет 10—15 кг  $P_2O_5$ ; в лунки при посадке картофеля и овощных культур — 15—20 кг  $P_2O_5$ ; при посеве кукурузы — 4—8 кг  $P_2O_5$ . По данным большого количества полевых опытов, внесение на 1 га 0,5 ц простого гранулированного суперфосфата в рядки при посеве зерновых обеспечивает получение прибавок урожая зерна озимых в среднем 2,5—3 ц на 1 га, а яровых зерновых культур — 2—2,5 ц на 1 га. Оплата 1 кг фосфора прибавкой урожая зерна при внесении суперфосфата в рядки в 2—4 раза больше, чем при сплошном внесении до посева. Поэтому припосевное внесение суперфосфата под зерновые культуры должно получить самое широкое применение, особенно в тех районах, где обеспеченность фосфорными удобрениями еще низкая.

При посеве зерновых, льна, сахарной свеклы и овощных культур гранулированный суперфосфат вносят в рядки или гнезда.

Коэффициент использования фосфора из суперфосфата при допосевном его применении вразброс под вспашку в год внесения составляет 10—15% внесенного количества, а при рядковом внесении возрастает в 1,5—2 раза. Оставшийся в почве не использованный растениями в первый год фосфор суперфосфата частично усваивается в последующие годы. Поэтому суперфосфат оказывает положительное действие на урожай не только первой культуры, но и последствие на две-три последующие культуры. Суммарный коэффициент использования фосфора суперфосфата за ротацию севооборота составляет в среднем 30—40%. Припосевное внесение суперфосфата, хотя и является

наиболее эффективным приемом, обеспечивающим наибольшую отдачу единицы удобрения прибавкой урожая, но для получения высоких урожаев зерновых, а также сахарной свеклы, кукурузы, картофеля, овощных и других культур только припосевного удобрения недостаточно. Для этого необходимо сочетать применение суперфосфата с основным удобрением с заделкой под плуг с внесением небольшой дозы в рядки или лунки при посеве. Такое послышное внесение суперфосфата обеспечивает получение наиболее высокого урожая.

В этом случае хорошие условия питания растений фосфором создаются как в начале роста (за счет рядкового удобрения), так и последующие периоды (за счет основного удобрения, внесенного под плуг). Однако на почвах с высоким содержанием подвижного фосфора или при внесении очень высоких доз фосфорных удобрений до посева применение небольшого количества суперфосфата в рядки при посеве может и не давать эффекта.

### Преципитат, томасшлак, термофосфаты, обесфторенный фосфат

Преципитат, двухзамещенный фосфат кальция,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  содержит от 27 до 35%  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Получается путем кислотной переработки фосфатов при осаждении извлеченной фосфорной кислоты известковым молоком или мелом:  $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Преципитат получается также как отход при желатиновом производстве.

Фосфор преципитата нерастворим в воде, но растворяется в лимоннокислом аммонии и хорошо усваивается растениями. Удобрение обладает хорошими физическими свойствами: не слеживается, сохраняет хорошую рассеиваемость, может смешиваться с любым удобрением. Преципитат можно применять в качестве основного удобрения по различным культурам на всех почвах. Он меньше, чем суперфосфат, закрепляется в почве, поэтому более эффективен на богатых полуторфными окислами кислых дерново-подзолистых почвах и карбонатных сероземах. На черноземах преципитат близок по эффективности к суперфосфату.

Томасшлак — побочный продукт при переработке богатых фосфором чугунов на железо и сталь по щелочному способу Томаса. При плавлении чугуна в шихту добавляют известь ( $\text{CaO}$ ), которая связывает получившийся при окислении фосфора фосфорный ангидрид ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) с образованием кальциевой соли фосфорной кислоты. Эта соль вместе с кремнекислым кальцием и другими примесями всплывает на поверхность металла в виде шлака, который после охлаждения размалывается в тонкую муку (85% удобрения должно проходить через сито с диаметром отверстий 0,175 мм).

Томасшлак — тяжелый, тонкий порошок темного цвета. Содержит от 14 до 20%  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Фосфор в нем находится в основном в виде тетракальциевого фосфата  $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9$ , а также двойной соли тетракальциевого фосфата и кремнекислого кальция  $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9 \cdot \text{CaSiO}_3$ . Эти соединения

растворимы в 2%-ной лимонной кислоте, и их фосфор доступен для растений. Согласно стандарту, содержание лимоннорастворимой  $P_2O_5$  должно быть не менее 14%. Кроме того, в томасшлаке содержатся Fe, Mg, Mn и микроэлементы.

Томасшлак можно применять в качестве основного удобрения на всех почвах. По эффективности не уступает суперфосфату, но более высокий эффект дает на дерново-подзолистых кислых почвах, где действует лучше суперфосфата, так как содержит тетракальциевый фосфат и свободную окись кальция (10—12% CaO), которые уменьшают почвенную кислотность. Томасшлак нельзя смешивать с аммонийными удобрениями.

В качестве удобрения используются также мартеновские шлаки (фосфатшлаки), которые получают как отход при выплавке стали по мартеновскому способу из фосфористых руд. Содержат от 10 до 15%  $P_2O_5$ . По агрохимическим свойствам и эффективности близки к томасшлаку.

**Термофосфаты** получают сплавлением или спеканием размолотого фосфорита или апатита с щелочными солями — содой, поташом, сульфатами калия и натрия или со щелочными природными калиевыми силикатами. При этом образуются усвояемые растениями кальциево-натриевые или кальциево-калиевые фосфорнокислые соли.

Термофосфаты содержат от 18 до 34%  $P_2O_5$ . Фосфор термофосфатов нерастворим в воде, но 85% его растворяется в 2%-ной лимонной кислоте, т. е. находится в усвояемой форме. По свойствам и эффективности они близки к томасшлаку. Могут применяться для основного удобрения на всех почвах, но как щелочные удобрения эффективнее на кислых почвах.

**Магниевые плавные фосфаты** получают при сплавлении фосфорита или апатита с силикатами магния. Они содержат около 20% усвояемой лимоннорастворимой  $P_2O_5$  и 8—14% MgO, особенно эффективны на бедных магнием песчаных и супесчаных почвах. Термофосфаты нельзя смешивать с аммонийными удобрениями.

**Обесфторенный фосфат** получают из апатита путем обработки водяным паром смеси апатита с небольшим количеством песка (2—3%  $SiO_2$ ) при температуре 1450—1550°C. При этом разрушается кристаллическая решетка фторапатита и удаляется фтор, а фосфор переходит в усвояемую (лимоннорастворимую) форму.

Общее содержание  $P_2O_5$  в обесфторенном фосфате 34—36%, в том числе лимоннорастворимой  $P_2O_5$  28—32%. Удобрение негигроскопично, не слеживается.

Обесфторенный фосфат, так же как томасшлак и термофосфаты, нельзя смешивать в аммонийными удобрениями. Может применяться как основное удобрение на всех почвах. На дерново-подзолистых и черноземных почвах не уступает по эффективности суперфосфату. Используется также в животноводстве для минеральной подкормки животных.

## Фосфоритная мука

Получается путем размола фосфорита до состояния тонкой муки. Фосфор в ней содержится в виде соединений фторапатита  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 7\text{CaF}_2$ , гидроксил-апатита  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ , карбонат-апатита  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$ , то есть находится в форме трехзамещенного фосфата кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Эти соединения нерастворимы в воде и слабых кислотах и непосредственно слабодоступны для большинства растений.

Фосфоритная мука негигроскопична, не слеживается, может смешиваться с любым удобрением, кроме извести. Туковая промышленность выпускает четыре сорта фосфоритной муки с общим содержанием  $\text{P}_2\text{O}_5$ : высший сорт — 30%, 1-й сорт — 25%, 2-й сорт — 22%, 3-й сорт — 19%.

Для изготовления фосфоритной муки могут быть использованы низкопроцентные фосфориты, непригодные для химической переработки в суперфосфат.

Фосфоритная мука — самое дешевое фосфорное удобрение. В общем производстве фосфорных удобрений она занимает второе место после суперфосфата. Возможность использования фосфоритной муки в качестве непосредственного удобрения была детально обоснована отечественными агрохимиками А. Н. Энгельгардтом, Д. Н. Прянишниковым, А. Н. Лебеядцевым, Б. А. Голубевым, Ф. В. Чириковым и др.

Эффективность фосфоритной муки зависит от состава фосфоритов, тонины помола, особенностей растений, свойств почвы и сопутствующих удобрений. Фосфор из фосфоритов желвакового типа, более молодых по геологическому возрасту и не имеющих хорошо выраженного кристаллического строения, доступнее для растений. При их размоле получается мука, пригодная для непосредственного удобрения. Фосфориты более древнего происхождения, имеющие кристаллическое строение (например, фосфориты Каратау), труднодоступны для растений и поэтому непригодны для приготовления фосфоритной муки.

Эффективность фосфоритной муки увеличивается с повышением тонины помола. Чем тоньше частицы, тем больше их поверхность и соприкосновение с почвой, лучше происходит разложение фосфоритной муки под действием почвенной кислотности до усвояемых растениями соединений. Значение тонины помола для повышения эффективности фосфоритной муки особенно велико на почвах, имеющих недостаточную кислотность для ее разложения, на оподзоленных и выщелоченных черноземах. По стандарту не менее 80% фосфоритной муки должно проходить через сито с размером ячеек 0,18 мм.

Различные растения отличаются по их способности усваивать фосфор труднорастворимых фосфатов, таких, как  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Лишь немногие растения — люпин, горчица, гречиха и отчасти эспарцет, горох и конопля — могут усваивать фосфор фосфоритной муки при нейтральной реакции почвенного раствора, т. е. без предварительного

разложения ее под действием почвенной кислотности. В лаборатории Д. Н. Прянишникова было установлено, что выделения корней люпина (рН 4—5) сильно подкисляют почву, это оказывает растворяющее действие на трехзамещенный фосфат, способствует переводу его в усвояемую форму.

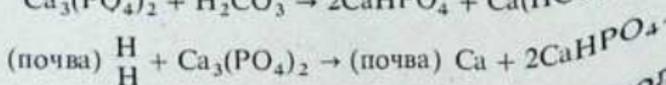
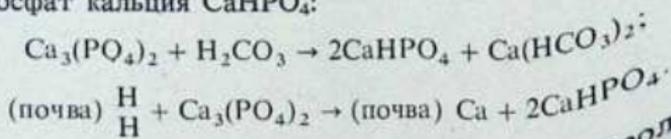
Исследования Ф. В. Чирикова показали, что у ряда растений, способных усваивать фосфор из фосфорита, отношение  $\text{CaO} : \text{P}_2\text{O}_5$  в золе больше 1,3, а у растений, неспособных его усваивать, меньше 1,3. Значительно большее потребление растениями кальция по сравнению с фосфором приводит к обеднению питательной среды кальцием, в результате чего облегчается переход  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  в усвояемую форму.

Большинство растений — все злаки, лен, свекла, картофель — могут использовать фосфорит только при определенной кислотности почвы, достаточной для его разложения, поэтому на почвах с нейтральной реакцией (обыкновенных, мощных и южных черноземах) применение фосфоритной муки малозффективно. На кислых дерново-подзолистых и серых лесных почвах, красноземах и выщелоченных черноземах она не уступает по эффективности суперфосфату при внесении в удвоенной норме (табл. 30).

30. Влияние суперфосфата и фосфоритной муки на урожай зерна озимой ржи в зависимости от почв (по данным 1086 полевых опытов)

Почвы	Прибавки урожая зерна			
	от суперфосфата (45 кг $\text{P}_2\text{O}_5$ на 1 га)		от фосфоритной муки (90 кг $\text{P}_2\text{O}_5$ на 1 га)	
	ц на 1 га	%	ц на 1 га	%
Подзолистые	3,5	38	3,1	33
Серые лесные	2,6	23	2,1	19
Черноземы:				24
деградированные и выщелоченные	3,7	28	3,3	16
мощные	4,1	25	2,6	8
обыкновенные	3,6	24	1,3	

В разложении фосфоритной муки участвует не только актуальная, но и потенциальная кислотность. Под влиянием почвенной кислотности фосфоритная мука превращается в усвояемый растениями двухзамещенный фосфат кальция  $\text{CaHPO}_4$ :



Исследования показали, что на почвах, имеющих гидролитическую кислотность меньше 2—2,5 м.- экв. на 100 г, разложение фосфоритной муки происходит слабо и эффективность ее очень низкая. Чем больше гидролитическая кислотность, тем выше эффективность фосфоритной муки. Однако действие ее зависит не только от величины гидролитической кислотности, но и от величины потенциальной кислотности.

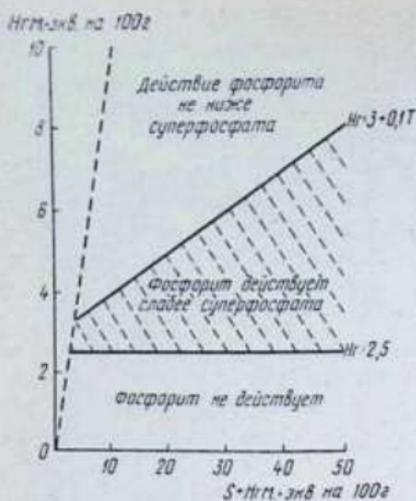


Рис. 11. Схема, показывающая зависимость действия фосфоритной муки от гидролитической кислотности ( $H_2$ ) и емкости поглощения ( $T$ ) почвы.

лучше заблаговременно, с осени, и обязательно с глубокой заделкой под плуг. Разложение фосфоритной муки в почве и ее эффективность тем выше, чем лучше контакт между частицами удобрения и почвы.

Наибольший эффект она дает при внесении вместе с навозом в пару под озимые культуры, а также под пропашные культуры — сахарную свеклу, картофель, кукурузу и др.

Положительное действие фосфоритной муки на урожай сельскохозяйственных культур продолжается в течение нескольких лет. Чем большая норма внесения фосфоритной муки, тем выше и продолжительнее ее действие. Действие ее в первый год после внесения из-за медленного растворения в почве часто ниже, чем в последующие годы (последствие). По своему последствию она обычно превосходит суперфосфат и другие водорастворимые фосфорные удобрения. Вносить ее рекомендуется более высокими нормами (5—7 ц на 1 га). Положительные результаты дает внесение фосфоритной муки в запас на 4—5 лет (в норме от 1 до 3 т на 1 га).

Для повышения эффективности фосфоритной муки большое значение имеют сопутствующие удобрения. Эффективность ее заметно повышается при внесении вместе с навозом и особенно при компостировании с навозом или кислым торфом. Хороший эффект дает внесение фосфоритной муки до посева под вспашку в сочетании с небольшой дозой гранулированного суперфосфата в рядки или гнезда при посеве.

Фосфоритную муку вносят пневматическими разбрасывателями типа цементовозов. Из-за тонкого помола она сильно пылит при

почвы, но и от емкости поглощения ( $T$ ) и степени насыщенности основаниями ( $V$ ). При одной и той же гидролитической кислотности действие фосфоритной муки тем выше, чем меньше емкость поглощения почвы ( $T$ ), а следовательно, и степень насыщенности ее основаниями (рис. 11).

Норма фосфоритной муки также устанавливается в зависимости от кислотности почвы. На сильнокислых почвах (рН 5,0 и меньше) можно вносить фосфоритную муку в той же норме, что и суперфосфат, а на слабокислых почвах — в двойной и даже тройной норме. На ранее произвесткованных почвах эффективность фосфоритной муки снижается.

Фосфоритная мука применяется как основное удобрение, вносить ее

внесении (это серьезно затрудняет применение фосфоритной муки в сельском хозяйстве), что приводит к большим потерям удобрения и снижает ее эффективность.

### Контрольные вопросы

1. Какова роль фосфора и основные формы его соединений в растении?
2. В виде каких соединений содержится фосфор в почве?
3. На какие основные группы подразделяются фосфорные удобрения?
4. Что служит сырьем для производства фосфорных удобрений? Назовите основные месторождения фосфорсодержащих агоруд.
5. Что такое суперфосфат простой и двойной, их состав, свойства, превращения в почве и применение?
6. Какие вы знаете приемы повышения эффективности суперфосфата?
7. Преципитат, томашлак, термофосфаты и обесфторенный фосфат, их состав, свойства и применение.
8. Фосфоритная мука, ее состав, свойства и особенности применения. Пути повышения ее эффективности.
9. Что необходимо учитывать при применении фосфорных удобрений, определении способов их внесения?

### КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

#### Значение калия для растений и содержание его в почве.

Калий наряду с азотом и фосфором является одним из основных необходимых элементов минерального питания. В отличие от азота и фосфора он не входит в состав каких-либо органических соединений в растении, а находится в клетках растения в ионной форме, в виде растворимых солей в клеточном соке и частично в виде непрочных адсорбционных комплексов с коллоидами цитоплазмы.

Значительно больше калия содержится в молодых жизнедеятельных частях и органах растения, чем в старых. При недостатке калия в питательной среде происходит отток его из более старых органов и тканей в молодые растущие органы, где подвергается повторному использованию (реутилизации).

Физиологические функции калия в растительном организме весьма разнообразны. Он оказывает положительное влияние на физическое состояние коллоидов цитоплазмы, повышает их обводненность, набухаемость и вязкость, что имеет большое значение для процессов обмена веществ в клетках, а также для повышения устойчивости растений к засухе. При недостатке калия и усилении транспирации растения быстрее теряют тургор и завядают. При хорошем обеспечении калием повышается способность растений удерживать воду и они лучше переносят кратковременную засуху.

Доказано положительное влияние калия на интенсивность фотосинтеза, окислительных процессов и образование органических кислот в растении, его участие в углеводном и азотном обмене. При недостатке калия синтез белка в растении тормозится, в результате чего происходит нарушение всего азотного обмена.

Недостаток калия особенно сильно проявляется при питании растений аммонийным азотом. Внесение высоких доз аммиачного

азота при недостатке калия приводит к накоплению в растениях большого количества переработанного аммиака, оказывающего вредное действие на растение. При внесении калийных удобрений аммиачный азот быстрее используется для синтеза аминокислот и вредное действие его устраняется.

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

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

Под влиянием калия повышается морозоустойчивость растений, что связано с большим содержанием сахаров и увеличением осмотического давления в клетках.

При достаточном калийном питании повышается устойчивость растений к различным заболеваниям, например у зерновых хлебов — к мучнистой росе и ржавчине, у овощных культур, картофеля и корнеплодов — к возбудителям гнилей. Калий способствует развитию механических элементов, сосудистых пучков и лубяных волокон, поэтому положительно влияет на прочность стеблей и устойчивость растений к полеганию, на выход и качество волокна льна и конопли.

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

Явные внешние признаки калийного голодания проявляются у растений при снижении содержания в них калия в 3—5 раз против нормального.

Калия обычно всегда больше в вегетативных органах, чем в семенах, корнях и клубнях. Относительное содержание калия в листьях подсолнечника, табака, сахарной свеклы и других корнеплодов, картофеля составляет 4—6% на сухую массу, в соломе злаков — 1—1,5%, лубяных культур — 0,5—1%, капусте — до 0,5%. В семенах зерновых калий содержится около 0,5%, клубнях картофеля, корнеплодах — 0,3—0,6% (см. табл. 10).

При высоких урожаях растения потребляют из почвы большое количество калия: зерновые — около 60—80 кг  $K_2O$  с 1 га, а картофель, сахарная свекла, овощные культуры — 150—250 кг с 1 га. Из всех зольных элементов калий потребляется растениями в наибольшем количестве. Особенно много потребляют калия подсолнечник, гречиха, картофель, свекла, капуста и другие овощные культуры. Меньше потребляют калия зерновые культуры — рожь, пшеница, ячмень, овес.

Содержание калия ( $K_2O$ ) в разных почвах колеблется от 0,5 до 3% и зависит от их механического состава. Больше содержится калия в илистой фракции почвы. Поэтому тяжелые глинистые и суглинистые почвы богаче калием, чем песчаные и супесчаные. Очень бедны калием торфянистые почвы (0,03—0,05%). В большинстве культурных сугли-

нистых почв калия содержится 2—2,5%, т. е. значительно больше, чем азота и фосфора.

Общий запас  $K_2O$  в пахотном слое почвы 50—75 тыс. кг на 1 га, но основная часть калия (98—99%) находится в почве в форме соединений, нерастворимых и малодоступных для растений. По степени подвижности и доступности для растений содержащиеся в почве соединения калия можно подразделить на следующие основные формы.

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

Калий полевых шпатов мало доступен для растений. Однако под влиянием воды и растворенной в ней углекислоты, изменений температуры почвы и деятельности почвенных микроорганизмов происходит постепенное разложение этих минералов с образованием растворимых солей калия. Калий слюд (мусковита и биотита) более доступен растениям.

2. Калий обменный, поглощенный почвенными коллоидами, составляет не более 0,5—1,5% от общего содержания этого элемента в почве. Ему принадлежит основное значение в питании растений. Хорошая доступность обменного калия для растений обусловливается способностью его при обмене с другими катионами легко переходить в раствор, из которого он усваивается растениями. При усвоении растениями калия из раствора новые порции его переходят из поглощенного состояния в почвенный раствор, но по мере использования обменного калия этот процесс все более замедляется, а остающийся калий все прочнее удерживается в поглощенном состоянии.

Содержание обменного калия может служить показателем степени обеспеченности почвы усвояемым калием. Обыкновенные и мощные черноземы и сероземы богаче обменным калием, чем дерново-подзолистые почвы, особенно песчаные и супесчаные.

3. Водорастворимый калий представлен различными солями, растворенными в почвенной влаге (нитраты, фосфаты, сульфаты, хлориды, карбонаты калия), которые непосредственно усваиваются растениями. Содержание его в почве обычно незначительное (около 10% от количества обменного), так как из раствора калий немедленно переходит в поглощенное состояние и потребляется растениями.

В некоторых почвах водорастворимый калий (а также калий внесенных в почву удобрений) может поглощаться (фиксироваться) в необменной форме, в результате чего резко снижается доступность его для растений. Необменная фиксация калия, как и иона аммония, наиболее сильно выражена в черноземах и сероземах, в особенности при их попеременном увлажнении и высушивании. Необменно фиксированного калия содержится обычно в почвах больше, чем обменного, но он хуже доступен растениям.

Круговорот калия в хозяйстве сильно отличается от азота и фосфора. У зерновых культур калия содержится больше в соломе, чем в зерне. Поэтому при полном использовании соломы в корм и на

подстилку скоту большая часть калия с навозом снова возвращается в почву. Рациональное и полное использование навоза имеет в связи с этим очень большое значение для обеспечения растений калием.

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

Для производства калийных удобрений используют природные месторождения калийных солей — хлористых (карналлита и сильвинита) и сернокислых (шенита, лангбейнита и каинита). Кроме природных месторождений, в качестве источника калийных солей могут использоваться некоторые отходы промышленности.

В ассортименте выпускаемых в нашей стране калийных удобрений преобладает высококонцентрированный хлористый калий (около 80% от валового производства калийных удобрений) и 40%-ная калийная соль (4%). Сульфат калия производится в ограниченных количествах. Кроме того, выпускаются магниесодержащие калийные удобрения — калимагнезия и хлор-калий-электролит. Относительно небольшая часть калия (5% в 1975 г. и до 15% в 1980 г.) производится в виде комплексных удобрений.

В качестве калийных удобрений в сельском хозяйстве используются также, но в очень ограниченных масштабах сырые калийные соли, цементная пыль и нефелиновые хвосты.

### Сырые калийные соли

Сырые калийные соли, получаемые размолотом природных калийных солей, характеризуются низким содержанием калия и большим количеством примесей, что значительно увеличивает расходы на транспортировку и внесение. Поэтому применять сырые калийные соли целесообразно лишь вблизи месторождений калийных руд. Наиболее распространены из сырых калийных солей сильвинит и каинит. Они содержат большое количество хлора (в сильвините, например, более 4 кг хлора на 1 кг  $K_2O$ ), что также ограничивает их применение. Особенно чувствительны к избытку хлора табак, цитрусовые, виноград, лен, конопля, гречиха, картофель и другие культуры.

Сильвинит  $nKCl + nNaCl$  содержит 14—18%  $K_2O$ , 34—38%  $Na_2O$  и 52—55%  $Cl$ . Выпускается в грубом размолотом (размер кристаллов 1—5 мм и более). По внешнему виду представляет смесь крупных разноцветных кристаллов белого, розового, бурого и синего цвета, хорошо растворим в воде. Обладает незначительной гигроскопичностью, но при хранении во влажном помещении отсыревает, а при подсушивании слеживается.

Сильвинит вносят в основное удобрение с осени под зяблевую вспашку. При этом значительная часть хлора вымывается в нижние слои почвы, а калий поглощается почвой.

Содержание большого количества натрия в сильвините (на 1 кг  $K_2O$  — 2,5 кг  $Na_2O$ ) полезно для свеклы, кормовых и столовых

корнеплодов, некоторых овощных культур, для которых он является хорошим удобрением.

**Каинит**  $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$  с большой примесью  $NaCl$ ; содержит 10—12%  $K_2O$ , около 8%  $MgO$ , около 40%  $Cl$  и 35%  $Na_2O$ . Получается при размолке каинитовой или каинито-лангбейнитовой породы. Так же как и сильвинит, применяется в качестве основного удобрения. Благодаря примеси  $MgSO_4$  и  $NaCl$  внесение каинита под сахарную свеклу и другие корнеплоды, капусту, клевер дает хорошие результаты, особенно на бедных калием и магнием легких почвах.

### Концентрированные калийные удобрения

**Хлористый калий** ( $KCl$  с небольшой примесью  $NaCl$ ) содержит от 58 до 62%  $K_2O$ . Получается из сильвинита путем отделения  $KCl$  и  $NaCl$ , которое основано на различной растворимости этих солей с повышением температуры. Растворимость  $KCl$  с повышением температуры от 20 до 100°C возрастает более чем вдвое, в то время как растворимость  $NaCl$  существенно не изменяется.  $KCl$  из размолотого сильвинита растворяется при температуре 110°C в насыщенном растворе  $NaCl$ , а затем при охлаждении выпадает в осадок. В результате получают мелкокристаллический  $KCl$ , который при хранении сильно слеживается. Грануляция продукта улучшает физические свойства удобрения.

В настоящее время внедряют новые способы получения хлористого калия из сильвинита — флотационный и гидроциклонный, более дешевые и одновременно позволяющие улучшить физические свойства удобрения. По методу флотации для отделения  $KCl$  от  $NaCl$  в сильвините добавляются поверхностно-активные вещества (амины), которые адсорбируются только на поверхности зерен  $KCl$  и при интенсивной продувке кристаллы его всплывают, а кристаллы  $NaCl$  — оседают. Флотационный хлористый калий имеет более крупные естественные кристаллы розового цвета. Реагенты, удержанные поверхностью кристаллов  $KCl$ , резко уменьшают гигроскопичность и слеживаемость удобрения.

Гидроциклонный метод основан на разделении  $KCl$  и  $NaCl$  по плотности в аппарате «гидроциклон». При этом получается крупнокристаллический хлористый калий (размер кристаллов до 4—6 мм), который при хранении меньше слеживается.

Хлористый калий — основное калийное удобрение. Он содержит в 4—5 раз меньше хлора, чем сильвинит, и может применяться под все культуры и на любых почвах.

**40%-ная калийная соль** получается механическим смешиванием хлористого калия с тонкоизмельченным сильвинитом или каинитом. По составу и свойствам занимает промежуточное положение между сильвинитом и хлористым калием. Содержание хлора и натрия в ней больше, чем в хлористом калии, но меньше, чем в сильвините. Калийная соль наиболее эффективна для сахарной свеклы и кормовых корнеплодов, которые положительно реагируют на натрий и мало чувствительны к хлору. Для культур, чувствительных к избытку хлора, она менее

пригодна, чем хлористый калий. Вносится калийная соль в качестве основного удобрения с глубокой заделкой под плуг, лучше с осени под зябь.

Сульфат калия (сернокислый калий)  $K_2SO_4$  содержит не менее 48%  $K_2O$ . По внешнему виду — мелкокристаллическая соль сероватого цвета, растворимая в воде. Получается путем выделения  $K_2SO_4$  из природных сульфатных калийных солей (лангбейнитовой породы Прикарпатского месторождения).

Сульфат калия имеет хорошие физические свойства, негигроскопичен, не слеживается. Может применяться на любых почвах и под все культуры, но особенно пригоден для культур, чувствительных к хлору (табак, виноград, цитрусовые, лен, картофель и др.).

Производство сульфата калия обходится дорого, поэтому он занимает незначительный удельный вес среди калийных удобрений.

Калимагнезия  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$  содержит 28—30%  $K_2O$  и 8—10%  $MgO$ . Получается в небольших количествах из природных сульфатных калийных солей Прикарпатского месторождения путем их перекристаллизации. Калимагнезия — хорошее удобрение для культур, чувствительных к хлору и потребляющих наряду с калием много магния (картофель, лен, клевер), особенно на бедных калием и магнием песчаных и супесчаных почвах.

#### Отходы промышленности

Хлор-калий-электролит — отход, получаемый при производстве магния из солянокислого карналлита, содержит от 32 до 45%  $K_2O$ , кроме того, 6—8%  $MgO$ , 6—8%  $Na_2O$  и до 50%  $Cl$ . В качестве основного удобрения при внесении с осени может применяться под все культуры.

Углекислый калий-поташ ( $K_2CO_3$ ) содержит 52—55%  $K_2O$ . Получается как отход алюминиевого производства из нефелина. Хорошее удобрение для культур, чувствительных к хлору, а также на кислых почвах, потому что имеет щелочную реакцию и частично нейтрализует их кислотность. Однако поташ обладает плохими физическими свойствами — сильно гигроскопичен, расплывается или слеживается, плохо рассеивается. Перед внесением рекомендуется смешивать его с сухим торфом в отношении 1 : 1.

Цементная пыль содержит от 14 до 35%  $K_2O$  в форме карбонатов, бикарбонатов и сульфата калия, а также 19%  $CaO$ , 3—4%  $MgO$  и около 1%  $Na_2O$ . По своей эффективности при внесении под чувствительные к бытку хлора культуры — картофель, лен и гречиху — не уступает сульфату калия. Неблагоприятные физические свойства (цементная пыль пылит и гигроскопична) могут устраняться путем грануляции.

Нефелиновые хвосты — тонкоизмельченный нефелин, отход при производстве апатитового концентрата из Кольских апатитов. Содержат 5—6%  $K_2O$  и другие основания (10—13%  $Na_2O$  и 8—10%  $CaO$ ). Низкое содержание калия в нефелине исключает его перевозку на далекие расстояния. Применение нефелиновых хвостов эффективно на распространенных в зоне месторождения кислых торфяных почвах.

**Зола**, получающаяся после сжигания древесины или соломы. Содержит калий, фосфор, кальций и ряд микроэлементов и является ценным калийно-фосфорным и известковым местным удобрением (табл. 31).

31. Содержание калия, фосфора и кальция в золе, %

Виды зола	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
Зола лиственных пород	10,0	3,5	30,0
» хвойных пород	6,0	2,5	35,0
» соломы ржаной	16,2	4,7	8,5
» соломы гречишной	35,3	2,5	18,5
» подсолнечника	36,3	2,5	18,5
» навоза, кизняка	11,0	5,0	9,0
» торфа	1,0	1,2	20,0
» каменного угля	2,0	1,0	—

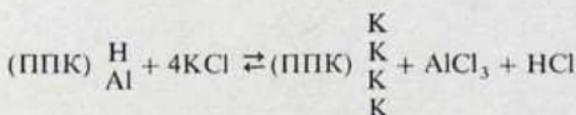
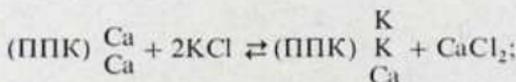
Калий в золе содержится в виде углекислого калия K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, хорошо растворимого в воде. Эта форма калия лучшая для всех культур, особенно чувствительных к хлору. Наиболее богата калием зола гречихи и подсолнечника, а также ржаной соломы. В древесной золе содержится меньше калия, но значительно больше кальция, чем в золе соломы. Торфяная зола мало содержит фосфора и калия и используется преимущественно как известковое удобрение. Зола каменного угля не имеет практического значения как источник калия для растений.

Золу необходимо хранить в сухом помещении, так как вода выщелачивает из нее питательные вещества (прежде всего калий) и удобрительная ценность зола снижается. Зола может применяться на всех почвах и под все культуры. Как удобрение, содержащее известь, наиболее высокий эффект дает на кислых, особенно на бедных калием песчаных и супесчаных, почвах и торфяниках.

Золу можно вносить в основное удобрение с осени под вспашку или весной под культивацию зяби в дозе 5—8 ц на 1 га и под озимые и многолетние бобовые травы (поверхностно рано весной) в норме 4—6 ц на 1 га.

### Применение калийных удобрений

Все калийные удобрения хорошо растворимы в воде. При внесении в почву они быстро растворяются и вступают во взаимодействие с почвенным поглощающим комплексом:



Калий и другие катионы ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), входящие в состав калийных удобрений, поглощаются коллоидной частью почвы, а хлор остается в почвенном растворе и поэтому легко вымывается. В результате перехода калия в поглощенное состояние снижается его подвижность в почве и предотвращается вымывание, за исключением песчаных и супесчаных почв с малой емкостью поглощения. Обменно поглощенный почвой калий удобрения хорошо доступен растениям. Коэффициент использования калия из минеральных удобрений 60—70%.

На почвах среднего и тяжелого механического состава калийные удобрения необходимо вносить с осени под зяблевую вспашку. При этом удобрение помещается в более влажный слой почвы, где развивается основная масса деятельных корней, и поэтому калий лучше усваивается растениями.

На легких почвах, особенно в районах с большим количеством осадков, где возможно вымывание калия, калийные удобрения целесообразно вносить весной под культиватор.

Все калийные удобрения — физиологически кислые соли, но физиологическая кислотность у них меньше, чем у аммонийных удобрений, и проявляется она в более заметных размерах только при длительном применении их под культуры, потребляющие большое количество калия, — подсолнечник, гречиху, корнеплоды, картофель, овощи. Катионы  $\text{K}^+$  и  $\text{Na}^+$ , содержащиеся в калийных удобрениях, поглощаясь почвой, вытесняют из нее эквивалентное количество катионов  $\text{Ca}^{2+}$  или  $\text{H}^+$  и  $\text{Al}^{3+}$  (на кислых почвах). Вытеснение ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{Al}^{3+}$  из почвы приводит к подкислению почвенного раствора и увеличению содержания в нем алюминия.

В более резкой форме подкисление наблюдается только при систематическом внесении высоких доз калийных удобрений, особенно низкопроцентных калийных солей, на почвах, не насыщенных основаниями.

Для предотвращения отрицательного влияния калийных удобрений на эти почвы необходимо их известкование и внесение содержащих кальций азотных и фосфорных удобрений. На почвах, насыщенных основаниями (черноземах и сероземах), отрицательного действия калийных удобрений на физические свойства и реакцию почвы не наблюдается.

Наиболее эффективны калийные удобрения на легких песчаных и супесчаных, а также на торфянистых и пойменных почвах. На этих бедных калием почвах все сельскохозяйственные культуры сильно отзываются на внесение калийных удобрений. На торфяниках, которые содержат достаточно азота, а часто и фосфора, внесение одних калийных удобрений (без азотных и фосфорных) дает высокий эффект. Важным условием эффективного применения калийных удобрений является хорошее обеспечение растений азотом и фосфором. На почвах, бедных азотом и фосфором, калийные удобрения не дают должного эффекта.

На дерново-подзолистых, суглинистых и глинистых почвах, содержащих значительное количество калия, потребность всех культур

в калийных удобрениях проявляется обычно только при одновременном внесении азотных и фосфорных удобрений. На черноземных почвах, еще лучше обеспеченных калием, применение калийных удобрений (обязательно в сочетании с азотными и фосфорными) необходимо только под культуры, потребляющие много калия, — сахарную свеклу, кукурузу, подсолнечник, картофель и овощи, а на каштановых почвах и сероземах — только при орошении.

На солонцах, обычно богатых подвижным калием, калийные удобрения не дают эффекта, а внесение их способствует дальнейшему засолению этих почв.

При систематическом применении азотных и фосфорных удобрений эффективность калийных удобрений повышается и потребность в них с годами возрастает. С увеличением применения навоза, содержащего относительно много калия, на всех типах почв потребность в калийных удобрениях, наоборот, уменьшается.

Действие калийных удобрений на величину и качество урожая отдельных культур в сильной степени зависит от содержания в них сопутствующих компонентов — Cl, Na, Mg и S, что необходимо учитывать при выборе формы удобрения в соответствии с особенностями культуры.

#### Контрольные вопросы

1. Каково значение калия для растений?
2. Содержание и формы калия в почвах, их доступность растениям.
3. Назовите основные месторождения калийных солей, используемых для производства калийных удобрений.
4. Сырые калийные соли, их состав и использование в качестве удобрений.
5. Состав, свойства, получение и применение хлористого калия и 40%-ной калийной соли.
6. Какие удобрения содержат калий в форме сернокислых солей, их состав, свойства и применение?
7. Взаимодействие калийных удобрений с почвой, какое влияние оказывают они на свойства почвы?
8. Какие сопутствующие компоненты содержатся в калийных удобрениях и их значение для растений?

#### МИКРОУДОБРЕНИЯ

Значение микроэлементов для растений определяется тем, что они участвуют во многих важных процессах обмена веществ, многие из них (Mn, Cu, Mo, Zn, Co) входят в состав различных ферментов, активирующих биохимические реакции, а некоторые (Mn, Cu, Fe) принимают участие в окислительно-восстановительных процессах в растительных клетках.

В настоящее время в сельском хозяйстве применяют главным образом микроудобрения, содержащие бор, марганец, медь и молибден. Значение этих микроэлементов особенно возрастает при интенсивном использовании макроудобрений и получении высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

## Борные удобрения

На формирование урожая растения потребляют от 20 до 250 г бора с 1 га. Меньше выносят бора и менее чувствительны к недостатку его в почве зерновые культуры — рожь, пшеница, ячмень, овес, просо. Значительно больше потребляют бора и более чувствительны к его недостатку сахарная свекла, кормовые корнеплоды, подсолнечник, картофель, лен, клевер, люцерна, горчица и некоторые овощные культуры. Листья растений содержат больше бора, чем стебли, особенно богаты им цветки.

Бор необходим растениям в течение всего периода их жизни. Недостаток бора в почве приводит к приостановке роста и заболеванию растений, снижению урожая и ухудшению его качества.

Бор не может передвигаться из старых частей и органов растений в молодые, поэтому при его недостатке особенно страдают молодые растущие органы. Прежде всего заболевают и отмирают точки роста стеблей, побегов и корней. При отмирании точки роста стебля происходит усиленное образование боковых побегов, которые вскоре также останавливаются в росте.

При недостатке бора свекла поражается «гнилью сердечка», что приводит к дуплистости корня, а иногда и полному его разрушению; лен заболевает бактериозом, картофель — паршой. Эти заболевания полностью устраняются при внесении борных удобрений.

Бор оказывает существенное влияние на углеводный и белковый обмен и ряд других биохимических процессов в растении. При недостатке бора происходит накопление сахаров и крахмала в листьях, нарушается отток их в другие органы. В результате тормозится фотосинтез, уменьшается снабжение углеводами корневой системы и ухудшается ее развитие, у бобовых растений нарушается развитие клубеньков на корнях и ослабляется азотфиксирующая способность клубеньковых бактерий.

Бор играет важную роль в развитии репродуктивных органов. При недостатке бора уменьшается количество цветков, нарушается их оплодотворение, завязи опадают, урожай семян резко снижается. Внесение борных удобрений сильно повышает урожай семян клевера и люцерны, льна, овощных и других культур.

В различных типах почв общее содержание бора колеблется от 1—2 до 50—80 мг на 1 кг почвы. Усвояемые (водорастворимые) соединения бора составляют обычно 3—10% от общего его количества. Содержание усвояемого бора в разных почвах характеризуется следующими данными (в мг на 1 кг почвы): дерново-подзолистые и красноземы — 0,05—0,5, сероземы — 0,4—5,0, черноземы — 0,5—1,5. Наиболее богаты бором засоленные почвы, особенно солончаки; черноземы, каштановые почвы и сероземы содержат его больше, чем дерново-подзолистые почвы и красноземы.

Отчетливая потребность многих культур в борных удобрениях проявляется при содержании менее 0,3 мг подвижного бора на 1 кг почвы. Прежде всего бедны усвояемым бором и требуют внесения

борных удобрений дерново-глеевые и темноцветные заболоченные почвы, а также известкованные дерново-подзолистые почвы. При известковании почвы уменьшается растворимость почвенных соединений бора и возрастает потребность растений в борных удобрениях и их эффективность. Особенно низким содержанием бора, как и других микроэлементов, отличаются песчаные и супесчаные почвы.

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

Борные удобрения, содержащие бор в водорастворимой форме, — борнодатолитовая мука (содержит 2% В в виде борной кислоты) и бормагниевое удобрение (2—3% В) — применяются до посева (под культивацию) из расчета 0,5—1,5 кг В на 1 га, при посеве в половинной дозе и в подкормку из расчета 200—300 г В на 1 га. Осажденный борат магния, содержащий 1,5% бора в усвояемой (растворимой в 2%-ной лимонной кислоте), но нерастворимой в воде форме, применяется только для внесения в почву до посева.

Борны й с у п е р ф о с ф а т простой и двойной (0,2% В) лучше использовать для внесения в рядки при посеве или при посадке. Чистая соль бора — б у р а (11% В) и б о р н а я к и с л о т а (17% В) очень дороги и применяются в небольших дозах — 100—200 г борной кислоты или 200—300 г буры — для предпосевной обработки семян, а также некорневой подкормки. Предпосевная обработка семян проводится путем смачивания их небольшим количеством (8—10 л на 1 ц семян) 0,01—0,03%-ного раствора борной кислоты. При некорневой подкормке растения опрыскивают раствором (800—1000 л на 1 га) с концентрацией 200—250 мг В на 1 л.

При внесении борных удобрений на почвах с низким содержанием доступных форм его устраняется заболевание свеклы, льна и картофеля, урожай корней сахарной свеклы возрастает на 28—54 ц на 1 га, волокна льна на 0,5—1 ц и семян на 0,5—1,5 ц на 1 га, зерна бобовых культур — гороха, вики и кормовых бобов — на 2—4 ц, семян клевера и люцерны на 0,5—1 ц на 1 га.

В корнях сахарной свеклы при внесении бора увеличивается содержание сахара, в клубнях картофеля — содержание крахмала, улучшается качество волокна льна, повышается количество белка у бобовых, сахара и витаминов в овощах, ягодах и плодах.

### Молибденовые удобрения

Содержание молибдена в растениях составляет тысячные или десятитысячные доли процента на сухое вещество. Больше его содержится в семенах, особенно бобовых растений. Наиболее богаты молибденом клубеньки бобовых. Молибден играет важную роль в фиксации азота воздуха клубеньковыми и свободно живущими азотфиксирующими бактериями. Он входит (наряду с железом) в состав фермента нитрогеназы, участвующего в фиксации бактериями молеку-

лярного азота. При недостатке молибдена клубеньки на корнях бобовых развиваются слабо, азотфиксирующие бактерии не могут нормально развиваться и фиксировать атмосферный азот.

Большая роль принадлежит молибдену в азотном обмене у растений, в синтезе аминокислот и белков при усвоении ими нитратного азота. Он входит в состав фермента нитратредуктазы, без которого невозможно восстановление нитратов до аммиака. При недостатке молибдена в тканях растений накапливается избыточное количество нитратов, восстановление их задерживается, в результате чего нарушается нормальный ход азотного обмена. Установлено (Э. А. Муравин), что при внесении нитратных удобрений потребность растений в молибдене выше, чем при внесении аммонийных удобрений.

По данным М. В. Каталымова, в растениях содержится следующее количество молибдена (в мг на 1 кг сухого вещества): в зерне овса и пшеницы — 0,16—0,19, в корнях и листьях сахарной свеклы — 0,16—0,60, в сене клевера — 0,91, в зеленой массе люпина — 1,12. Больше содержат молибдена, наиболее чувствительны к его недостатку и значительно повышают урожай при внесении молибденовых удобрений бобовые, некоторые растения семейства крестоцветных, а также сахарная свекла. Недостаток молибдена приводит к появлению характерных признаков страдания растений от дефицита азота, листья приобретают бледную окраску, рост растений замедляется.

Валовое содержание молибдена в почвах колеблется от 0,2 до 12 мг на 1 кг. Подвижные формы молибдена составляют 5—10% общего его содержания, их особенно мало в кислых почвах, так как при кислой реакции  $Mo$  находится в недоступной для растений форме (в виде нерастворимых молибдатов  $Al^{3+}$  и  $Fe^{3+}$ ). Растения испытывают потребность в молибдене, если в почве содержится подвижных форм его (извлекаемых кислым раствором шавелевокислого аммония) менее 0,15—0,2 мг на 1 кг.

Известкование кислых почв увеличивает подвижность молибдена в почве, его доступность для растений и уменьшает или полностью устраняет потребность в молибденовых удобрениях.

В качестве молибденовых удобрений применяются молибденово-кислый аммоний, содержащий около 50% молибдена; 35%-ный технический молибдат аммония-натрия; молибденизированный суперфосфат, содержащий 0,1—0,2% молибдена, и отходы электроламповой промышленности, содержащие 5—8% молибдена в водорастворимой форме.

Молибденовые удобрения редко вносятся в почву до посева, более экономично их применение в рядки при посеве (в виде молибденизированного суперфосфата) и для некорневой подкормки путем опрыскивания растений (50—100 г  $Mo$  на 1 га) в ранние фазы развития 0,1—0,05%-ным раствором молибденово-кислого аммония. Хорошие результаты дает предпосевная обработка семян раствором солей молибдена или опудривание семян (25—50 г  $Mo$  на гектарную норму семян). Наиболее эффективно применение молибдена под бобовые и овощные культуры

на кислых дерново-подзолистых, серых лесных почвах и выщелоченных черноземах. Под действием молибдена усиливается симбиотическая азотфиксация бобовыми, повышается использование небобовыми растениями азота удобрений и азота почвы, возрастает эффективность фосфорных удобрений (Э. А. Муравин). Урожай зерна гороха повышается на 3—4 ц на 1 га, сои — на 2—3 ц, сена клевера и люцерны на 9—18 ц, семян клевера — на 0,8 ц на 1 га. Под влиянием молибдена значительно улучшается и качество продукции: увеличивается содержание белка в зерне и сене бобовых культур, витаминов и сахара в овощах.

### Медные удобрения

Вынос меди с урожаями сельскохозяйственных культур измеряется десятками граммов с гектара. Медь входит в состав окислительных ферментов и играет важную роль в окислительных процессах, происходящих в клетках растений, активизирует синтез витаминов группы В. Она имеет также большое значение для углеводного и белкового обмена растений и для образования хлорофилла в листьях.

При недостатке меди наблюдается пожелтение листьев, связанное с разрушением хлорофилла. У зерновых культур недостаток меди вызывает специфическое заболевание. Растения становятся бледно-зелеными, начинают усиленно куститься, кончики листьев белеют, зерно получается шуплым, урожай его резко снижается. При сильном медном голодании колосья вовсе не образуются, стебель постепенно засыхает.

Недостаток меди в растительных кормах вызывает заболевание животных (малокровие, понос, рахит у телят, выпадение шерсти у овец). Подвижных соединений меди (извлекаемых 1 н. HCl) меньше в дерново-подзолистых почвах (0,05—1,5 мг на 1 кг), чем в сероземах и черноземах (2,5—10 мг). Растения не обеспечиваются медью, если подвижных форм ее в почве содержится меньше 0,3 мг на 1 кг.

Особенно бедны медью вновь освоенные низинные торфяники и заболоченные почвы с нейтральной или щелочной реакцией, а также дерново-глеевые почвы. Применение медных удобрений на этих почвах — непременное условие получения высоких урожаев. Зерновые культуры на торфяниках без медных удобрений дают ничтожные урожаи зерна — 2—3 ц с 1 га, а при внесении их урожайность повышается до 20—25 ц с 1 га.

Хорошо отзываются на медь также лен, конопля, сахарная свекла, подсолнечник, горчица, горох, тимофеевка, менее отзывчивы кормовая и столовая свекла, турнепс, морковь. Медные удобрения положительно влияют и на качество продукции: увеличивается содержание белка в зерне, сахара в корнеплодах, витамина С в плодах и овощах. Наиболее устойчивы к недостатку меди картофель, а также капуста и рожь.

В качестве медных удобрений применяют главным образом отходы сернокислотной промышленности — пиритные огарки, содержащие 0,25—0,6% меди, а также медный купорос  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , содержащий около 25% меди. Пиритные огарки вносят

раз в 4—5 лет с осени под зяблевую вспашку (5—6 ц на 1 га) или весной не раньше чем за 10—15 дней до посева. Медный купорос может применяться для некорневой подкормки и для предпосевного намачивания семян.

Для подкормки растворяют 250—500 г медного купороса в 300—500 л воды. Расход соли для предпосевной обработки 50—100 г на 1 ц семян. На торфяных почвах эффективно применение медно-калийных удобрений (57%  $K_2O$  и 1%  $Ca$  в водорастворимой форме).

### Марганцевые удобрения

Количество марганца, выносимое с урожаем различных культур, колеблется от 0,1 до 0,7 кг с 1 га. Физиологическое значение марганца связано с участием его в окислительно-восстановительных реакциях в растительных клетках, с активированием деятельности окислительных ферментов — оксидаз. При недостатке марганца снижается интенсивность окислительно-восстановительных процессов и синтеза органических веществ в растении.

Марганец играет важную роль в процессах усвоения растениями аммонийного и нитратного азота, действуя в одном случае как окислитель, а в другом как восстановитель. При недостатке марганца восстановление нитратного азота не происходит и наблюдается накопление нитратов в тканях растений, нарушается синтез аминокислот и белков.

Недостаток марганца чаще всего проявляется у свеклы, картофеля, овса. При его недостатке снижается содержание хлорофилла в листьях, они приобретают хлоротичную пятнистость (частичный хлороз), интенсивность фотосинтеза ослабевает. Овес поражается серой полосчатостью, которая выражается в появлении на листьях сначала серых пятен, а затем длинных полос вдоль жилок листа, листья буреют и отмирают, урожай снижается. Аналогичное заболевание (но в более слабой форме) отмечено также у пшеницы, ржи, проса, ячменя, кукурузы.

Недостаток марганца чаще всего проявляется на почвах с нейтральной или щелочной реакцией, особенно на песчаных и супесчаных почвах, а также на торфяниках. Дерново-подзолистые кислые почвы характеризуются высоким содержанием подвижного (обменного) марганца, поэтому применение марганцевых удобрений на этих почвах обычно не дает эффекта и даже может оказать отрицательное действие, так как избыток марганца вреден для растений. При известковании кислых почв внесение марганцевых удобрений может быть эффективным.

Марганцевые удобрения широко применяются в нашей стране главным образом под сахарную свеклу, кукурузу, картофель и овощные культуры, обеспечивая значительное повышение урожая. Так, применение марганцевых удобрений на Украине обеспечивает получение прибавки урожая сахарной свеклы 14—25 ц на 1 га при одновременном увеличении сахаристости корней на 0,11—0,33%, озимой пшеницы — 3—4 ц, капусты, картофеля и огурцов — на 40—50 ц на 1 га.

В качестве марганцевых удобрений используют сернокислый марганец, содержащий около 20% марганца, марганезированный гранулированный суперфосфат с содержанием марганца 1—2% и отходы марганцеворудной промышленности — марганцевые шламы, содержащие от 9 до 21% окиси марганца в труднорастворимых формах. Марганцевые шламы можно вносить перед посевом под зяблевую вспашку или перепашку зяби (3—4 ц на 1 га), а также в подкормку (0,5—1 ц на 1 га). Марганезированный суперфосфат вносится при посеве в рядки или в лунки, гнезда в установленной по  $P_2O_5$  дозе (0,5—1 ц на 1 га). Сернокислый марганец ( $MnSO_4$ ) является растворимой солью и применяется, как и марганезированный суперфосфат, для припосевного внесения в рядки, а также предпосевного намачивания или опудривания семян и для некорневой подкормки. Некорневую подкормку проводят 0,05% ным раствором соли при расходе 300—500 л на 1 га. Для предпосевной обработки семян доза сернокислого марганца 50—100 г на 1 ц семян.

### Цинковые удобрения

Вынос цинка урожаями сельскохозяйственных культур колеблется от 0,07 кг (капуста) до 1,5 (картофель, горчица) и 2,2 кг (сахарная свекла) с 1 га. Цинк в растениях выполняет разнообразные функции: он входит в состав ряда ферментов или усиливает их активность, стимулирует образование ростовых веществ — ауксинов, усиливает биосинтез витаминов — аскорбиновой кислоты и тиамина, оказывает влияние на углеводный и фосфатный обмен в растениях. При недостатке цинка нарушается образование ауксинов в растениях, что приводит к задержке их роста; ослабляется синтез сложных углеводов (сахарозы и крахмала) за счет моносахаров (глюкозы), а также образование фосфорорганических соединений. При резком недостатке цинка нарушается образование хлорофилла, поэтому на листьях появляется пятнистый хлороз. Признаки недостатка цинка чаще всего наблюдаются у плодовых и citrusовых на карбонатных почвах с нейтральной и слабощелочной реакцией. В этом случае у деревьев слабо закладываются плодовые почки, на концах ветвей образуются побеги с укороченными междоузлиями и мелкими листьями («розеточность»), плоды бывают уродливые и мелкие. Среди полевых культур к недостатку цинка чувствительны кукуруза, соя и некоторые овощные растения. Валовое содержание цинка в почвах колеблется от 25 до 65 мг на 1 кг почвы; подвижного цинка (извлекаемого 1 н. раствором  $KCl$ ) содержится (в мг на 1 кг почвы) в дерново-подзолистых почвах 0,12—20 мг, черноземных — 0,1—0,25, каштановых — 0,06—0,14, сероземах — 0,09—0,6. Бедны им карбонатные почвы, особенно зафосфаченные, удобрявшиеся высокими дозами фосфорных удобрений. На этих почвах чаще возникает потребность в цинковых удобрениях (В. М. Тарасов).

В качестве цинковых удобрений используется сернокислый цинк ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ), содержащий 21—23%  $Zn$ , и отходы про-

мышленности, в частности шлаки медеплавильных заводов, содержащие 2—7% Zn, последние чаще всего вносят в почву в дозе 0,5—1,5 ц на 1 га. ZnSO<sub>4</sub> применяют для некорневой подкормки (200—400 л 0,01—0,02%-ного раствора на 1 га) и предпосевной обработки семян (6—8 л 0,05—0,1 %-ного раствора на 1 ц семян). Для обработки семян используют также цинковые полимикродобрения (ПМУ), которые представляют собой размолотые шлаковые отходы химических заводов, содержащие 25% цинка в водорастворимой форме и некоторые другие микроэлементы. Состав их весьма непостоянен. На 1 ц семян расходуется 400—500 г ПМУ.

Потребность различных сельскохозяйственных культур в отдельных микроэлементах на разных почвах неодинакова. Хорошо окультуренные систематически удобряемые навозом почвы обычно содержат достаточное количество подвижных форм микроэлементов и поэтому не требуют внесения микроудобрений.

При недостатке же в почвах доступных форм бора, марганца, меди, молибдена, а в определенных условиях также кобальта, цинка, йода, ванадия и других микроэлементов наблюдаются специфические заболевания культур, они дают низкий и неполноценный по качеству урожай. В этом случае применение соответствующих микроудобрений устраняет заболевание растений и значительно повышает урожай и качество растениеводческой продукции. Под действием микроэлементов у многих растений повышается сахаристость, увеличивается содержание крахмала или белка, витаминов и жиров. Возрастает также устойчивость растений к засухе, высоким и низким температурам, снижается их поражаемость вредителями и болезнями. Значение микроэлементов выходит далеко за пределы растениеводства, поскольку с недостатком микроэлементов часто связаны многие заболевания животных и людей.

Недостаток в почве отдельных микроэлементов может быть обнаружен по появлению специфических признаков во внешнем виде растений. Однако в практике сельского хозяйства чаще приходится встречаться с менее острым недостатком микроэлементов, когда четких внешних признаков не наблюдается, но рост, развитие растений угнетаются и они дают низкие урожаи. Потребность в применении микроудобрений может быть оценена по результатам химического анализа почв на содержание доступных для растений форм микроэлементов (табл. 32).

32. Оценка почв по содержанию в них микроэлементов (по Г. Я. Ринькису)

Оценка почв	Содержание микроэлементов, мг на 1 кг почвы					
	В (в водной вытяжке)	Сu (в 1 н НСl)	Mn (в 0,1 н Н <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Mo (в оксидатной вытяжке)	Zn (в 1 н KCl)	Co (в 1 н HNO <sub>3</sub> )
Очень бедные	Менее 0,1	Менее 0,3	Менее 1	Менее 0,05	Менее 0,2	Менее 0,2
Бедные	0,1—0,2	0,3—1,5	1—10	0,05—0,15	0,2—1,0	0,2—1,0
Средние	0,3—0,5	2—3	20—50	0,20—0,25	2—3	1,5—3,0
Богатые	0,5—1,0	4—7	60—100	0,3—0,5	4—5	4—5
Очень богатые	Более 1	Более 7	Более 100	Более 0,5	Более 5	Более 5

Наиболее надежно о необходимости внесения микроудобрений в конкретных почвенно-климатических условиях можно судить по результатам полевых опытов.

Более высокая эффективность применения микроудобрений, как правило, наблюдается при хорошей обеспеченности растений основными элементами питания — азотом, фосфором и калием. В то же время внесение необходимых микроэлементов значительно повышает действие азотных, фосфорных и калийных удобрений. При внесении микроэлементов обеспечивается лучшее использование растениями питательных элементов из почвы и минеральных удобрений.

Применение микроудобрений в условиях недостатка доступных форм микроэлементов в почвах дает высокий экономический эффект. Так, по данным, полученным в Латвийской ССР, где использование микроудобрений проводится в широких масштабах (Я. В. Пейве), при сумме затрат на применение микроудобрений не более 4 руб. на 1 га стоимость дополнительной прибавки урожая составляла: сахарной свеклы — 115, картофеля — 92 и зерна гороха — 42 руб. на 1 га.

В настоящее время в нашей стране микроудобрения вносятся на площади около 5 млн. га и применение их постоянно расширяется.

#### Контрольные вопросы

1. Какие микроудобрения наиболее широко применяются в сельском хозяйстве и в каких условиях они дают наибольший эффект?
2. Значение бора для растений.
3. На каких почвах и под какие растения прежде всего необходимо внесение борных удобрений?
4. Назовите наиболее распространенные борные удобрения, дозы и способы их внесения.
5. Значение марганца для растений.
6. На каких почвах и под какие культуры целесообразно внесение марганцевых удобрений?
7. Основные марганцевые удобрения, дозы и способы их внесения.
8. На каких почвах и под какие культуры возникает необходимость применения медных удобрений?
9. Назовите основные медные удобрения, дозы и способы их внесения.
10. Значение молибдена для растений.
11. Какие растения и на каких почвах прежде всего нуждаются в применении молибденовых удобрений?
12. Основные молибденовые удобрения, дозы и способы их внесения.

#### КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ

В связи с разнообразием уровня плодородия почв и особенностями питания отдельных сельскохозяйственных культур для повышения их урожайности возникает необходимость применять не только отдельно азот, фосфор или калий в виде соответствующих односторонних удобрений, но и два или три основных питательных элемента в определенном соотношении, а также микроэлементы в составе так называемых комплексных удобрений.

Комплексные удобрения подразделяют по составу на двойные (например, азотно-фосфорные, азотно-калийные или фосфорно-калийные) и тройные (азотно-фосфорно-калийные). По способу производства

они подразделяются на сложные, сложно-смешанные (или комбинированные) и смешанные удобрения.

Сложные удобрения содержат два или три питательных элемента в составе одного химического соединения. Например, аммофос и диаммофос  $[\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 \text{ и } (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$ , калийная селитра  $(\text{KNO}_3)$ , метафосфаты калия или аммония  $(\text{KPO}_3 \text{ и } \text{NH}_4\text{PO}_3)$ . Соотношение между питательными элементами в этих удобрениях определяется их формулой.

К сложно-смешанным или комбинированным удобрениям относятся комплексные удобрения, получаемые в едином технологическом процессе и содержащие в одной грануле два или три основных элемента питания растений, хотя и в виде различных химических соединений. Они производятся путем специальной как химической, так и физической обработки первичного сырья или различных одно- и двухкомпонентных удобрений. К ним относятся нитрофос и нитрофоска, нитроаммофос и нитроаммофоска, полифосфаты аммония и калия, карбоаммофосы, фосфорно-калийные прессованные удобрения, жидкие комплексные удобрения. Соотношение между элементами питания в этих удобрениях определяется количеством исходных материалов при их получении. Для сложных и комбинированных удобрений характерна высокая концентрация основных питательных элементов и отсутствие либо незначительное количество балластных веществ, что обеспечивает значительную экономию труда и средств на их транспортировку, хранение и применение.

Ассортимент комплексных удобрений в СССР представлен в основном следующими формами (табл. 33): двойные азотно-фосфорные удобрения — аммофос и диаммофос, нитроаммофосы и нитрофосы и двойные фосфорно-калийные удобрения — фосфаты калия и тройные сложные удобрения — аммофоски, нитроаммофоски и нитрофоски.

33. Основные комплексные удобрения, выпускаемые в СССР

Виды удобрений	Соотношение питательных веществ, N : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O	Общее содержание питательных веществ, %
Аммофос	1 : 4 : 0	56—63
Диаммофос	1 : 2,5 : 0	66—68
Нитроаммофоска	1 : 1 : 1	48—51
Нитрофоска	1 : 1 : 1	33—35
Нитроаммофос	1 : 1 : 0	48
Фосфорно-калийные	0 : 1 : 1	50

Осваивается производство метафосфатов калия и аммония, полифосфатов аммония, мочевино-аммофосов и других высококонцентрированных сложных удобрений.

В связи с непрерывным увеличением производства и применения минеральных удобрений повышение концентрации питательных веществ в них имеет огромное народнохозяйственное значение, так как позволяет уменьшить общую физическую массу туков и объем их перевозок, а следовательно значительно снизить расходы на их транспортировку, хранение и внесение в почву.

Смешанные удобрения — это смеси простых удобрений.

## Сложные удобрения

Аммофос ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) и диаммофос  $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$  получаются нейтрализацией ортофосфорной кислоты аммиаком. Удобрения мало гигроскопичны, хорошо растворимы в воде.

В аммофосе содержится 11—12% N и от 46 до 60%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , т. е. отношение N :  $\text{P}_2\text{O}_5$  в удобрении чрезмерно широкое, равно 1 : 4 — 1 : 5 (азота содержится в 4—5 раз меньше, чем фосфора). В диаммофосе содержится 19—21% N и 49—53%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , соотношение N :  $\text{P}_2\text{O}_5$  равно 1 : 2,5. Это высококонцентрированные удобрения, содержащие азот и фосфор в хорошо усвояемой растениями, преимущественно водорастворимой форме. 1 ц аммофоса заменяет не менее 2,5 ц простого суперфосфата и 0,35 ц аммиачной селитры, а 1 ц диаммофоса — 3 ц суперфосфата и 0,7 ц аммиачной селитры.

Аммофос и диаммофос могут вноситься в качестве основного удобрения, в рядки при посеве под все культуры и в подкормку — под пропашные технические культуры и овощи. Недостаток этих удобрений в том, что азота в них содержится значительно меньше, чем фосфора, тогда как в практике чаще всего их вносят в одинаковых дозах. Поэтому для получения нормального соотношения N и  $\text{P}_2\text{O}_5$  к аммофосу и диаммофосу необходимо добавлять определенное количество одностороннего азотного удобрения [ $\text{NH}_4\text{NO}_3$  или  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ]. При внесении этих удобрений до посева под хлопчатник и под озимые культуры их можно использовать и без дополнения азотными удобрениями, так как в этом случае недостаток азота компенсируется внесением азотных удобрений в подкормку. Аммофос можно непосредственно применять и в качестве припосевного (рядкового) удобрения под хлопчатник, картофель и зерновые культуры.

Результаты многих полевых опытов с различными культурами и в разных зонах страны показали, что эффективность аммофоса (как одного, так и дополненного азотным удобрением) обычно выше, чем смеси простых удобрений (суперфосфата и аммиачной селитры), при равных нормах азота и фосфора.

Магний-аммоний фосфат  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  — тройное сложное удобрение, содержащее 10—11% азота, 39—40% доступного фосфора и 15—16% магния. Удобрение слаборастворимое в воде, медленно действующее. Однако N, P и Mg удобрения доступны для растений.

Удобрение можно вносить как основное под все культуры в больших дозах без вреда для растений. Удобрение эффективно при выращивании овощей в условиях защищенного грунта.

### Сложно-смешанные, или комбинированные, удобрения

Нитрофосы и нитрофоски получают разложением апатита или фосфорита азотной кислотой. При этом получается кальциевая селитра и дикальцийфосфат с примесью монофосфата кальция:  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 2\text{HNO}_3 = \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{CaHPO}_4$ .

Ввиду сильной гигроскопичности  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  такая смесь быстро отсыревает. Для улучшения физических свойств удобрения избыток кальция выделяют из раствора, для чего нитрат кальция переводят в другие соединения. Это достигается различными способами. К смеси горячей пульпы добавляют аммиак и серную кислоту или сульфат аммония (сернокислотная и сульфатная схемы). При этом вместо  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  образуется менее гигроскопичный нитрат аммония и гипс. Сернокислотный и сульфатный нитрофосы состоят из дикальцийфосфата, фосфата аммония, нитрата аммония и гипса. В зависимости от количества сульфата аммония или серной кислоты удобрения получают с различным содержанием водорастворимого  $\text{P}_2\text{O}_5$ . По другому способу для выделения избытка кальция из раствора в пульпу добавляют аммиак и более дешевую угольную кислоту. Получается карбонатная нитрофоска, состоящая из дикальцийфосфата, нитрата аммония и карбоната кальция. Применяют также вымораживание нитрата кальция с последующей обработкой смеси аммиаком и серной кислотой. Получается вымороженный нитрофос, состоящий из нитрата аммония, дикальцийфосфата с небольшим количеством фосфата аммония. При добавлении к нитрофосам  $\text{KCl}$  получают тройные удобрения, называемые нитрофосками. При этом  $\text{KCl}$  реагирует с  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , образуя  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{KNO}_3$ , соли менее гигроскопичные, чем нитрат аммония. Перспективным способом является получение фосфорной нитрофоски. В этом случае к смеси  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$  и  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , получаемой после разложения апатита или фосфорита азотной кислотой, добавляют аммиак, фосфорную кислоту и хлористый калий. Образуются новые количества преципитата, суперфосфата, аммофоса и диаммофоса, а также  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{KNO}_3$ . Фосфорная нитрофоска — безбалластное и высококонцентрированное удобрение, содержащее 50% питательных веществ. До 50% содержащегося в ней фосфора находится в водорастворимой форме. Ее можно применять для допосевного и припосевного внесения.

Следовательно, в нитрофосках азот и калий находятся в форме легкорастворимых соединений ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KCl}$ ), а фосфор — в основном в виде дикальцийфосфата, нерастворимого в воде, но доступного для растений, и частично в форме водорастворимого фосфата аммония и монофосфата кальция. В зависимости от технологической схемы процесса содержание в нитрофосках водорастворимого и цитратнорастворимого фосфора может изменяться. В карбонатной нитрофоске водорастворимого фосфора не содержится, поэтому она применяется только как основное удобрение на кислых почвах.

Содержание питательных веществ в нитрофосках может колебаться от 35 до 50%, в том числе N — от 10 до 17%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  — от 8 до 30% и  $\text{K}_2\text{O}$  — от 12 до 20% (табл. 34).

Нитрофоски выпускаются в гранулированном виде с размером гранул 2,5—4 мм или 1,65—2,8 мм, упаковываются в бумажные мешки.

Нитрофоски вносят в качестве основного удобрения до посева, а содержащие значительную часть фосфора в водорастворимой форме (сернокислотная и сульфатная) также в рядки или лунки при посеве и в

## 34. Характеристика нитрофосок

Марка	N, %	Усвояемая P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	K <sub>2</sub> O, %
A (16 : 16 : 13)	16—17	16—17	13—14
Б (13 : 16 : 13)	12,5—13,5	8,5—9,5	12,5—13,5
В (12 : 12 : 12)	11—12	10—11	11—12

подкормку. Эффективность их практически такая же, как и эквивалентных количеств смеси простых удобрений.

Нитрофоски имеют определенное соотношение между азотом, фосфором и калием, а так как разные почвы отличаются по содержанию отдельных питательных веществ и потребность в них растений также неодинакова, то при внесении нитрофосок (как и других сложных и комбинированных удобрений) часто возникает необходимость произвести некоторую корректировку, т. е. дополнительно вносить тот или иной недостающий элемент в виде простых удобрений.

Нитроаммофосы и нитроаммофоски получают при нейтрализации аммиаком смесей азотной и фосфорной кислот. Удобрение, получаемое на основе моноаммонийфосфата, называется нитроаммофосом, при введении калия — нитроаммофоской, а удобрение на основе диаммонийфосфата — соответственно диаммонитрофосом и диаммонитрофоской. Эти комплексные удобрения отличаются высоким содержанием питательных веществ, причем при их получении имеется широкая возможность для изменения отношения между N, P и K в их составе. Нитроаммофосы могут выпускаться с содержанием N в интервале 10—30% и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 27—14%. В нитроаммофосках общее содержание питательных веществ (N, P и K) колеблется от 44 до 62%. Питательные элементы, не только азот и калий, но и фосфор, содержатся в водорастворимой форме и легкодоступны растениям. Эффективность нитроаммофосок такая же, как смеси простых удобрений.

Карбоаммофосы содержат азот в амидной и аммиачной формах, а фосфор — в водорастворимой форме. Их производство основано на способности мочевины образовывать комплексные соединения с фосфорной кислотой или аммо- и диаммофосом. Удобрения могут содержать 24—48% N и 48—18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Для получения тройного комбинированного удобрения — карбоаммофоски — вводится хлористый калий. Суммарное содержание питательных веществ в карбоаммофосках до 60%. Карбоаммофоски выпускаются со следующим соотношением N : P : K — 1 : 1 : 1; 1,5 : 1 : 1; 2 : 1 : 1 и 1 : 1,5 : 1.

Полифосфаты аммония получают при нейтрализации аммиаком полифосфорной кислоты. Полифосфорная, или суперфосфорная кислота состоит из смеси орто-, пиро- и небольшого количества собственно полифосфорных кислот и содержит около 75% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Полифосфат аммония содержит 17% N, 60% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Это удобрение обладает хорошими физическими свойствами, может применяться под все культуры, является также хорошим компонентом для тукосмесей и приготовления жидких комплексных удобрений. На основе суперфос-

формной кислоты могут производиться и другие сложные твердые удобрения, например полифосфат калия с содержанием 57%  $P_2O_5$  и 37%  $K_2O$ , а также жидкие высококонцентрированные комплексные удобрения состава 10 : 34, т. е. содержащие 10% N и 34%  $P_2O_5$ .

Жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) получают нейтрализацией орто- и полифосфорной кислот аммиаком с добавлением азотсодержащих растворов (мочевины, аммиачной селитры и хлористого или сернокислого калия, а в отдельных случаях и солей микроэлементов. При насыщении ортофосфорной кислоты аммиаком образуются аммофос и диаммофос.

Общее содержание питательных веществ в жидких комплексных удобрениях на основе ортофосфорной кислоты сравнительно невысоко (24—30%), так как в более концентрированных растворах при низких температурах происходит кристаллизация солей и выпадение их в осадок. Соотношение азота, фосфора и калия в ЖКУ может быть различным, содержание N колеблется от 5 до 10%,  $P_2O_5$  5—14% и  $K_2O$  6—10%. В нашей стране выпускается в основном ЖКУ состава 9 : 9 : 9 а также с другим соотношением питательных веществ (7 : 14 : 7 ; 6 : 18 : 6, 8 : 24 : 0 и др.).

На основе полифосфорной кислоты получают ЖКУ с более высоким общим содержанием питательных веществ (более 40%), в частности удобрения состава 10 : 34 : 0 и 11 : 37 : 0, которые получают насыщением суперфосфорной кислоты аммиаком.

Эти «базисные» удобрения используют для получения тройных ЖКУ различного состава, добавляя к ним мочевину или аммиачную селитру и хлористый калий. Для повышения концентрации питательных веществ в жидких комплексных удобрениях добавляют к ним стабилизирующие добавки — 1—2% коллоидной глины. Эти удобрения называют суспензированными. Базисное суспензированное удобрение имеет состав 12 : 40 : 0, на его основе можно готовить тройные ЖКУ различного состава (15 : 15 : 15, 10 : 30 : 10, 9 : 27 : 13 и др.). Коллоидная глина удерживает соли от выпадения в осадок. Жидкие комплексные удобрения по эффективности не уступают смеси твердых односторонних туков и комплексным удобрениям типа нитроаммофоски. При применении жидких комплексных удобрений необходимо специальное оборудование для их перевозки, хранения и внесения. Применять их можно теми же способами, что и твердые удобрения: сплошным распределением по поверхности почвы перед вспашкой и культивацией, локально при посеве, а также в подкормки — при междурядной обработке пропашных или поверхностно на культурах сплошного сева. Они содержат все питательные вещества в водорастворимой легкодоступной растениям форме.

Сложно-смешанные гранулированные удобрения готовятся смешиванием простых и сложных порошковых удобрений (аммофоса и диаммофоса, простого или двойного суперфосфата, аммиачной селитры или мочевины, хлористого калия) в барабанном грануляторе с добавлением аммиака для нейтрализации свободной кислотности суперфосфата и фосфорной кислоты (или

аммофоса и диаммофоса) для обогащения смеси фосфором. Выпускаемые в промышленном масштабе в нашей стране сложно-смешанные гранулированные удобрения имеют следующий состав: 10 : 10 : 10, 12 : 8 : 12, 10 : 10 : 15, 9 : 17 : 17. Общее содержание питательных веществ в них может быть от 30 до 45%.

В состав сложных твердых и жидких удобрений в процессе их производства могут быть введены и микроэлементы, а также гербициды и ядохимикаты.

### Смешанные удобрения

Смешанные удобрения, или тукосмеси, получают при смешивании двух или трех простых негранулированных или гранулированных удобрений на специальных тукосмесительных заводах, на крупных механизированных складах агрохимцентров или непосредственно в хозяйствах. При этом достигается значительная экономия труда и времени на внесение удобрений по сравнению с раздельным внесением и повышается их эффективность, так как все необходимые удобрения вносятся в один след, они более равномерно распределяются по полю, и отдельные элементы питания находятся в общих очагах.

В зависимости от потребностей удобряемой культуры и свойств почвы тукосмеси могут быть различного состава, с разным соотношением N : P : K. В этом отношении они имеют преимущество перед комплексными удобрениями, которые выпускают с содержанием питательных веществ, не всегда подходящим для внесения под культуру и на разных почвах. Однако не все удобрения можно смешивать друг с другом, так как в результате химических реакций между ними могут происходить нежелательные изменения — ухудшение физических свойств, или уменьшение растворимости, или потеря необходимых питательных веществ.

При смешивании суперфосфата и фосфоритной муки с калийными удобрениями, а также аммиачной селитры и сульфата аммония с преципитатом, фосфоритной мукой и калийными удобрениями не происходит каких-либо нежелательных изменений. Поэтому даже при длительном хранении такие тукосмеси сохраняют хорошие физические свойства.

При смешивании аммолийных солей (сульфата аммония, нитрата аммония, аммофоса и диаммофоса) со щелочными удобрениями (известью, золой, томасшлаком и термофосфатами) происходят потери азота вследствие выделения аммиака, например:  $2\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ . При смешивании суперфосфата с известью растворимая в воде соль фосфора переходит в нерастворимую форму — в двухзамещенный или трехзамещенный фосфат кальция:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Поэтому указанные выше удобрения нельзя смешивать друг с другом.

При смешивании сульфата аммония и аммиачной селитры с суперфосфатом получается сильно мажущаяся смесь, неудобная для рассева, а при хранении она затвердевает.

Для улучшения физических свойств смеси наиболее распространенных удобрений — аммиачной селитры, суперфосфата и хлористого калия — необходимо для нейтрализации свободной кислотности суперфосфата и снижения его гигроскопичности добавлять небольшое количество (10—15%) нейтрализующих добавок (молотого известняка или доломита, фосфоритной муки). При этом сохраняется хорошая рассеиваемость смеси даже при хранении ее в течение 4—5 месяцев.

Мочевину можно смешивать перед внесением со всеми формами фосфорных и калийных удобрений, а смесь ее с суперфосфатом сохраняет хорошие физические свойства и при заблаговременном смешивании. Физические свойства и рассеиваемость смесей резко улучшаются при смешивании гранулированных удобрений, особенно при одинаковых размерах гранул.

Приготовление тукосмесей необходимо проводить с учетом потребности отдельных культур в определенном соотношении питательных веществ ( $N : P_2O_5 : K_2O$ ), а также свойств почвы и способов внесения удобрений (основное, припосевное, подкормка). На основании результатов полевых опытов с ведущими культурами в разных почвенно-климатических зонах страны было определено 10 основных типов соотношения  $N$ ,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  в комплексных (в том числе и смешанных) удобрениях.

Указанными комбинациями соотношений питательных веществ безусловно не исчерпывается все разнообразие тукосмесей и других комплексных удобрений, но, имея их, можно правильно осуществлять применение минеральных удобрений разными способами (до посева, при посеве и в подкормки) с учетом особенностей питания отдельных культур. Для приготовления тукосмесей с высоким общим содержанием питательных веществ и хорошими физическими свойствами необходимо использовать в первую очередь мочевину или аммиачную селитру, суперфосфат двойной и аммонизированный или аммофос, флотационный (крупнокристаллический)  $KCl$ . Механизированное приготовление и внесение тукосмесей дают большой экономический эффект по сравнению с отдельным внесением односторонних удобрений (табл. 35).

35. Экономическая эффективность применения тукосмесей (в расчете на 1 т)

Показатель	Раздельное внесение простых туков	Приготовление и внесение тукосмесей	
		двойных	тройных
Затраты труда, чел.-ч	1,13	0,91	0,66
Рост производительности труда, %	—	24,2	71,2
Себестоимость работ, руб.	4,76	3,93	2,89
Снижение себестоимости, %	—	17,4	39,3
Капиталовложения, руб.	5,19	4,48	3,44
Экономия капиталовложений, %	—	13,7	33,7
Производственные затраты, руб.	5,80	4,83	3,58
Снижение затрат, %	—	16,7	38,3

Примечание. Доза внесения туков — 6 ц на 1 га, расстояние от склада до поля 5 км.

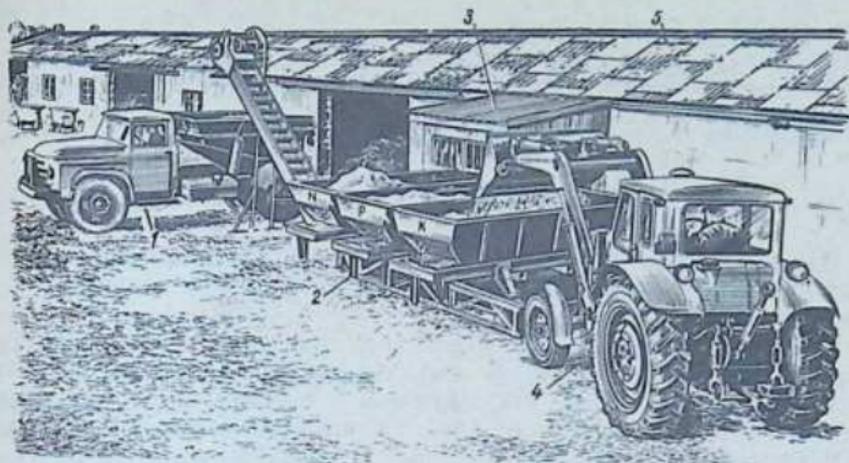


Рис. 12. Тукосмесительная установка «Кубань»:

1 — машина для доставки и внесения удобрений (КСА-3); 2 — тукосмесительный агрегат (на базе РУМ-3); 3 — помещение оператора; 4 — погрузчик удобрений; 5 — склад туков

Для механизированного приготовления тукосмесей необходимы следующие механизмы: для измельчения слежавшихся удобрений машины типа ИСУ-4 или дробилки типа Д-052 в агрегате с ленточным транспортером Т-391; для тукосмешения — смеситель-загрузчик удобрений СЗУ-20 в комплексе с фронтальным погрузчиком ПФ-0,75.

Заслуживает внимания опыт Кубанского СХИ (проф. А. И. Симакин), где разработаны несколько типов тукосмесительных установок, которые создаются непосредственно в хозяйстве из готовых узлов и механизмов. Тукосмесительная установка «Кубань» (рис. 12) состоит из трех бункеров от разбрасывателей минеральных удобрений РУМ-3 или навозоразбрасывателей 1-ПТУ-4, смонтированных на общей раме. Задний борт бункера имеет дозирующее устройство. Над бункером установлены решетки или валы с пальцами для дробления комков в удобрениях. Установка работает от электромоторов. Каждое из трех удобрений (N, P, K) подается в заданном соотношении в свой бункер погрузчиком КУН-10 (на базе трактора МТЗ-50), перемещается из бункера на ленточный транспортер, а с него — в шнековый смеситель. Из последнего смесь по выгрузному транспортеру подается в машины КСА-3 или РИГ-4, которые доставляют тукосмеси в поле и разбрасывают их.

#### Контрольные вопросы

1. Как подразделяются комплексные удобрения по составу и способу производства?
2. Назовите основные формы сложных удобрений, которые производятся в нашей стране.
3. В чем преимущества и недостатки применения комплексных минеральных удобрений в сравнении с односторонними?
4. Фосфаты аммония, их состав, свойства и применение.

5. Нитрофосы и нитрофоски, способы их получения, основные виды их, состав, свойства и применение.
6. Что такое карбоаммофосы и нитроаммофосы, их состав и эффективность?
7. Характеристика жидких комплексных удобрений, их получение, состав и эффективность.
8. Что такое тукосмеси? Какие удобрения и почему нельзя смешивать?

### ХРАНЕНИЕ, ТРАНСПОРТИРОВКА И ВНЕСЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Правильная организация хранения, перевозки и внесения удобрений имеет важное значение для снижения потерь и повышения их эффективности.

Минеральные удобрения хранят в специальных складах, построенных по типовым проектам: прирельсовых и пристанских, а также непосредственно в хозяйствах, при агрохимических пунктах колхозов и совхозов (рис. 13). Хранение минеральных удобрений на открытых необорудованных площадках приводит к значительным потерям туков (до 10—15%) и к ухудшению их качества: отсыреванию, слеживанию, снижению содержания в них питательных веществ. На специально подготовленной асфальтовой или бетонной открытой площадке, от которой обеспечен отвод дождевых, талых и грунтовых вод, допускается хранение в штабелях лишь затаренных в полиэтиленовые мешки удобрений (кроме аммиачной селитры). При этом штабель следует располагать на деревянных поддонах и укрывать сверху брезентом или полиэтиленовой пленкой.

Необходимость складирования удобрений обусловлена сезонностью их применения и неравномерным поступлением в течение года. Типы и размеры складов бывают разными, они рассчитываются на определенную емкость с учетом годовой оборачиваемости удобрений. Прирельсовые и пристанские склады имеют значительно большую разовую емкость, чем склады колхозов и совхозов. Здание складов строят из железобетонных и облегченных деревянных конструкций, а также из кирпича и других местных строительных материалов. Располагают их на расстоянии не ближе 200 м от жилых, общественных и производственных зданий. Емкость прирельсовых и пристанских складов определяется исходя из количества обслуживаемых складом хозяйств, расстояния их от склада и перспективной годовой потребности в удобрениях (на 10—15 лет), а также с учетом минимальных затрат на строительство склада и доставку удобрений в колхозы и совхозы. Годовая оборачиваемость удобрений в прирельсовых складах в зависимости от зональных условий может быть двух-, трех- и четырехкратная.

Например, при перспективной годовой потребности всех хозяйств в туках 15 тыс. т и трехкратной средней годовой оборачиваемости потребная емкость склада равняется 5 тыс. т. Размер склада хозяйства зависит от перспективной потребности его в минеральных удобрениях и коэффициента их оборачиваемости. В хозяйствах с перспективной потребностью удобрений менее 1—2 тыс. т целесообразно строить

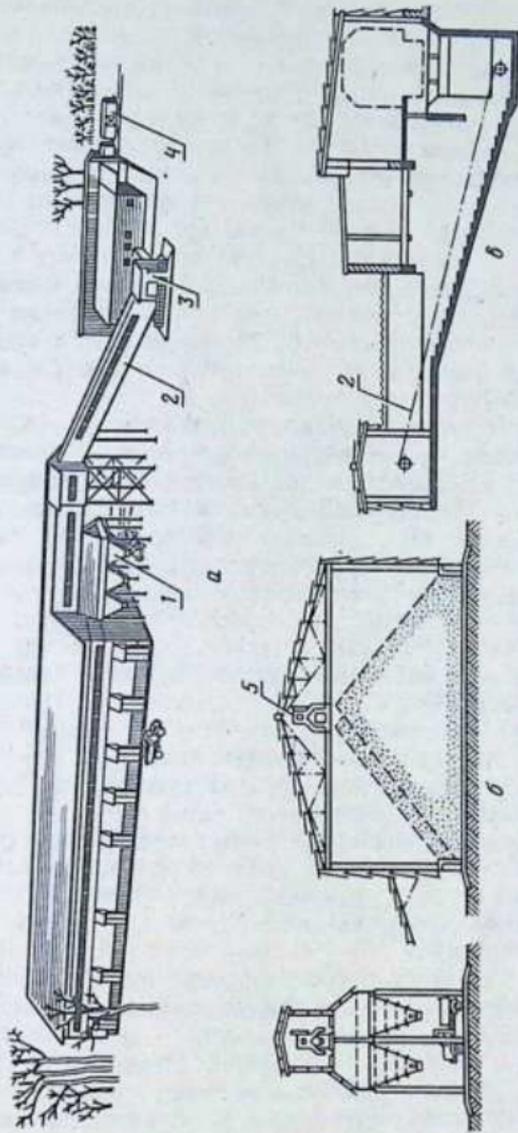


Рис. 13. Прирельсовый комплексно-механизированный склад для сухих неэтаргренных минеральных удобрений:  
 а — общий вид; б — поперечный разрез склада и бункера-накопителя; в — поперечный разрез прирельсового устройства; г — бункер-накопитель;  
 1 — наклонный транспортер; 2 — прирельсовый бункер; 3 — железнодорожный вагон; 4 — железнодорожный вагон; 5 — транспортер-распределитель; 6 — поперечный разрез склада.

межхозяйственные склады минеральных удобрений (для 2—3 хозяйств). Склады, построенные по типовым проектам, должны отвечать следующим основным требованиям: обеспечивать изоляцию удобрений от атмосферных осадков, талых и грунтовых вод, создание микроклимата в хранилище (исключающего сквозняки и приток влажного воздуха), возможность механизации работ по разгрузке и погрузке удобрений (вдоль склада должен быть центральный проезд шириной 3 м для свободного передвижения погрузочных и разгрузочных машин). Для выгрузки незатаренных удобрений склад должен иметь приемное устройство, полы в складе должны быть обязательно бетонные или асфальтовые (при хранении удобрений на земляном полу изменяются их физические свойства, они увлажняются, гранулы разрушаются).

Затаренные и незатаренные удобрения хранят в складах отдельно, размещают их по видам и формам в особых отсеках или незатаренные удобрения разделяют переносными шитами. На лицевой стороне отсека (секции) вывешивается этикетка с указанием названия удобрения, содержания в нем питательных веществ, времени получения. Незатаренные удобрения хранят насыпью высотой 2—3 м. Рассыпанные по полу удобрения немедленно убирают.

Затаренные удобрения (кроме аммиачной селитры) укладывают на плоские или стоечные поддоны в три яруса по пять рядов в каждом поддоне (всего 15 рядов). В районах достаточного и избыточного увлажнения затаренные удобрения лучше укладывать на решетчатые настилы и стеллажи. При укладке необходимо соблюдать осторожность для обеспечения сохранности упаковки. При ее разрыве удобрения необходимо немедленно перезатарить.

Аммиачная селитра огнеопасна, поэтому ее хранят в специально оборудованных изолированных секциях или в отдельном складе. Пакеты с аммиачной селитрой лучше всего хранить на стеллажах или на стоечных антикоррозийных поддонах с высотой укладки 10 рядов (в 2 яруса по 5 рядов в каждом поддоне). Расстояние от штабеля до стены должно быть 1 м, между штабелями делают разрыв до 3 м.

Фосфоритную муку и пылевидные известковые удобрения хранят в специальных прирельсовых складах силосного типа.

Кладовщик (или начальник склада) ведет точный учет поступления и расходования удобрений и несет ответственность за правильную организацию работ на складе и соблюдение техники безопасности при разгрузке и погрузке удобрений, укладке их в штабеля, подготовке удобрений к внесению и т. д.

Транспортировка минеральных удобрений от завода до прирельсовых складов осуществляется железнодорожным транспортом и от прирельсовых складов до складов хозяйств — автотранспортом. Для снижения потерь минеральных удобрений при перевозке их железнодорожным транспортом и разгрузке вагонов необходимо соблюдать следующее. Для перевозки использовать только исправные вагоны. Затаренные удобрения перевозить в крытых железнодорожных вагонах общего назначения преимущественно в пакетах на стоечных поддонах, устойчиво размещенных в вагоне, а для пакетной транспортировки

удобрений из вагонов необходимо иметь в них уширенные дверные проемы. Незатаренные гранулированные удобрения лучше всего перевозить в специализированных саморазгружающихся вагонах или (при перевозке удобрений, не выгружающихся гравитационно) в крытых вагонах общего назначения с самоуплотняющимися дверями или с дверными проемами, оборудованными заградительными щитами. Фосфоритная мука и известь перевозятся в железнодорожных цистернах — цементовозах или в специализированных саморазгружающихся вагонах. Недопустимы выгрузка удобрений из вагонов на открытые площадки (кроме удобрений, затаренных в полиэтиленовые мешки или контейнеры), смешивание удобрений между собой и с другими материалами.

Разгрузка вагонов производится по схеме вагон — склад или вагон — автомобиль. При этом используется приемное устройство склада, а при его отсутствии — подкатной транспортер. При выгрузке удобрений из крытого вагона общего назначения в склад используется машина типа МВС-4. После выгрузки вагонов необходимо тщательно их зачистить, собрать остатки и просыпавшиеся удобрения. При перевозке удобрений автотранспортом необходимо использовать специализированные автомашины с закрытым кузовом, а при перевозке обычными автомашинами (особенно незатаренных удобрений) оборудовать кузова верхними непромокаемыми укрытиями. После выгрузки удобрений кузова автомобилей должны быть тщательно зачищены.

Подготовка минеральных удобрений к внесению, перевозка их к полю и внесение также должны осуществляться без возможных потерь удобрений. Подготовка удобрений к внесению, их дробление и смешивание производят непосредственно на складе с использованием дробилок и тукосмесительных машин, а при их отсутствии и выполнении этих работ вручную — обязательно на асфальтовой или бетонной площадке.

Доставка удобрений к полю и их внесение могут проводиться по прямой и перевалочной технологии. В первом случае их перевозят и вносят в почву одной и той же машиной (разбрасывателями РУМ-3, I—РМГ-4 и т. д.), во втором — удобрения подвозят к полю автотранспортом и выгружают на специально подготовленные площадки на обочине поля с последующей погрузкой в разбрасыватели.

Для снижения потерь перед вывозкой удобрений из склада в поле необходимо тщательно заделать все щели в кузовах транспортных средств, а выгружать их в поле на подготовленные площадки. При внесении удобрений и особенно авиаметодом возможны их потери за счет сноса за пределы удобряемой площади. При использовании центробежных разбрасывателей возможно самоистечение удобрений из бункера при отключенном подающем устройстве, просыпание их в щели, а также неравномерное распределение удобрений по полю, значительно превышающее допустимый показатель (25%), что снижает их эффективность. Потери питательных веществ удобрений, особенно при несоблюдении оптимальных доз, сроков и способов их внесения, возможны и после внесения удобрений в почву в результате вымывания в нижние горизонты и сноса стоковыми водами.

Для снижения потерь необходимо применять удобрения в соответствии с рекомендациями агрохимслужбы и научных учреждений, не допускать внесения их в осенне-зимний и ранневесенний периоды на избыточно увлажненных почвах и полях с невыровненным рельефом, весеннюю подкормку озимых культур и многолетних трав проводить после схода снега и прекращения поверхностного и внутрпочвенного стока талых вод. Необходимо добиваться максимальной равномерности распределения удобрений по площади центробежными разбрасывателями путем правильной их регулировки и перекрытия смежных проходов, строго контролировать своевременность включения и выключения рабочих органов туковых машин на разворотах.

При использовании самолетов важно обеспечить четкую сигнализацию и обозначение границ удобряемой площади и не вносить удобрения в ветреную погоду.

Применение авиации для внесения удобрений и ядохимикатов хотя и увеличивает затраты, но крайне необходимо в случаях срочной химической обработки полей или при невозможности использования наземных машин на сильно переувлажненных полях. Повышенные затраты на применение удобрений и ядохимикатов окупаются при этом дополнительной прибавкой урожая, получаемой в результате соблюдения оптимальных сроков проведения работ. Поэтому внесение удобрений наземными машинами и авиаметодом должны рационально дополнять друг друга. Соотношение объемов работ, выполняемых тем и другим способом, устанавливается исходя из конкретных зональных условий.

Для выполнения авиационно-химических работ, обеспечения взлета, посадки и обслуживания самолетов и вертолетов необходимы аэродромы, которые могут быть временными и постоянными. Временные аэродромы не имеют постоянных сооружений и эксплуатируются ограниченный срок. Постоянный аэродром должен обеспечивать эксплуатацию самолетов и вертолетов в течение продолжительного срока. Загрузка самолетов удобрениями и ядохимикатами производится со складов пунктов агрохимического обслуживания или с центрального прирельсового склада. Под строительство аэродромов отводят наименее продуктивные земли, причем взлетная полоса должна располагаться на участке с ровным рельефом (уклоны не более 3°).

Оптимальная площадь, обслуживаемая с одного аэродрома при эксплуатации любых типов летательных аппаратов, зависит от их количества, скорости и грузоподъемности, норм внесения удобрения, площади обрабатываемых полей и их расположения, сроков и продолжительности проведения работ и других факторов.

#### **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА ПРИ РАБОТЕ С МИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ**

При работе с минеральными удобрениями все работающие должны строго соблюдать правила техники безопасности и охраны труда.

К работе с удобрениями и известковыми материалами допускаются лица не моложе 18 лет. Все работники (кладовщики, механизаторы,

грузчики и др.) перед началом работы с удобрениями должны пройти инструктаж по технике безопасности и охране труда. Правила техники безопасности и санитарные правила при обращении с удобрениями вывешиваются в помещении склада. При работе с удобрениями на складе и вне склада все работающие должны надеть рекомендуемую для данного вида работы спецодежду: комбинезон, рукавицы, очки, респираторы или (при работе с аммиачной селитрой) противогазы. При хранении аммиачной селитры необходимо соблюдать противопожарные правила. Нельзя хранить ее навалом вне склада и совместно с горючими веществами (торфом, соломой, нефтепродуктами и др.). В складе, где хранят аммиачную селитру, нельзя курить, пользоваться открытым огнем и обогревательными приборами. Возникающий пожар следует тушить только водой. При тушении пожара необходимо пользоваться противогазом, чтобы избежать отравления выделяющимися окислами азота. Особую осторожность следует соблюдать при работе с жидким аммиаком. Емкости для его хранения и транспортировки должны иметь герметически закрывающиеся люки. При попадании жидких азотных удобрений на кожу их необходимо быстро смыть водой. При тяжелом отравлении аммиаком пострадавшего выносят на свежий воздух и вызывают врача. В случае прекращения дыхания необходимо сделать ему искусственное дыхание.

При внесении удобрений нельзя находиться вблизи разбрасывающих рабочих органов машины, а при работе дисковых разбрасывателей ближе 50—80 м от них. Загрузку машин удобрениями следует проводить только при полной их остановке. Все приводы машины должны быть закрыты щитами. Смазку и регулировку рабочих органов следует проводить только при полной остановке машины и выключенном двигателе трактора. Нельзя сидеть на машине и находиться между трактором и машиной при транспортировке и внесении удобрений. Скорость движения машин при внесении удобрений не должна быть выше установленной техническими условиями. В транспорте с минеральными удобрениями запрещается перевозка людей, пищевых продуктов, питьевой воды и предметов домашнего обихода.

При непрерывной работе с удобрениями рекомендуется делать 5-минутные перерывы через каждые полчаса работы в респираторе.

По окончании работы следует принять душ или тщательно вымыться с мылом. На месте работы постоянно должны быть запас чистой воды и аптечка.

При попадании удобрений в глаза следует промыть их большим количеством чистой воды и затем обратиться в медпункт, а при ожоге промыть обожженные места сильной струей воды, обработать 5%-ным раствором спирта и наложить марлевую повязку.

Строгое соблюдение правил техники безопасности и необходимых санитарных правил является непременным условием правильной организации труда при работе с минеральными удобрениями.

### Контрольные вопросы

1. Каким основным требованиям должен отвечать склад для хранения минеральных удобрений и ядохимикатов?
2. Правила хранения различных минеральных удобрений на складах.
3. Причины потерь минеральных удобрений при их транспортировке и основные мероприятия для их снижения.
4. Перечислите мероприятия по устранению потерь при подготовке минеральных удобрений к внесению, перевозке к полю и внесению.
5. Перечислите основные правила техники безопасности и охраны труда при работе с удобрениями.

### ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

#### Распознавание удобрений по качественным реакциям

Название удобрения (и содержание действующего вещества в нем, в %) обычно указывается на таре (упаковке) или в документе, который выдается при получении удобрения. Однако иногда удобрения прибывают без соответствующих документов или они теряются в хозяйстве. Поскольку многие минеральные удобрения по внешнему виду весьма сходны между собой, то возможно внесение в почву не того удобрения, которое требуется, или неправильное их смешение и т. д. В результате резко снизится эффективность их использования.

При известном навыке и наличии немногих реактивов каждый агроном непосредственно в хозяйстве может легко определить любое минеральное удобрение и отличить его от других.

Для распознавания минеральных удобрений используют следующие простые качественные химические реакции.

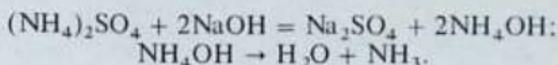
**Принцип определения.** Для распознавания минеральных удобрений используют следующие качественные реакции.

1. **Растворимость в воде.** Удобрения по их растворимости можно разделить на три группы: а) полностью растворимые — все азотные (кроме цианамиды кальция) и калийные (кроме калимага) удобрения и некоторые сложные удобрения (аммофос и диаммофос); б) не полностью растворимые (растворяется не все количество взятого удобрения) — суперфосфат простой и двойной, калимаг, нитрофосы и нитрофоски; в) нерастворимые — все фосфорные (кроме суперфосфата), известковые удобрения и гипс.

2. **Проба на раскаленном угле** проводится с кристаллическими и хорошо растворимыми в воде удобрениями. Небольшое количество соли (крупные кристаллы предварительно растирают), помещенной на раскаленный древесный уголь, может оставаться без изменения или потрескивать (калийные удобрения), плавиться и дымить, выделяя аммиак (аммонийные удобрения и мочевины), вспыхивать и сгорать (селитры), выделяя аммиак ( $\text{NH}_3$ ) или окрашивая пламя в желтый ( $\text{NaNO}_3$ ) или фиолетовый ( $\text{KNO}_3$ ) цвет.

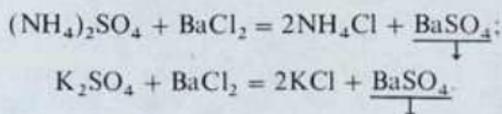
3. **Реакция со щелочью** ( $\text{NaOH}$ ) используется для определения аммонийных удобрений по выделению аммиака. Если при добавлении к раствору удобрения (в пробирке) небольшого количества

щелочи (реактив 4) обнаруживается отчетливый запах аммиака, то это свидетельствует о наличии аммония в удобрении:



Реакция с NaOH является специфической для аммонийных форм удобрений.

4. Реакция с хлористым барием ( $\text{BaCl}_2$ ) обнаруживает наличие в удобрении аниона серной кислоты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). При добавлении к раствору удобрения, содержащего  $\text{SO}_4^{2-}$ , например  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$ , 1—2 капля  $\text{BaCl}_2$  (реактив 2) образуется мелкокристаллический белый осадок сернокислого бария ( $\text{BaSO}_4$ ), нерастворимый в слабой соляной или уксусной кислоте (реактив 5):



5. Реакция с азотнокислым серебром ( $\text{AgNO}_3$ ) служит для открытия ионов хлора ( $\text{Cl}^-$ ) и фосфорной кислоты ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) в удобрениях. При добавлении 1—2 капля раствора  $\text{AgNO}_3$  (реактив 3) к раствору любого удобрения, содержащего анион  $\text{Cl}^-$  ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{KCl}$  и др.), образуется хлористое серебро ( $\text{AgCl}$ ), которое выпадает в виде белого осадка, створаживающегося при встряхивании пробирки:  $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{AgNO}_3 = \text{NH}_4\text{NO}_3 + \underline{\text{AgCl}}$ .

С раствором фосфорного удобрения, например суперфосфата, азотнокислое серебро образует фосфорнокислое серебро ( $\text{AgH}_2\text{PO}_4$ ), окрашенное в желтый цвет.

6. Проба с кислотой ( $\text{HCl}$ ) используется для отличия аморфных и слабо растворимых или нерастворимых в воде удобрений — фосфорных и известковых. К небольшому количеству ( $\frac{1}{5}$  чайной ложки) удобрения, помещенного в чистую и сухую пробирку, приливают из капельницы несколько капель соляной или уксусной кислоты (реактив 5). При этом одни удобрения вскипают (известковые и томашлак) вследствие выделения пузырьков углекислого газа:  $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ , а другие (суперфосфат, преципитат и фосфоритная мука) от кислоты не вскипают.

Реакцией на лакмус определяется реакция удобрения. Кислую реакцию имеет суперфосфат из-за присутствия в нем свободной фосфорной и серной кислот. Синяя лакмусовая бумажка, опущенная в пробирку с водным раствором (суспензией) этого удобрения, становится красной. Другие сходные по внешнему виду удобрения (преципитат, гипс) имеют нейтральную реакцию, т. е. лакмусовая бумажка в водной суспензии этих удобрений остается без изменения. Щелочную реакцию имеют томашлак и цианамид кальция (красная лакмусовая бумажка синет).

Ход анализа. По качественным реакциям и внешнему виду различают основные минеральные удобрения, которые должны быть в лабораторном наборе. Распознавание их лучше проводить, руководствуясь схемой (рис. 14).

Результаты реакций с каждым удобрением записывают по следующей форме:

Номер удобрения	Название удобрения	Формула	Внешний вид	Цвет и запах	Проба на раскаленном угле	Реакция с NaOH	Реакция с BaCl <sub>2</sub>	Реакция с AgNO <sub>3</sub>	Реакция с кислотой	Реакция на лакмус	Прочие реакции

Прежде всего удобрения разделяют по внешнему виду на две группы: кристаллы (или гранулы) — азотные и калийные удобрения и порошки (или гранулы) — известковые и фосфорные удобрения (а также калимаг). Начинают распознавание удобрений с первой группы — кристаллических солей, хорошо растворимых в воде. Проводят качественные реакции в последовательности, которая предусматривается схемой.

Для определения растворимости щепотку удобрения (1—2 г) помещают в чистую пробирку, добавляют 15—20 мл дистиллированной воды (реактив 1) и пробирку хорошо встряхивают. Наблюдают за растворимостью удобрения. Затем раствор удобрения разливают поровну в три чистые пробирки и используют их для реакции с NaOH, BaCl<sub>2</sub> и AgNO<sub>3</sub>.

Пробой на раскаленном угле отличают селитры (вспыхивают и сгорают), аммонийные удобрения и мочевины (плавятся и дымят с запахом аммиака) и калийные удобрения (остаются без изменения или потрескивают). Селитры отличают по цвету пламени (при сгорании на угле): аммиачная селитра (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) сгорает бесцветным пламенем (а иногда только плавится и дымит с запахом аммиака); натриевая селитра (NaNO<sub>3</sub>) на угле вспыхивает и сгорает, окрашивая пламя в желто-оранжевый цвет; калийная селитра (KNO<sub>3</sub>) сгорает фиолетовым пламенем. Аммиачная селитра отличается от натриевой и калийной также тем, что при действии на раствор ее в пробирке щелочью выделяется аммиак, тогда как в случае NaNO<sub>3</sub> и KNO<sub>3</sub> аммиак не выделяется.

При реакции со щелочью выделяют аммиак также сульфат аммония [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>], хлористый аммоний (NH<sub>4</sub>Cl) и аммофос (NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>). Мочевина в отличие от аммонийных удобрений со щелочью аммиака не выделяет, но на раскаленном угле, так же как и аммиачные удобрения, плавится и дымит с отчетливым запахом аммиака. Реакцией с хлористым барием (BaCl<sub>2</sub>) отличают (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> от NH<sub>4</sub>Cl и NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. Сульфат аммония с раствором BaCl<sub>2</sub> дает



обильный молочно-белый осадок, который не растворяется при добавлении в пробирку уксусной или соляной кислоты. Хлористый аммоний и аммофос с  $\text{BaCl}_2$  осадка не дают (или дают слабую муть). Для их отличия используют реакцию с азотнокислым серебром:  $\text{NH}_4\text{Cl}$  с  $\text{AgNO}_3$  дает белый творожистый осадок, а в случае  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  наблюдается пожелтение раствора и осадка. Калийные удобрения отличаются друг от друга по реакциям с  $\text{BaCl}_2$  и  $\text{AgNO}_3$ . С хлористым барием сернокислые соли калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) и калимагнезия  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$  дают обильный белый осадок, нерастворимый в кислотах. Отличить сернокислые соли калия от  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , дающего такую же реакцию с  $\text{BaCl}_2$ , можно по реакции с  $\text{NaOH}$ : сульфат аммония со щелочью выделяет аммиак, а сульфат калия не выделяет. Хлористые калийные соли ( $\text{KCl}$ , сильвинит  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$  и 40%-ная калийная соль) с  $\text{BaCl}_2$  осадка не образуют или дают лишь слабую муть, но с азотнокислым серебром эти удобрения дают обильный белый творожистый осадок  $\text{AgCl}$ . Отличить их друга от друга можно по внешнему виду: хлористый калий представлен, как правило, мелкими белыми (или иногда оранжевыми) кристаллами; сильвинит — крупными разноцветными (белые, розовые, синие) кристаллами; 40%-ная калийная соль представляет собой механическую смесь  $\text{KCl}$  с сильвинитом, по внешнему виду — это белые мелкие кристаллы ( $\text{KCl}$ ) с примесью разноцветных кристаллов сильвинита. Отличить  $\text{KCl}$  от  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , дающих одинаковую реакцию с  $\text{AgNO}_3$  и близких по внешнему виду, можно также реакцией с  $\text{NaOH}$ : хлористый аммоний со щелочью выделяет аммиак, а хлористый калий не выделяет. По внешнему виду легко отличается от других калийных удобрений калимаг, который имеет не кристаллическое, а аморфное строение.

Распознавание аморфных (порошковидных) удобрений начинают с разделения их по цвету на две группы: 1) имеющие белый или грязно-белый цвет — известковые, гипс, а из фосфорных удобрений — суперфосфат и преципитат; 2) имеющие черный и землисто-серый цвет (цианамид кальция, томасшлак и фосфоритная мука) или серые гранулы, заметно растворимые в воде (калимаг). Для отличия друг от друга удобрений первой группы прежде всего проделывают реакцию с кислотой.

Известковые удобрения ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ) от кислоты вскипают, а гипс, преципитат и суперфосфат не вскипают. Суперфосфат  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в отличие от преципитата и гипса имеет специфический запах кислоты и кислую реакцию (покраснение синей лакмусовой бумажки в водной суспензии удобрения). Преципитат  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  не имеют запаха, и реакция их нейтральная. Отличить их друг от друга можно реакцией с азотнокислым серебром. При добавлении к водной суспензии преципитата в пробирке 1—2 капля раствора  $\text{AgNO}_3$  наблюдается пожелтение раствора и осадка, а в случае гипса — пожелтения нет.

Для отличия удобрений второй группы прежде всего обращают внимание на внешний вид, цвет и реакцию удобрения (пробой на лакмус). Фосфоритная мука  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  — удобрение землисто-серого

цвета, имеет нейтральную реакцию, а томашшлак  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaO}$  и цианамид кальция  $\text{CaCN}_2 + \text{C} + \text{CaO}$  имеют черный цвет и щелочную реакцию. Отличить их друг от друга можно по реакции с кислотой: томашшлак при добавлении  $\text{HCl}$  вскипает и оседает на дно, а цианамид кальция вскипает с образованием на стенках пробирки колец черной пены. Цианамид кальция более легкий порошок, обычно темного (черно-синего) цвета с запахом керосина. Калимаг  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$  в отличие от фосфорных и известковых удобрений имеет серые, заметно растворимые в воде гранулы. Кроме того, образует обильный белый осадок с раствором  $\text{BaCl}_2$ .

При проведении этой работы важно не только определить данный набор удобрений, но и научиться по 1—2 специфическим реакциям, характерным для каждого удобрения, безошибочно и быстро в производственной обстановке отличить любое минеральное удобрение от всех других. (Открытие отдельных ионов в составе комплексных удобрений проводится аналогичным образом.)

**Материалы и оборудование.** Древесный уголь. Промывалка. Реактивные склянки или бутылки емкостью 0,5 л. Капельницы для  $\text{BaCl}_2$  и  $\text{AgNO}_3$ . Набор стеклянных пробирок (по 10 шт.) и деревянные штативы для них. Ложки или шпатели (фарфоровые или металлические). Газовая или спиртовая горелка или электрическая плитка для раскалывания угля. Лакмусовые бумажки (синие и красные). Набор основных минеральных удобрений (в склянках на 250—300 мл).

**Реактивы.** 1. Дистиллированная вода (можно заменить снеговой или дождевой). 2. 2—5%-ный раствор хлористого бария. 3. 1—2%-ный раствор азотнокислого серебра. 4. 8—10%-ный раствор щелочи ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ). 5. 1%-ный раствор соляной кислоты или разбавленная в 10 раз уксусная эссенция.

#### Знакомство с методами количественного анализа минеральных удобрений

С помощью количественного химического анализа определяют содержание основного питательного вещества (азота, фосфора и калия) в минеральных удобрениях, а также сопутствующих примесей (нерастворимого остатка, хлора, натрия, магния и др.).

Все виды и формы минеральных удобрений имеют определенное содержание действующего вещества, сопутствующих примесей и влаги, отвечающее утвержденному ГОСТ на данное удобрение (для одного и того же удобрения, но выпускаемого разными туковыми заводами, эти показатели могут различаться). Они контролируются непосредственно на предприятиях, производящих удобрения. Содержание действующего вещества в удобрении обычно указывается на таре (упаковке) и в соответствующих документах при поставке его хозяйству. Однако в практике иногда возникает необходимость количественного химического анализа промышленных удобрений, во-первых, для контроля за качеством удобрений в арбитражных целях [если есть подозрение, что содержание основного питательного вещества (или другие показатели) в удобрении, поставляемом туковым заводом, не отвечает требованиям ГОСТ] и, во-вторых, если качество удобрений (особенно содержание в них действующего вещества) изменяется в результате неправильного хранения или смешивания.

Установить эти отклонения можно с помощью количественного химического анализа, который проводится Зональными агрохимическими лабораториями.

В настоящее время Государственными и отраслевыми стандартами закреплены методы определения азота, фосфора и калия в удобрениях.

Для анализа азотных удобрений на содержание азота в них типовыми методами являются:

а) определение аммонийного азота в удобрениях формалиновым методом, основанным на взаимодействии  $\text{NH}_4^+$  удобрения с формалином и выделении при этом эквивалентного количества кислоты, которую учитывают титрованием щелочью;

б) при анализе сложных удобрений (аммофос, диаммофос и др.) для определения аммонийного азота (в присутствии фосфорной кислоты) рекомендуется применять методику, основанную на окислении аммонийного азота хлорамином с последующим определением образующегося  $\text{N} - \text{NO}_3$  по методу Деварда;

в) определение нитратного азота в нитратных удобрениях и суммы аммонийного и нитратного азота в аммиачно-нитратных удобрениях методом Деварда, который основан на восстановлении  $\text{N} - \text{NO}_3$  до  $\text{N} - \text{NH}_4$  сплавом Деварда (сплав меди, цинка и алюминия) с последующим отгоном аммиака и титрометрическим его определением;

г) определение амидного азота в карбамиде путем превращения его в аммиачный с последующей отгонкой и титрометрическим определением или же образовавшийся аммонийный азот определяется формалиновым методом.

При анализе фосфорных удобрений определяется содержание общего, усвояемого и водорастворимого фосфора. При определении общего фосфора извлечение его из удобрения производится 20%-ным раствором  $\text{HCl}$  или разбавленной (1 : 2) азотной кислотой. Усвояемый фосфор извлекают из удобрения раствором цитрата (лимоннокислого) аммония (раствор Петермана) или раствором 2%-ной лимонной кислоты, водорастворимый фосфор — дистиллированной водой. Количественное определение извлеченного фосфора проводится следующими типовыми методами:

а) весовой (магнезиальный) метод, основанный на осаждении фосфат-иона магнезиальной смесью в виде  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$  с последующим прокаливанием осадка и его взвешиванием (см. стр. 296—298);

б) фотометрический метод определения фосфора (по синему фосфорномолибденовому комплексу) основан на способности молибденовокислого аммония давать с фосфорной кислотой фосфорномолибденовый комплекс, окрашивающий раствор в синий цвет; интенсивность окраски анализируемого раствора сравнивают с окраской образцового раствора — известной концентрации с помощью электрофотоколориметра (см. стр. 304).

Для анализа калийных и сложных удобрений на содержание в них калия используют следующие типовые методы:

1) весовой тетрафенилборатный метод, основанный на осаждении

калия тетрафенилборатом натрия  $\text{NaB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$  с последующим высушиванием и взвешиванием полученного осадка тетрафенилбората калия;

2) пламенно-фотометрический метод, основанный на определении калия в растворе с помощью пламенного фотометра (см. стр.307). Этот метод применяется в ЗАЛ, определение проводится быстро и с высокой точностью.

Подробная пропись указанных выше методов количественного анализа минеральных удобрений дается в специальных руководствах и инструкциях.

Практические занятия по хранению, организации работ по смешиванию удобрений, изучению техники и способов их внесения проводятся в период учебной практики.

## ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ

К органическим удобрениям относятся навоз, торф, навозная жижа, птичий помет, фекалий, различные компосты, зеленое удобрение. Органические удобрения содержат азот, фосфор, калий, кальций и другие элементы питания растений, а также органическое вещество, которое положительно влияет на свойства почвы.

Содержание азота, фосфора и калия в органических удобрениях по сравнению с минеральными невысокое, поэтому их не перевозят на далекие расстояния, а используют на месте получения и называют местными удобрениями.

## НАВОЗ

Навоз — важнейшее органическое удобрение. В его составе находятся все основные питательные вещества, необходимые растениям, поэтому его называют полным удобрением.

В настоящее время в нашей стране ежегодно используется около 800 млн. т навоза, в котором содержится около 11 млн. т основных питательных веществ (около 4 млн. т N, 2 млн. т  $P_2O_5$  и 4,8 млн. т  $K_2O$ ). Это количество питательных веществ эквивалентно 42,5 млн. т минеральных удобрений, в том числе: 20 млн. т азотных, 10 млн. т фосфорных и 12,5 млн. т калийных удобрений (в стандартных туках).

Следовательно, навоз — важный источник элементов питания растений, его использование имеет большое значение для регулирования круговорота веществ в земледелии. Указывая на громадное значение навоза, Д. Н. Прянишников писал: «Как бы ни было велико производство минеральных удобрений в стране, навоз никогда не потеряет своего значения, как одно из главнейших удобрений в сельском хозяйстве».

Многочисленные опыты научно-исследовательских учреждений и практика передовых хозяйств показывают, что повышение урожайности сельскохозяйственных культур, особенно в Нечерноземной зоне, в значительной степени зависит от количества и качества применяемого навоза, правильного его хранения и использования. По данным научных учреждений Нечерноземной зоны, средние нормы навоза (20—30 т на 1 га) дают в год внесения следующие средние прибавки урожая (ц на 1 га): зерновых 6—7, картофеля 60—70, корнеплодов и силосных

культур 150—200. При правильном использовании навоз дает высокий эффект во всех зонах страны и на всех типах почв.

Навоз повышает урожай сельскохозяйственных культур не только в год внесения, но и оказывает значительное последствие. Опыты показывают, что 20—30 т навоза обеспечивают суммарную прибавку урожая 4—5 культур севооборота, равную в пересчете на зерно 20—30 ц с 1 га, то есть каждая тонна внесенного в почву навоза дает за время его действия прибавку урожая сельскохозяйственных культур, равную 1 ц зерна.

В зависимости от технологии содержания животных получают подстилочный навоз и бесподстилочный (полужидкий и жидкий) навоз, которые отличаются по составу, способам хранения и использования.

### Состав подстилочного навоза

Подстилочный навоз состоит из твердых и жидких выделений животных и подстилки. Состав и удобрительная ценность его зависят от вида животных, состава кормов, качества и количества подстилки и способа хранения навоза.

Количество и соотношение твердых и жидких выделений животных и их состав значительно различаются у отдельных видов скота. У лошадей в 3,5 раза, а у овец и крупного рогатого скота в 2,5 раза больше твердых, чем жидких, выделений; у свиней количество мочи в 2 раза больше, чем кала.

Твердые и жидкие выделения животных неравноценны по составу и удобрительным качествам. В жидких выделениях содержится больше азота (0,4—1,9%) и калия (0,5—2,3%), чем в твердых (0,3—0,6% N и 0,1—0,3% K<sub>2</sub>O), а фосфора, наоборот, значительно больше в твердых выделениях (0,17—0,41%), чем в жидких (0,07—0,1%). Подавляющее количество фосфора, выделяемого из организмов животных, находится в кале, а основная часть калия и от  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{2}{3}$  азота — в жидких выделениях. Азот и фосфор в твердых выделениях содержатся в составе органических соединений и переходят в доступную для растений форму после их минерализации. В жидких выделениях элементы питания представлены в растворимой, легкодоступной форме.

На состав и соотношение твердых и жидких выделений животных влияет количество и качество потребляемых кормов. Чем больше скармливается сочных кормов и выше их влажность, тем больше жидких выделений. Чем корм переваримее, тем меньше сухого вещества содержится в твердых выделениях. При увеличении количества концентрированных кормов возрастает содержание в навозе азота и фосфора. В среднем из потребляемого животными корма в навоз переходит около 40% органического вещества, 50% азота, 80% фосфора и до 95% калия.

В таблице 36 приведен состав свежего навоза отдельных видов скота при использовании соломенной и торфяной подстилок. Содержание питательных веществ в навозе зависит от вида животных. Навоз лошадей и овец содержит меньше воды и больше органического

36. Состав свежего навоза в зависимости от вида животных и подстилки, %

Составные части навоза	На соломенной подстилке					На торфяной подстилке	
	смешанный	коров	лошадей	овец	свиней	коров	лошадей
Вода	75	77,3	71,3	64,6	72,4	77,5	67,0
Органическое вещество	21	20,3	25,4	31,8	25,0	—	—
Азот общий	0,50	0,45	0,58	0,83	0,45	0,60	0,80
Азот аммиачный	0,15	0,14	0,19	—	0,20	0,18	0,28
Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,25	0,23	0,28	0,23	0,19	0,22	0,25
Калий (K <sub>2</sub> O)	0,60	0,50	0,63	0,67	0,60	0,48	0,53
Кальций (CaO)	0,35	0,40	0,21	0,33	0,18	0,45	0,44
Магний (MgO)	0,15	0,11	0,14	0,18	0,09	—	—

вещества, а также азота, фосфора и калия, чем коровий и свиной навоз. Для увеличения выхода навоза и повышения его качества большое значение имеет вид и количество подстилочного материала. Подстилка улучшает физические свойства навоза, впитывает мочу и поглощает образующийся при ее разложении аммиак и таким образом уменьшает потери азота. Особенно важное значение имеет способность подстилки поглощать жидкость и газы. Содержание в ней азота и зольных веществ также сказывается на качестве навоза.

В качестве подстилки применяют солому злаковых и торф или торфяную крошку, реже — древесные стружки и опилки. Средние суточные нормы подстилки соломы злаковых и мохового торфа на одну голову (в кг) составляют соответственно для коров 4—6 и 5—8, лошадей 2—4 и 3—5, овец 0,5—1 и 1—1,5 и свиней 1—2 и 1,5—2. С увеличением количества подстилки увеличивается накопление навоза и в 3—4 раза уменьшаются потери азота при хранении навоза (табл. 37).

37. Влияние количества подстилки на накопление навоза и сохранение в нем азота

Вид подстилки	Количество подстилки в сутки на одну корову, кг	Накопление навоза от одной коровы за стойловый период в 200 дней, т	Потери азота за 3,5 месяца хранения навоза, %
Солома ржаная	2	6,8	43,9
» »	4	8,2	31,2
» »	6	9,4	12,4
Торф верховой	6	10,4	12,5
» низинный	20	12,2	3,4

Наиболее ценным подстилочным материалом считается торф, который содержит в 3—4 раза больше азота, чем солома, и обладает значительно большей поглощательной способностью — почти полностью поглощает мочу и образующийся при ее разложении аммиак. Навоз на торфяной подстилке содержит меньше калия, но больше общего и аммиачного азота, чем навоз на соломенной подстилке. Эффективность его значительно выше, особенно на дерново-подзолистых почвах.

Для подстилки лучше всего использовать слаборазложившийся (содержащий менее 20% гумифицированных органических веществ) верховой (моховой) торф с влажностью 30—40%. При использовании на подстилку низинного, более разложившегося торфа его берут в удвоенном количестве и во избежание загрязнения животных застилают сверху слоем соломы.

Чаще всего для подстилки используют солому в виде резки длиной 8—15 см. В этом случае она больше впитывает мочи, равномернее увлажняется, навоз получается более однородный, плотнее укладывается в штабель и при хранении меньше теряет азота, его удобнее вносить в почву и можно равномернее распределить по полю. Потеря азота из такого навоза уменьшается почти в два раза, а эффективность повышается примерно в 1,5 раза (табл. 38).

38. Влияние резки соломенной подстилки на качество коровьего навоза и его эффективность (данные ВИУА)

Количество соломенной подстилки в сутки	Потери N за 3 месяца хранения навоза, %	Урожай картофеля при внесении 20 т на 1 га навоза, ц с 1 га	Прибавка урожая картофеля к урожаю на удобрённом участке, %
4 кг цельной соломы	20,6	281,4	66,9
4 кг резки длиной 10 см	12,8	312,7	100,2

При использовании на подстилку мелкой стружки и древесных опилок получается навоз плохого качества. Он имеет низкое содержание азота и медленно разлагается.

Количество получаемого в хозяйстве навоза зависит от вида животных, общего поголовья скота, продолжительности стойлового периода, количества кормов и применяемой подстилки. Количество навоза, получаемого в хозяйстве, можно подсчитать по формуле:

$$\left(\frac{K}{2} + П\right) \cdot 4,$$

где  $K$  — сухое вещество корма,  $П$  — количество подстилки, 4 — коэффициент (масса сырого навоза в 4 раза больше, чем масса сухого вещества корма).

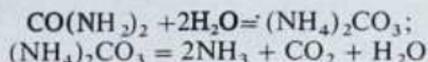
Общее количество навоза можно определить также исходя из имеющегося поголовья скота и количества навоза, получаемого от одной головы в год (табл. 39) с учетом потерь при работе и на пастбище.

39. Примерное количество навоза, т, получаемого от одной головы скота за год

Продолжительность стойлового периода, дней	Крупный рогатый скот (или две головы молодички до двух лет)	Лошади	Овцы
От 200 до 220	7—8	5—6	0,8—0,9
От 180 до 220	6—7	4—5	0,6—0,8
Меньше 180	4—5	2,5—3	0,4—0,5

## Хранение подстилочного навоза

Количество и качество навоза в большой степени зависят от способа его хранения. При хранении навоза под влиянием микроорганизмов происходит разложение азотистых и безазотистых органических веществ. Мочевина и другие органические азотистые соединения, содержащиеся в жидких выделениях животных, превращаются в газообразный аммиак, представляющий основной источник потерь азота из навоза. Мочевина под действием фермента уреазы, выделяемого уробактериями, превращается в углекислый аммоний, которые легко распадается на аммиак, углекислоту и воду:



Азотистые соединения твердых выделений и подстилки состоят преимущественно из белковых веществ и очень медленно разлагаются с образованием аммиака. Безазотистые органические вещества навоза представлены в основном клетчаткой и другими легкоразлагающимися органическими соединениями (сахара, крахмал, пентозаны, пектины, органические кислоты). Чем более солоmistый навоз, тем больше в нем содержится безазотистых органических веществ. При доступе воздуха разложение их происходит до углекислоты и воды и сопровождается повышением температуры навоза до 50—70°C. При анаэробных условиях клетчатка разлагается с образованием углекислоты и метана.

При большем содержании в навозе легкоразлагающихся органических веществ и лучшем доступе воздуха разложение его протекает интенсивнее. В зависимости от условий хранения разложение навоза происходит с различной интенсивностью и навоз получается разного качества. Существуют плотный, рыхлый и рыхло-плотный способы хранения навоза.

При плотном, или холодном, способе хранения навоз укладывают слоями 3—4 м шириной и немедленно уплотняют. Штабель делают высотой 1,5—2 м и длиной в зависимости от количества навоза. Сверху его покрывают торфом или соломой. Температура в таком плотно уложенном штабеле бывает невысокой (20—30°C), доступ воздуха в него ограничен, свободные от воды поры заняты углекислотой, в результате чего микробиологическая деятельность затрудняется, поэтому разложение органического вещества протекает медленно.

Свежий навоз становится полуперепревшим через 3—5 месяцев. Потери азота при таком способе хранения сравнительно небольшие (табл. 40). Навоз, хранившийся плотным способом, содержит значительное количество аммиачного азота, эффективность его значительно выше, чем при других способах хранения.

При рыхлом хранении навоза без уплотнения происходят наибольшие потери органического вещества и азота (табл. 40), навоз разлагается неравномерно, удобрительное качество его снижается.

При рыхло-плотном (горячем) способе хранения навоз укладывают сначала рыхлым слоем высотой 0,8—1 м. При такой укладке

микробиологические процессы протекают в условиях хорошего доступа воздуха, происходит интенсивное разложение органического вещества навоза, температура поднимается до 60—70°C и происходят значительные потери азота. После этого навоз тщательно уплотняют, при этом доступ воздуха внутрь штабеля прекращается, температура снижается до 30—35°C, аэробные условия разложения сменяются анаэробными, потери органического вещества и азота уменьшаются. На первый слой навоза в том же порядке накладывают второй слой, затем третий до тех пор, пока высота штабеля не достигнет 2—3 м. В плотном состоянии навоз хранится до вывозки в поле.

При этом способе хранения разложение навоза значительно ускоряется, в нем погибают семена сорных трав и возбудителей кишечного-желудочных заболеваний, но потери органического вещества и азота из навоза значительно увеличиваются (табл. 40).

40. Потери органического вещества и азота при разных способах хранения навоза, % от содержания их в свежем навозе

Способ хранения навоза	Соломенная подстилка, потери при хранении		Торфяная подстилка, потери при хранении	
	органического вещества	азота	органического вещества	азота
Рыхлый	32,6	31,4	40,0	25,2
Рыхло-плотный	24,6	21,6	32,9	17,0
Плотный	12,2	10,7	7,0	1,0

Рыхло-плотный способ хранения может быть рекомендован только в том случае, если применяется большое количество подстилки и навоз получается солоmistый, а вносить его нужно весной под яровые или пропашные культуры, а также при необходимости провести обеззараживание навоза.

Потери азота при разложении навоза во время хранения значительно сокращаются при добавлении к нему (при укладке в штабеля) фосфоритной муки в количестве 3% от массы навоза. При компостировании с фосфоритной мукой навоз обогащается фосфором, разложение органического вещества ускоряется, в компосте накапливается значительное количество гумусовых веществ.

Навозо-фосфоритный компост вполне созревает за 2—3 месяца в весенне-летнее время и за 3—4 месяца зимой. В процессе разложения навоза микроорганизмами под действием образующейся  $\text{CO}_2$  и органических кислот, фосфор фосфоритной муки переходит в доступную для растений форму. Одновременно происходит связывание выделяющегося из навоза аммиака с образованием  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  и поэтому сокращаются его потери.

Внесение навозо-фосфоритного компоста дает более высокий эффект, чем эквивалентные количества навоза и фосфоритной муки, раздельно или в смеси, но без предварительного их компостирования (табл. 41).

41. Эффективность навозо-фосфоритного компоста на дерново-подзолистой суглинистой почве (данные ВИУА)

Внесенные удобрения	Картофель		Яровая пшеница (последствие)	
	урожай, ц с 1 га	прибавка урожая, ц на 1 га	урожай, ц с 1 га	прибавка урожая, ц на 1 га
Без навоза	224	—	12,1	—
Навоз 15—20 т на 1 га	307	83	14,7	2,6
Фосфоритная мука	272	48	13,2	1,1
Навоз + фосфоритная мука без компостирования	314	90	16,5	4,4
То же, в виде компоста	355	131	16,7	4,6

Для хранения навоза в каждом хозяйстве необходимо иметь навозохранилище с жижесборником.

Навозохранилища бывают котлованного и наземного типов. В северных районах при высоком уровне грунтовых вод навозохранилища устраиваются на поверхности земли с боковыми бортами из камня, кирпича или других материалов. В южных и юго-восточных засушливых районах, где навоз быстро подсыхает, рекомендуется устройство навозохранилищ котлованного типа глубиной до 1 м. Навозохранилища располагают на возвышенных местах на расстоянии не менее 50 м от скотных дворов и свыше 200 м от жилых построек. Основное требование при постройке навозохранилища — устройство прочного и водонепроницаемого дна, лучше всего цементированного или асфальтированного. По длинным сторонам навозохранилища выкапываются водоотводные каналы. По узким сторонам или в углах навозохранилища устраивают колодцы-жижесборники с водонепроницаемым дном, стенами и герметичной крышкой. Для обеспечения стока в них жижи дно навозохранилища должно иметь уклон 2—3° в направлении к колодцам. Емкость жижесборников зависит от объема навозохранилища — на 100 м<sup>2</sup> площади должно быть около 2 м<sup>3</sup> емкости для сбора жижи. С обоих концов на всю ширину навозохранилища делаются мошечные или асфальтированные пологие въезд и выезд, а вдоль всего навозохранилища — проезжая дорога шириной 2,5 м. Размеры навозохранилища определяются в зависимости от количества скота, продолжительности хранения и от того, какая часть навоза может вывозиться непосредственно на поля, минуя навозохранилище. Примерная площадь на одно животное для хранения навоза в течение 2,5—3 месяцев следующая (м<sup>2</sup>): крупный рогатый скот — 2—2,5, молодняк крупного рогатого скота — 1—1,25, свиньи — 0,4—0,5, овцы — 0,2—0,3.

Типовое навозохранилище, рассчитанное на хранение навоза от 100 коров, получаемого в течение 2,5—3 месяцев (около 300 т), имеет следующие размеры: ширина 9 м, длина 21 м, высота или глубина 1 м.

Вопрос о типе навозохранилища решается в зависимости от местных условий. При котлованном хранении удобно осуществлять транспортировку навоза из скотного двора по подвесной дороге, но

затрудняется последующая погрузка для вывозки в поле. При наземном устройстве навозохранилища, наоборот, упрощается наиболее трудоемкая работа по погрузке и вывозке навоза из навозохранилища.

Весь навоз, который нельзя сразу вывезти в поле и сложить там в штабеля, необходимо складывать в навозохранилище. Навоз надо укладывать вдоль длинной стороны навозохранилища большими правильными штабелями шириной 2—3 м, тесно примыкающими друг к другу. При такой укладке потери азота меньше и навоз разделяется по степени разложения: в одной стороне навозохранилища навоз более разложившийся, в другой — менее. Штабеля покрывают сверху торфом или землей слоем 15—20 см. Ежегодно около 70% накапливаемого в хозяйствах навоза вывозят в поле зимой. В поле навоз необходимо укладывать в большие, хорошо уплотненные штабеля (по 40—60 т) шириной 3—4 м и высотой 1,5—2 м.

Для закладки штабеля выбирают высокое, сухое место, очищают его от снега и для поглощения жижи, которая выделяется при разложении навоза, укладывают слой (20—30 см) торфа или соломенной резки. Чтобы навоз не замерзал, укладку каждого штабеля необходимо заканчивать в 1—2 дня. Уложенный в штабель навоз с боков и сверху тщательно оправляют, чтобы стенки были отвесны, а верх имел покатость для стока воды. Сверху штабель покрывают слоем торфа толщиной 15—20 см.

Недопустима укладка навоза, вывезенного в поле зимой или весной, мелкими кучами. Навоз при этом сильно выветривается и пересыхает, а зимой промерзает и затем долго оттаивает, питательные вещества из него выщелачиваются дождевыми и талыми водами. Потери азота достигают 35—40%, причем аммиачный азот, который доступен растениям в первый год, теряется нацело. Удобрительное действие навоза при этом резко снижается.

В опытах Волоколамского опытного поля Московской области при внесении навоза (20 т на 1 га), вывезенного в поле зимой и хранившегося в больших, хорошо уплотненных штабелях, были получены прибавки урожая озимой ржи 5,9 ц и картофеля 74,4 ц на 1 га, а при внесении той же нормы навоза, хранившегося до запашки в мелких кучах, урожай озимой ржи повысился только на 2,1 ц и картофеля на 23,2 ц на 1 га.

Качество навоза в большой степени зависит от продолжительности его хранения. С увеличением срока хранения потери азота и органического вещества из навоза возрастают. В зависимости от способа и продолжительности хранения навоз получается различной степени разложения.

По степени разложения различают следующие виды навоза: свежий, слабо разложившийся (солома почти полностью сохраняет свой цвет и прочность), полуперепревший (солома темно-коричневого цвета, легко разрывается), перепревший (солома полностью разложилась, навоз имеет вид черной мажущейся массы) и перегной (рыхлая землистая масса).

С увеличением степени разложения навоза происходит значительное уменьшение его массы по сравнению с массой исходного свежего навоза,

42. Состав навоза, % в зависимости от степени его разложения  
(данные ВИУА и НИУИФ)

Показатели	Навоз			
	свежий	полуперепревший	перепревший	перегнивший
Содержание азота	0,52	0,60	0,66	0,73
Содержание фосфора (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,31	0,38	0,43	0,48
Содержание калия (K <sub>2</sub> O)	0,60	0,64	0,72	0,84
Потери в массе навоза от массы исходного свежего навоза	—	15—30	около 50	65—75

но процентное содержание азота, фосфора и калия повышается (табл. 42).

В перепревшем навозе и перегнившем содержании азота, фосфора и калия выше, чем в полуперепревшем, однако из 20 т свежего навоза получается 17—14 т полуперепревшего, 10 т перепревшего и 5—7 т перегнившего, а общее содержание азота в этой массе навоза разной степени разложения составит 104 кг в свежем навозе, 84—102 кг в полуперепревшем, 66 кг в перепревшем и 37—51 кг в перегнившем. Таким образом, при доведении навоза до стадии перепревшего и перегнившего теряется большое количество азота, соответственно около 40 и 60% от исходного количества, тогда как при получении полуперепревшего навоза — только около 15%.

Не рекомендуется вносить в почву и солоmistый свежий навоз, так как разложение соломы в почве сопровождается развитием большого количества микроорганизмов и потреблением ими растворимых соединений азота и фосфора из почвы. Внесение солоmistого навоза незадолго перед посевом может привести к снижению урожая первой культуры. Кроме того, свежий навоз содержит большое количество семян сорных растений, а также вызывает излишнюю аэрацию почвы, вредную в засушливых районах.

Наиболее рационально применять навоз в полуперепревшем состоянии, в котором лучше сохраняется азот, особенно аммиачный, и содержится больше органического вещества, чем в хорошо перепревшем навозе.

Фактическое количество навоза на скотных дворах в навозохранилищах и штабелях определяется по занятому им объему и массе 1 м<sup>3</sup> навоза. Примерная масса 1 м<sup>3</sup> свежего рыхлосложенного и уплотненного навоза соответственно составляет около 300 и 400 кг, полуперепревшего — 700—800 кг, а сильноразложившегося — 800—900 кг.

### Действие навоза на почву и растения

Полуперепревший навоз благодаря большому содержанию органического вещества оказывает положительное влияние на физические, физико-химические и биологические свойства почвы. При систематическом его внесении увеличивается содержание гумуса и общего азота в почве, снижается обменная и гидролитическая кислотность, уменьша-

ется содержание в почве подвижных форм алюминия и марганца, повышается степень насыщенности основаниями. Песчаные и супесчаные почвы становятся более связными, повышается их поглотительная способность и буферность, что способствует сохранению в них влаги и питательных веществ. Глинистые почвы под действием навоза становятся более рыхлыми, легче поддаются обработке, делаются более проницаемыми для воды и воздуха.

При систематическом внесении навоза не только снижается кислотность почвы (при дозе навоза 20—40 т на 1 га вносится 0,2—0,5 т кальция и магния в пересчете на карбонаты), но и улучшается питание растений кальцием, магнием, серой и микроэлементами. Важное значение имеет также выделяющаяся при разложении навоза углекислота. При разложении 30—40 т навоза ежедневно выделяется от 35 до 65 кг  $\text{CO}_2$ , что улучшает углеродное питание растений.

С навозом в почву вносится громадное количество микроорганизмов. Органическое вещество навоза — хорошо доступный источник пищи и энергетический материал для жизнедеятельности почвенной микрофлоры. Поэтому при внесении навоза усиливается микробиологическая деятельность почвы и мобилизация содержащихся в ней запасов питательных веществ.

В навозе содержатся все элементы питания, необходимые растениям. Доступность отдельных питательных веществ навоза различна и зависит от его качества, а также от почвенных и климатических условий. В 1 т полуперепревшего навоза содержится 4—5 кг азота, 2—2,5 кг фосфора и 5—7 кг калия.

Коэффициент использования азота из полуперепревшего навоза первой культурой зависит от содержания в нем аммиачного азота и составляет в среднем 20—30% от общего количества азота. В первый год растения усваивают главным образом аммиачный азот. В твердых выделениях животных и в подстилке азот находится в форме органических соединений, которые медленно минерализуются в почве и в первый год слабо используются растениями. В жидких выделениях азот находится преимущественно в форме растворимых соединений, легко превращающихся в аммиак. Поэтому чем больше жидких выделений поглощается подстилкой, тем богаче навоз аммиачным азотом и тем выше действие такого навоза в первый год после внесения. Навоз на торфяной подстилке обычно содержит больше аммиачного азота, поэтому и эффективность его в первый год выше, чем навоза на соломенной подстилке.

Коэффициент использования первой культурой фосфора и особенно калия из навоза выше, чем азота. Усвоение растениями фосфора в первый год составляет 30—40%, а калия 60—70% от общего содержания их в навозе. Из навоза в первый год лучше всего используется калий. Общее содержание калия в навозе также выше, чем азота и особенно фосфора. По сравнению с минеральными удобрениями азот навоза усваивается в первый год хуже, фосфор — лучше (почти в 2 раза, чем фосфор суперфосфата при разбросном внесении), а калий — в близкой степени.

При внесении навоза прежде всего обеспечивается калийное питание растений. Удобрительное же действие навоза главным образом определяется содержанием в нем общего и аммиачного азота, так как в большинстве почв, особенно Нечерноземной зоны, для нормального питания растений в первую очередь не хватает азота.

Навоз обладает значительным последствием. Использование азота, фосфора и калия из навоза второй культурой составляет обычно соответственно 15—20, 10—15 и 10—15%, третьей — 10—15, 5—10 и 0—10%. Использование питательных веществ навоза за ротацию севооборота (с учетом последствия) составляет: азота 50—60%, фосфора 50—60% и калия 80—90%, что близко к использованию соответствующих питательных веществ из минеральных удобрений. Результаты многолетних полевых опытов показывают, что при внесении навоза и минеральных удобрений в эквивалентных количествах по валовому содержанию питательных веществ суммарные прибавки урожаев всех культур за ряд лет (за одну и более ротаций севооборота) оказываются поэтому довольно близкими.

Однако урожай одних культур (клевер, пшеница, свекла) может быть выше по навозу, а других (рожь, овес, картофель) — по минеральным удобрениям. Преимущество навоза или минеральных удобрений для той или иной культуры зависит как от биологических особенностей растений, так и от свойств почвы. На кислых почвах, особенно при систематическом внесении физиологически кислых минеральных удобрений, преимущество будет на стороне навоза, а на некислых почвах — на стороне минеральных удобрений или они равноценны с навозом.

#### **Эффективность навоза и особенности его применения в различных почвенно-климатических условиях**

Прямое действие (в год внесения) и последствие навоза зависят от качества и нормы навоза и почвенно-климатических условий. Слаборазложившийся солоmistый навоз в первый год может действовать хуже, чем на второй и третий год. Чем больше вносится навоза, тем выше его прямое действие и продолжительнее последствие.

На глинистых почвах навоз разлагается медленно, последствие его сказывается даже на шестой-седьмой год после внесения; на супесчаных почвах навоз разлагается быстрее и действие его не столь длительно — три-четыре года. В более увлажненной Нечерноземной зоне разложение навоза происходит быстрее, чем в засушливых южных и юго-восточных районах, где навоз разлагается слабее из-за недостатка влаги в почве. Поэтому в Нечерноземной зоне прямое действие на первой культуре выше, чем в черноземной, а последствие на второй и третий год может быть ниже. В засушливых юго-восточных районах последствие часто превышает прямое действие на первую культуру (табл. 43).

Наиболее высокий эффект дает внесение навоза в северных, западных и центральных районах Нечерноземной зоны и на севере

43. Эффективность разных норм навоза по основным зонам СССР  
(средние прибавки в ц на 1 га)

Зона	20 т навоза на 1 га			30 т навоза на 1 га		
	действие на первой культуре (озимые зерновые)	последствие в пересчете на зерно		действие на первой культуре (озимые зерновые)	последствие в пересчете на зерно	
		первый год	второй год		первый год	второй год
Черноземная	6,5	3,4	2,5	7,4	5,7	3,8
Засушливая	4,5	4,0	3,2	5,2	5,5	4,6
Юго-восточная	2,2	3,5	3,0	3,0	4,0	3,8

черноземной зоны, более обеспеченных влагой. Средняя норма навоза в этих районах 20—40 т на 1 га.

На легких песчаных и супесчаных почвах, где навоз быстрее разлагается и питательные вещества могут вымываться, лучше вносить меньшие нормы навоза, но чаще. Высокие прибавки урожая зерновых, сахарной свеклы и других культур дает внесение навоза на черноземных почвах. Средняя норма навоза здесь 15—20 т на 1 га.

В засушливых районах эффективность навоза ниже, чем в более влажных районах. Вносят его в норме 10—15 т на 1 га. При надлежащей обработке почвы и других мероприятиях, обеспечивающих накопление и сохранение влаги, особенно при орошении, эффективность навоза в засушливых районах повышается и норму его можно увеличить.

Нормы навоза зависят от его качества и количества, а также удобряемой культуры. Под овощные и пропашные культуры (кукурузу, картофель, сахарную свеклу и др.) необходимо вносить более высокие нормы (30—40 т на 1 га), чем под зерновые (15—20 т на 1 га).

При недостатке навоза в хозяйстве бывает выгоднее внести меньшую норму навоза (например, 20 т на 1 га вместо 40 т на 1 га в Черноземной зоне и 10 т на 1 га вместо 20 и более т на 1 га в Черноземной), но удобрить большую площадь.

Наиболее рационально внесение навоза вместе с минеральными удобрениями. При этом действие навоза и минеральных удобрений заметно возрастает. Многочисленные опытные данные показывают, что при совместном внесении наполовину уменьшенных норм навоза и минеральных удобрений получаются более высокие прибавки урожая (на 20—60%), чем при раздельном внесении полных норм этих удобрений. Объясняется это тем, что при совместном внесении создаются более благоприятные условия питания растений, чем при раздельном внесении. За счет минеральных удобрений обеспечивается питание растений в первый период вегетации, а навоз, постепенно разлагаясь в почве, обеспечивает растения питательными веществами ко времени наибольшей потребности в них. Кроме того, при этом вследствие уменьшения вдвое нормы минеральных удобрений исключается отрицательное действие на отдельные растения повышенной концентрации солей, особенно опасной в начальный период роста.

менным поливом или орошением. Неразбавленный жидкий навоз крупного рогатого скота и свиней, полученный на крупных фермах и промышленных комплексах, соответственно содержит (%): сухого вещества 10—11,5 и 9,8—10,5%, азота 0,4—0,43 и 0,5—0,7, фосфора 0,28—0,20 и 0,40—0,25 и калия 0,45—0,50 и 0,21—0,24. При скармливании животным концентрированных кормов получаемый жидкий навоз отличается повышенным содержанием питательных веществ.

В бесподстилочном (жидком) навозе от 50 до 70% азота находится в аммиачной форме, хорошо доступной растениям в первый период внесения. Поэтому действие его на урожай культур в год внесения выше, чем подстилочного навоза, а последствие, наоборот, слабее. Фосфор и калий навоза используются растениями не хуже, чем из минеральных удобрений. Бесподстилочный навоз по эффективности не уступает подстилочному, полученному из такого же количества исходных экскрементов.

**Хранение жидкого навоза.** Бесподстилочный навоз в зависимости от почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условий, хранят от 2 до 6 месяцев. Для его хранения необходимы прифермские и полевые хранилища. Емкость прифермских хранилищ закрытого типа должна быть равна 25—40% от объема навоза, накапливаемого в течение 2—3 месяцев. Остальные 75—60% жидкого навоза хранятся в полевых навозохранилищах, представляющих собой открытые котлованы с пленочным покрытием дна и откосов, размещаемых в центре удобряемых массивов. Потери азота в закрытых и открытых хранилищах примерно одинаковые. При хранении жидкий навоз расслаивается. Сверху образуется плотный плавающий слой, внизу — осадок, а между ними — осветленная жидкость. Поэтому для надежной работы насосов, цистерн-разбрасывателей, дождевальных установок и равномерного внесения навоза необходимо его систематическое перемешивание для поддержания всей массы в однородном состоянии. Твердые частицы, содержащиеся в навозе перед поступлением его в хранилища, необходимо измельчать. При наличии трубопроводов всю массу жидкого навоза можно хранить в прифермских хранилищах и перекачивать в небольшие полевые емкости с гидрантами для непосредственной погрузки в цистерны-разбрасыватели или дождевальные установки. Прифермские хранилища проектируют объемом каждое не более 3—5 тыс. м<sup>3</sup>. Дно и стены емкостей должны быть хорошо гидроизолированы и устойчивы к агрессивному воздействию навоза, а дно имеет уклон к заборному устройству. Глубина и форма хранилища должны позволять забор жидкого навоза насосами и проведение его перемешивания. Закрытые емкости должны иметь вентиляцию, чтобы избежать накопления в них метана, сероводорода, аммиака и других вредных газов, образующих взрывоопасные смеси.

Потери органического вещества и азота при хранении жидкого навоза значительно меньше, чем при хранении подстилочного навоза (табл. 45).

45. Потери органического вещества и азота, %, при зимнем и летнем хранении навоза  
(по В. А. Васильеву)

Навоз	Зимнее хранение		Летнее хранение	
	органическое вещество	азот	органическое вещество	азот
Подстилочный	31—34	36—40	35—40	35—37
Бесподстилочный	5—8	9—8	9—15	4—14

При перемешивании жидкого навоза один раз в неделю потери органического вещества и азота за 4,5 месяца хранения увеличиваются почти вдвое, но и в этом случае они все же меньше, чем при хранении подстилочного навоза. Жидкий навоз перед использованием на удобрение должен подвергаться обеззараживанию на очистных сооружениях, термической обработкой, специальными химическими препаратами. Наиболее доступно обеззараживание способом метанового брожения, при котором не происходит потерь органического вещества и азота и одновременно получается горючий газ, который можно использовать как топливо.

Недопустимо использование жидкого навоза для подкормок или дождевания овощных и плодовых культур.

**Применение жидкого навоза.** Для транспортировки и внесения жидкого навоза на поверхность почвы применяют специальные цистерны-разбрасыватели. Транспортировка и внесение жидкого навоза могут осуществляться по следующим схемам:

1. Прифермское навозохранилище — цистерна — полевое навозохранилище — цистерна-разбрасыватель. Эта схема применяется при отсутствии трубопровода для перекачивания навоза из прифермского хранилища в полевое. Навоз выгружают из прифермского навозохранилища в цистерны-разбрасыватели, вывозят его в поле и разбрасывают с последующей заделкой в почву или заполняют полевые хранилища для хранения до внесения в почву.

2. Навозохранилище — трубопроводная сеть — дождевальная установка — поле. Эта схема используется при наличии трубопроводной сети и установки для дождевания, куда навоз перекачивается по трубопроводу насосами. Перед дождеванием жидкий навоз во вневегетационный период разбавляют водой в соотношении 1 : 1 — 3, а в период вегетации растений — в соотношении 1 : 8—10.

3. Прифермское навозохранилище — трубопровод — полевое навозохранилище — цистерна-разбрасыватель — поле. В этом случае жидкий навоз транспортируют из прифермского хранилища в полевые по трубам с последующим внесением его цистернами-разбрасывателями. Третья схема позволяет значительно снизить транспортные затраты и повысить производительность труда.

Для снижения затрат на хранение, транспортировку и внесение жидкого навоза в условиях крупных животноводческих комплексов промышленного типа планируется круглогодичное внесение жидкого навоза на близлежащие поля (радиус вывозки до 4 км), прежде всего в

кормовых севооборотах и для удобрения культурных сенокосов и пастбищ. Недопустимо применение жидкого навоза зимой на затопляемых площадях и склонах, где возможен смыв его при весеннем снеготаянии.

Подкормку пастбищ жидким навозом проводят сразу же после стравливания или не позднее чем за 25—30 дней до очередного стравливания с тем, чтобы не ухудшить поедаемость зеленого корма.

При отсутствии устройств для измельчения твердых включений, перемешивания и гомогенизации жидкого навоза его можно использовать после предварительного разделения на твердую и жидкую фракции. Жидкая фракция содержит 75—80% питательных веществ, имевшихся в навозе, и является хорошим удобрением. Жидкую фракцию хранят в навозохранилищах. Твердую фракцию, имеющую влажность 65—67%, укладывают в штабеля и используют для удобрения так же, как и подстилочный навоз. Максимальные нормы внесения жидкого навоза даны в таблице 46.

46. Максимальные нормы, сроки внесения и способы заделки жидкого навоза крупного рогатого скота

Сельскохозяйственная культура	Максимальная годовая норма*, т	Время внесения	Способ заделки
Зерновые Озимые на зерно	35	Под основную обработку Зимой для подкормки	Под плуг Весеннее боронование
	25		
Картофель	40—60	Осенью под зябь или зимой под весеннюю перепашку	Под плуг
Сахарная свекла (фабричная)	50—60	Осенью под зябь или зимой под весеннюю обработку	Под плуг или дисковый луцильник
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	60—80	То же	То же
Пастбища	60—80	По окончании вегетации или зимой до вегетации	Боронование в начале вегетации
Однолетние травы	40—50	После стравливания Осенью под зябь, зимой и весной под предпосевную обработку	Под плуг, дисковый луцильник
Рожь на зеленый корм	35	Под вспашку или предпосевную обработку	Под плуг, дисковый луцильник, культиватор
Рожь на зеленый корм	25	Зимой для подкормки	Весеннее боронование

\* Максимальные нормы даны в расчете на не разбавленный водой жидкий навоз (смесь кала и мочи).

Необходимо отметить, что чрезмерно высокие нормы жидкого навоза не дают больших прибавок урожая по сравнению с оптимальными нормами его внесения и могут оказывать отрицательное действие на качество растениеводческой продукции, увеличивать содержание нитратов в кормовых и овощных культурах выше допустимых количеств.

### НАВОЗНАЯ ЖИЖА

Навозная жижа — ценное быстродействующее азотно-калийное удобрение, содержит в среднем 0,2—0,3% N и 0,4—0,5%  $K_2O$ , фосфора в ней очень мало — 0,01%.

В зависимости от условий хранения содержание N и  $K_2O$  в навозной жиже может сильно колебаться: N от 0,02 до 0,8%, а  $K_2O$  от 0,1 до 1,2%.

Азот и калий в навозной жиже находятся в хорошо растворимой и легкодоступной для растений форме. Азот содержится главным образом в форме мочевины  $CO(NH_2)_2$ , которая под влиянием уробактерий быстро превращается в углекислый аммоний  $(NH_4)_2CO_3$ , а последний легко разлагается с образованием  $CO_2$ ,  $H_2O$  и  $NH_3$ . При неправильном хранении жижи аммиак быстро улетучивается и удобрительная ценность ее резко снижается.

Навозную жижу необходимо хранить в плотно закрытом жижесборнике. Потери азота при этом уменьшаются, так как воздух в жижесборнике быстро насыщается  $CO_2$ , образующимся при разложении мочи, и диссоциация  $(NH_4)_2CO_3$  с образованием аммиака задерживается. Еще больше сокращаются потери азота, если поверхность жижи в жижесборнике покрыть тонким слоем нефти или отработанного масла.

Общее количество навозной жижи, получаемой за год от разных видов животных, зависит от продолжительности стойлового периода, количества и качества подстилки и кормов, устройства скотного двора и навозохранилища. От одной головы крупного рогатого скота за стойловый период (220—240 дней) накапливается в среднем 2—2,5 м<sup>3</sup> жижи, такое же количество получается от трех голов молодняка крупного рогатого скота до двух лет и от 10—12 телят.

Навозную жижу можно вносить в основное удобрение с осени под зяблевую вспашку или на легких почвах — лучше весной под перепашку зяби или предпосевную культивацию, а также в подкормку, и использовать для приготовления компостов с торфом.

Под зерновые культуры, картофель и корнеплоды в основное удобрение вносят на 1 га 15—20 т навозной жижи, под овощные — 20—30 т. Поскольку жижа почти не содержит фосфора, целесообразно вносить одновременно фосфорные удобрения.

Высокий эффект дает применение навозной жижи на лугах и для подкормки озимых, пропашных и овощных культур. Ранневесеннюю подкормку озимых и подкормку лугов проводят перед их боронованием — на 1 га 4—5 т навозной жижи, разбавленной в 2—3 раза водой. В подкормку под пропашные и овощные культуры навозную жижу вносят в дозе 5—10 т на 1 га при помощи растениепитателей на глубину 10—15 см в середину междурядий.

При поверхностном внесении навозной жижи до посева или в подкормку ее необходимо немедленно заделывать в почву, чтобы сократить потери азота. Задержка с заделкой на 2—4 дня снижает эффективность жижи на 30—50%.

В зимний период собранную навозную жижу лучше всего использовать для компостирования с торфом. При этом отпадает необходимость устройства больших жижесборников, резко сокращаются потери азота и хозяйство получает дополнительное количество ценных органических удобрений.

### ПТИЧИЙ ПОМЕТ

Птичий помет — полное быстродействующее удобрение, содержащее азот, фосфор и калий в легкодоступной для растений форме (табл. 47).

47. Состав птичьего помета и годовой выход на голову

Виды птиц	Состав помета, % на сырое вещество				Годовой выход, кг на 1 голову
	вода	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Куры	56	1,0—2,0	1,5—2	0,8—1	6—8
Утки	57	0,8	1,5	0,4	8—10
Гуси	82	0,6	0,5	1,1	10—12

Содержание азота, фосфора и калия в птичьем помете резко меняется в зависимости от количества и качества корма: чем более концентрированный корм получает птица, тем больше питательных веществ содержится в помете.

Азот в помете находится главным образом в форме мочевой кислоты, которая быстро разлагается с образованием аммиака. При неправильном хранении помета в результате улетучивания аммиака происходят большие потери азота, достигающие 50% и более за 1,5—2 месяца. Для сохранения азота в помете лучше всего применять в птичниках сухую торфяную подстилку, которая поглощает выделяющийся из помета аммиак, или хранить его в смеси с торфом. Сырой помет смешивают с торфяной крошкой (на 4—5 частей помета 1 часть торфа), смесь подсушивают на воздухе и хранят под навесом.

При отсутствии торфа можно пересыпать помет сухой перегнойной землей или перепревшим навозом, а также добавить к нему 7—10% суперфосфата, который почти полностью связывает выделяющийся аммиак.

Хорошо сохраненный птичий помет — ценное удобрение, дающее высокие прибавки урожая сельскохозяйственных культур. Его можно применять под все культуры в качестве основного удобрения в дозе 5—6 т на 1 га с заделкой под плуг, а также в подкормку под озимые или пропашные культуры с заделкой бороной или культиватором при междурядных обработках.

## ТОРФ

Торф — важный источник увеличения ресурсов органических удобрений в колхозах и совхозах. Наличие больших запасов торфа в нашей стране позволяет многим колхозам и совхозам широко использовать его на удобрение, для приготовления различных компостов или в подстилку.

### Типы торфа и их агрохимическая характеристика

Торф образуется в результате неполного разложения болотных растений в условиях повышенной влажности и недостаточного доступа воздуха. Торфяные болота в зависимости от условий образования и характера преобладающей растительности делят на три типа: верховые, низинные и переходные. Торф различных типов болот отличается по агрохимическим свойствам и качеству.

Качество торфа характеризуется ботаническим составом болотной растительности, степенью разложения, кислотностью, зольностью и содержанием азота и зольных элементов.

По наличию преобладающих растительных остатков торфа делятся на моховые, травянистые и древесные. Если растительные остатки в торфе представлены в основном сфагновым мхом, то качество торфа как удобрения низкое, если — осоками, остатками древесины растений, то такой торф более ценен как удобрение.

Степень разложения торфа указывает на содержание в нем гумифицированных органических веществ, образовавшихся в результате разложения растений-торфообразователей. Чем выше степень разложения торфа, тем лучше его качество как удобрения. По степени разложения различают слаборазложившийся торф, содержащий до 20% гумифицированных органических веществ, среднеразложившийся, содержащий 20—40% этих веществ, и хорошо разложившийся — более 40%.

Слаборазложившийся торф лучше всего использовать в подстилку, а хорошо разложившийся и среднеразложившийся можно использовать в качестве удобрения для приготовления различных компостов.

Для оценки качества торфа как удобрения важно знать его кислотность (рН), зольность и содержание питательных веществ.

Все виды торфа бедны калием, но содержат большое количество азота, а высокозольный низинный торф богат также кальцием и фосфором.

Верховой торф имеет низкую зольность (2—5%), высокую кислотность, беден питательными веществами, содержит больше органического вещества (95—98%), чем низинный, и имеет большую поглотительную способность — 1 кг сухого торфа может поглотить 8—15 л влаги; характеризуется слабой степенью разложения. Верховой торф (особенно слаборазложившийся) наиболее целесообразно использовать на подстилку, а более разложившийся — для приготовления компостов.

Низинный торф более разложившийся, содержит больше золы (10—15%), богаче питательными веществами, имеет слабокислую или нейтральную реакцию. Органического вещества в нем меньше (85—90%), чем в верховом торфе, и его поглотительная способность ниже.

Низинный торф используется главным образом для приготовления различных компостов, а некоторые низинные, богатые фосфором или известью торфа можно применять непосредственно как удобрение.

Особо ценны как удобрение вивианитовые торфа, содержащие от 2 до 15%  $P_2O_5$  в форме фосфорнокислой закиси железа — вивианита  $[Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O]$ . Вивианитовый торф может применяться как фосфорсодержащее удобрение. Известковые низинные торфа, содержащие большое количество извести (дб 15—40%), могут использоваться как известковые удобрения.

Переходный торф по содержанию питательных веществ, кислотности и зольности занимает промежуточное положение между низинным и верховым торфами. Нижние слои торфа переходных болот ближе к низинному, а верхние — к верховому торфу. Может применяться для приготовления различных компостов, а также в подстилку животным.

### Заготовка торфа на удобрение

Непосредственно на удобрение в чистом виде можно использовать лишь сильноразложившийся, высокозольный низинный торф, особенно торф, богатый известью (торфотуф) и фосфором (вивианитовый торф).

Для эффективного применения торфа на удобрение очень важное значение имеет правильная организация его заготовки. Лучше всего заготавливать торф в летнее время послойно-поверхностным способом. При этом обеспечивается получение торфяной крошки с влажностью 50—60%, а все работы по заготовке торфа можно полностью механизировать.

После подготовки торфяного болота (осушение и удаление кустарников и пней) торфяную залежь рыхлят фрезой или плугом и дисковыми или зубовыми боронами, а затем ворошат торф для лучшего просушивания. При достижении влажности 50—60% его сгребают в валки, а затем в кучи или штабеля.

При зимней заготовке только что вынутый из болота торф имеет очень высокую влажность — 80—90%. Такого торфа требуется вносить в 2—3 раза больше. Так, например, при норме внесения на 1 га 10 т абсолютно сухого торфа необходимо при влажности 50% внести 20 т торфа, а при влажности 80% — 50 т. Внесение свежего непроветренного и влажного торфа даже по 50—100 т на 1 га, как правило, не дает заметного эффекта, кроме того, заготовка торфа зимой обходится значительно дороже, чем летом.

## Торфяные компосты

Для приготовления компостов могут быть использованы низинные, переходные, а также более разложившиеся верховые торфа. Большая часть содержащегося в торфе азота находится в малодоступной органической форме и только 2—3% — в форме минеральных соединений — аммиака и нитратов.

Органическое вещество торфа очень устойчиво к микробиологическому разложению, минерализация органических соединений азота происходит очень медленно. Многие виды торфа имеют кислую реакцию, что также затрудняет разложение их в почве. Микроорганизмов в торфе очень мало вследствие кислой реакции, недостаток растворимых форм азота и легкодоступных органических веществ. Поэтому использование на удобрение чистого торфа малоэффективно и в большинстве случаев не оправдывает в первый год затрат, связанных с его применением. Эффективность торфа повышается при компостировании с биологически активными органическими удобрениями — навозом, навозной жижей, фекалиям — или с минеральными удобрениями — фосфоритной мукой, известью, золой и др.

**Торфонавозные компосты.** При компостировании с навозом торф обогащается микроорганизмами, снижается его кислотность, в компосте усиливается микробиологическая деятельность, интенсивнее происходит разложение органического вещества и увеличивается количество доступного растениям азота. Торф благодаря высокой поглощательной способности полностью связывает аммиак, образующийся при разложении органического вещества, потери азота из навоза резко уменьшаются. Хорошо приготовленный торфонавозный компост не уступает по эффективности навозу (табл. 48).

48. Эффективность торфонавозного компоста (соотношение торфа и навоза 1:1)  
(данные Центральной торфяной опытной станции)

Удобрения	Урожай, ц с 1 га	
	капусты (сорт Слава)	чоркоп (сорт Нантская)
Без удобрений	206	92
Навоз 30 т на 1 га	418	227
Торфонавозный компост 30 т на 1 га	379	231

Действие компоста еще более повышается при добавлении к нему 2—3% фосфоритной муки, а при использовании кислого торфа — 1—2% извести. Для компостирования с навозом необходимо использовать проветренный торф с влажностью 60—65%. Не рекомендуется компостировать с навозом в зимнее время свежедобытый влажный торф, так как такой компост будет промерзать, а весной долго оттаивать, что затруднит своевременное внесение его в почву; микробиологические процессы в таком компосте замедляются, разложение его происходит слабо.

Торфонавозные компосты готовят в поле на месте их применения. Торф с навозом укладывают в штабеля шириной не менее 3 м и высотой

1,5—2 м. Чем выше степень разложения торфа, тем больше можно брать для приготовления компоста торфа и меньше навоза. При закладке компоста зимой на одну часть навоза берут 1 часть торфа, а при весенне-летней закладке — 2—3 части и больше. Компостирование проводят послойным или очаговым способом. В первом случае торф и навоз поочередно укладывают слоями толщиной 25—30 см, каждый слой рекомендуется посыпать фосфоритной мукой из расчета 20—30 кг на 1 т компоста, при этом качество его повышается.

При послойной закладке компоста зимой не обеспечивается достаточное его разогревание, штабель промерзает, разложения органического вещества торфа не происходит и цель компостирования не достигается. Поэтому при зимней закладке лучше применять очаговый способ укладки навоза. Сначала укладывается слой торфа высотой 50—60 см, а на него гнездами (по 1—2 т) вдоль всего штабеля укладывают навоз и засыпают его слоем торфа, затем снова укладывают гнездами навоз и засыпают торфом. При такой укладке навоз лучше разогревается, компост не промерзает, температура его в течение всей зимы сохраняется на уровне 20—30°C, органическое вещество торфа лучше разлагается. Эффективность торфонавозного компоста, приготовленного очаговым способом, выше, чем полученного при послойной укладке навоза.

**Торфожижевые компосты.** Накапливающуюся в хозяйстве навозную жижу целесообразнее всего использовать для компостирования с торфом; при этом резко сокращаются потери азота из навозной жижи и повышается удобрительное качество торфа. Для компостирования с навозной жижей можно использовать все виды торфа, кроме известковых. На 1 т проветренного торфа в зависимости от его влажности берется от 0,5 до 1 т навозной жижи.

Торфожижевые компосты готовят зимой и летом, обычно в поле, ближе к месту внесения. В штабеле торфа прорывают канаву глубиной 50—60 см и шириной около 1 м, в которую заливают навозную жижу. После впитывания жижи канаву засыпают торфом. Можно укладывать торф слоями по 40—50 см и каждый слой заливать навозной жижей.

При хранении компоста в нем энергично протекают процессы нитрификации аммиака, а образующиеся нитраты подвергаются денитрификации с образованием элементарного азота. Поэтому при длительном хранении компоста возможны значительные потери азота. Чтобы затормозить процессы нитрификации, денитрификации и уменьшить потери азота, рекомендуется добавлять в компосты 0,5—1% хлористых калийных солей, так как хлор подавляет процесс нитрификации.

Для обогащения компоста фосфором рекомендуется при компостировании добавлять фосфоритную муку (20—30 кг на 1 т компоста).

Торфожижевые компосты можно вносить через 1—1,5 месяца после закладки. По эффективности они не уступают навозу.

Хорошо разложившийся торф, увлажненный навозной жижей, можно сразу вносить в почву без компостирования.

**Торфофекальные компосты.** Фекалий содержит азота больше, чем

навоз. В 1 т фекалий содержится до 8—10 кг N, 2—4 кг  $P_2O_5$  и 2—3 кг  $K_2O$ . Азот в нем находится преимущественно в форме аммиака и мочевины, которая разлагается с образованием аммиака, а последний легко улетучивается. При внесении фекалия в чистом виде происходят большие потери азота, а неравномерное распределение фекалия по полю создает большую пестроту урожая. Кроме того, при внесении его в чистом виде возможно заражение глистными и другими болезнями.

При компостировании торфа с фекалием обеспечивается наиболее рациональное использование на удобрение как торфа, так и фекалия. При этом фекалий беззараживается, резко уменьшаются потери азота, усиливается переход азота и других питательных веществ, содержащихся в торфе, в усвояемую форму. Смешивать с фекалием можно все виды торфа. Чем влажнее торф, тем меньше нужно брать фекалия. Лучше всего использовать торф влажностью 40—50%. На 1 т верхового и переходного торфа следует брать 2 т фекалия, а на 1 т низинного торфа — 1 т фекалия.

Закладывают торфофекальные компосты на удобряемом поле: укладывают слой торфа толщиной 20—25 см, заливают его фекалием и прикрывают следующим слоем торфа, и так до высоты 2 м. Компосты выдерживают не менее 1,5—2 месяцев и вносят как основное удобрение под зерновые культуры 10—15 т, под картофель и силосные — 20—30 т на 1 га.

### **Применение удобрений на осушенных торфяниках**

Торфяники непосредственно после осушения или после частичной выработки послойно-поверхностным способом (заготовка торфа на подстилку и для приготовления компостов) используются для выращивания зерновых, кормовых и овощных культур, для создания сеяных лугов и пастбищ.

Торфяные почвы характеризуются высоким содержанием органического вещества (85—95% твердой фазы) и богаты азотом. Они обладают большой емкостью поглощения и влагоемкостью, высокой скважностью и малой плотностью. Азот в торфяных почвах находится в форме устойчивых к микробиологическому разложению органических соединений. В первые годы освоения торфяников, особенно кислых верховых и переходных, процесс минерализации азота довольно замедлен. Для усиления микробиологических процессов и ускорения мобилизации азота в этих почвах целесообразно применение небольших доз навоза, навозной жижи, фекалий. При освоении кислых верховых и низинных торфяников обязательно известкование, которое проводится в половинной дозе от полной нормы (определяемой по гидролитической кислотности) с целью избежать одностороннего накопления кальция в почве.

Торфяные почвы отличаются низким содержанием калия (за исключением торфов с прослойками осадка речного ила, богатого калием) и нередко фосфора. Поэтому при использовании торфяников в качестве лугопастбищных или полевых угодий первоочередное значение

имеет применение калийных и фосфорно-калийных удобрений. Вносить азотные удобрения необходимо в первые годы освоения торфяников, а в дальнейшем — лишь при интенсивном их использовании для выращивания высоких урожаев овощных и кормовых культур.

Для торфяников характерен недостаток доступной растениям меди, поэтому применение медных удобрений — необходимое условие получения хороших урожаев сельскохозяйственных культур на этих почвах.

### ЗЕЛЕНОЕ УДОБРЕНИЕ

Зеленым удобрением, или сидерацией, называется выращивание в поле некоторых бобовых растений (сидератов) и заплата их зеленой массы в почву для обогащения ее азотом и органическим веществом. В качестве сидератов используются однолетние и многолетние люпины, сераделла, донник, озимая вика, озимый горох, пелюшка, чина и др. (рис. 15).

Бобовые растения с помощью клубеньковых бактерий, развивающихся на их корнях, способны фиксировать азот воздуха и обогащать почву связанными соединениями азота. При выращивании бобовых сидератов на 1 га образуется до 40—50 т зеленой массы, содержащей до 150—200 кг азота. По содержанию азота 1 т зеленого удобрения равноценна 1 т навоза (табл. 49).

49. Состав навоза и зеленого удобрения

Удобрения	Содержание питательных элементов, кг на 1 т			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
Навоз смешанный	5,0	2,4	5,5	7,0
Зеленая масса люпина	4,5	1,0	1,7	4,7
Зеленая масса донника	7,7	0,5	1,9	9,7



Рис. 15. Люпин желтый (1) и люпин многолетний (2).

После заделки в почву и минерализации зеленой массы сидератов азот, связанный в форме органических соединений, переходит в минеральную форму и используется последующими растениями, причем коэффициент использования азота зеленого удобрения в первый год почти вдвое выше, чем азота навоза. Кроме того, бобовые сидераты, обладая хорошо развитой и глубоко проникающей в почву корневой системой, извлекают питательные элементы из нижних горизонтов почвы, а также усваивают фосфор и другие питательные вещества из труднорастворимых соединений. Поэтому при разложении запаханной растительной массы пахотный слой почвы обогащается не только органическим веществом и усвояемыми соединениями азота, но также фосфором, калием и кальцием. Под влиянием зеленого удобрения увеличивается содержание гумуса в почве, усиливается микробиологическая деятельность, повышается влагоемкость, поглонительная способность почвы, улучшается ее структура. В результате значительно повышается плодородие почв и урожай последующих культур (табл. 50).

50. Влияние зеленого удобрения на урожай сельскохозяйственных культур, в ц на 1 га, на бедной песчаной почве (данные многолетнего опыта Новозыбковской опытной станции)

Удобрения	Прямое действие		Последействие	Суммарный урожай за севооборот, в %
	рожь (за 23 года)	картофель (за 21 год)	овес (за 19 лет)	
Без удобрения	5,8	130,8	7,8	100
Люпинное зеленое удобрение	11,2	184,7	9,7	145

Эффективность и продолжительность действия зеленого удобрения тем выше, чем больше зеленой массы запахивается в почву.

Для получения хорошего урожая зеленой массы бобовых сидератов и повышения фиксации азота воздуха клубеньковыми бактериями и накопления его в почве необходимы известкование кислых почв, внесение фосфорных и калийных удобрений (по 45—60 кг действующего вещества на 1 га) и обработка семян нитрагином для заражения клубеньковыми бактериями.

Нитрагин — препарат, содержащий клубеньковые бактерии, которые, развиваясь на корнях бобовых растений, усваивают азот из воздуха. В почве клубеньковых бактерий часто бывает очень мало или они вовсе отсутствуют, поэтому необходимо искусственное заражение бобовых культур этими бактериями. Для разных групп бобовых культур изготовляют различные виды нитрагина со специфическими расами бактерий. Заводской нитрагин выпускают в бутылках или банках по 0,5 кг (норма внесения на 1 га). Вносят нитрагин вместе с семенами бобовых культур. В день посева банку нитрагина разводят в таком количестве воды, которое достаточно для смачивания гектарной нормы семян. На каждые 160—200 кг крупных семян (гороха, люпина)

берут 1—2 л воды и на 10—15 кг мелких семян (клевера или люцерны)— 1—1,5 л. Семена смачивают разведенным нитрагином, тщательно перемешивают и после подсушивания (обязательно в тени) высевают.

Успешное использование сидератов возможно во многих районах страны, однако наибольшее значение зеленое удобрение имеет на дерново-подзолистых, серых лесных и особенно на легких песчаных почвах Нечерноземной зоны. Основные сидераты в этой зоне — однолетние люпины (как алкалоидные, так и безалкалоидные), сераделла, многолетний люпин (в северных районах), а также донник (на почвах с высоким содержанием кальция или сильно произвесткованных). Большое значение имеет применение зеленого удобрения в орошаемых районах, в районах влажных субтропиков, на Дальнем Востоке, в Сибири и других районах.

Наиболее распространенные сидераты — люпины; они хорошо произрастают и способны давать большую зеленую массу как на самых бедных песчаных, так и на более тяжелых суглинистых почвах.

Однако люпины не переносят высокого содержания в почве кальция и поэтому непригодны для карбонатных черноземов и сероземов; на этих почвах используются другие сидераты: озимый горох, коровий горох, озимая вика, донник, чина и др.

Люпины и другие сидераты могут быть использованы на зеленое удобрение в виде самостоятельной культуры (выращиваются как парозанимающая культура, т. е. занимают поле с весны и запахиваются во второй половине лета), в виде промежуточной подсевной или пожнивной культуры (выращиваются в промежутке между уборкой одной культуры и посевом другой), а также в виде укосной массы, выращенной на другом участке в течение ряда лет (многолетний люпин).

Большое хозяйственное значение имеет посев кормовых (безалкалоидных) желтых люпинов в занятых парах с последующим двухсторонним их использованием: зеленую массу скашивают на корм, а стерневые остатки (или отросшую отаву) запахивают на удобрение.

Зеленое удобрение, как весьма эффективное и дешевое местное удобрение, имеет особенно большое значение для повышения плодородия малокультуренных почв при недостатке навоза и других органических удобрений в хозяйстве или при необходимости перевозки его на дальние поля.

#### Контрольные вопросы

1. Какие вы знаете основные виды органических удобрений? Их значение для повышения плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур.
2. Каков состав подстилочного навоза в зависимости от вида животных, количества и качества корма?
3. Основные виды подстилки и ее значение для увеличения выхода навоза и повышения его качества.
4. Как определить количество получаемого в хозяйстве навоза?
5. Способы хранения навоза. Изменения его при хранении.
6. Устройство навозохранилища.
7. Хранение навоза в поле, его внесение и заделка.
8. Какое действие оказывает навоз на свойства почвы и на растения? Каковы коэффициенты использования растениями азота, фосфора и калия навоза?

9. Состав бесподстилочного (жидкого) навоза, его хранение и применение.
10. Дайте характеристику навозной жижи и птичьему помету как удобрениям.
11. Типы торфа, их агрохимическая характеристика и пути использования в сельском хозяйстве.
12. Основные виды торфяных компостов, их приготовление, использование и эффективность.
13. Какие растения возделываются в качестве сидератов? Действие зеленого удобрения на почву и растения.
14. Какими способами используется люпин на зеленое удобрение?

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

### Определение аммиачного азота в навозе колориметрическим методом (по И. Ф. Ронашкевичу)

Определение аммиачного азота в навозе имеет важное значение для характеристики его качества, так как действие навоза на урожай сельскохозяйственных культур в первый год почти исключительно зависит от содержания в нем усвояемого аммиачного азота. Содержание аммиачного азота в навозе является также показателем условий его хранения, а также степени разложения. В навозе крупного рогатого скота и свиней аммиачный азот при удовлетворительном хранении составляет обычно 20—40% от общего содержания азота или 0,1—0,2% от массы навоза. Более низкое содержание или почти полное отсутствие в навозе аммиачного азота указывает на слабую степень его разложения либо на плохие условия хранения и низкое качество его как удобрения в первый год. Аммиачный азот содержится в навозе в виде свободного аммиака и углекислого аммония, в виде минеральных и органических кислот и в поглощенном коллоидными веществами навоза состоянии. Весь этот аммиачный азот доступен для растений. Остальная часть азота в навозе представлена главным образом белковыми веществами и становится доступной растениям по мере минерализации навоза, которая длится обычно несколько лет после внесения его в почву.

**Принцип метода.** Аммиак вытесняется из навоза и одновременно связывается 0,05 н. HCl ( $\text{NH}_3 + \text{HCl} = \text{NH}_4\text{Cl}$ ). В полученной солянокислой вытяжке проводится колориметрическое определение  $\text{NH}_4^+$ , основанное на том, что при взаимодействии солей аммония с реактивом Несслера [т. е. со щелочным раствором иодистой ртутно-калиевой соли  $\text{K}_2(\text{HgI}_4)$ ] образуется иодистый меркураммоний:  $\text{NH}_4\text{Cl} + 4\text{KOH} + 2\text{K}_2(\text{HgI}_4) = \text{Hg OHg}(\text{NH}_2)\text{I} + 7\text{KI} + \text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O}$ , дающий желтую окраску раствора, тем более интенсивную, чем больше было в растворе аммония. Сравнивая в колориметре (или электрофотоколориметре) интенсивность окраски испытуемого раствора с окраской образцового раствора, имеющего известную концентрацию аммония, определяют содержание  $\text{NH}_4^+$  в испытуемом растворе. Чтобы исключить помутнение раствора вследствие образования осадка реактива Несслера с присутствующими в нем ионами  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и др., к испытуемому раствору прибавляют сегнетовую соль, которая связывает ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в недиссоциирующие соединения, что и устраняет взаимодействие с ними реактива Несслера.

Ход анализа. Среднюю пробу навоза измельчают (если он недостаточно перепрел) ножницами, чтобы длина соломин не превышала 1 см, и тщательно перемешивают. На теххимических весах на фильтровальной бумаге в фарфоровой чашке берут навеску сырого навоза 5 г, переносят вместе с бумагой в колбу на 250 мл с каучуковой пробкой, приливают 100 мл 0,05 н. раствора HCl (реактив 1) и содержащее взбалтывают на качалке или ротаторе 30 мин. Затем суспензию фильтруют, отбрасывая первые мутные порции фильтрата или их снова переносят на фильтр (для получения прозрачного фильтрата на фильтр сразу же переносят возможно больше твердых частиц навоза). 10 мл отфильтрованной вытяжки переносят в мерную колбу емкостью 250 мл, доводят объем дистиллированной водой (не содержащей аммиака) до метки и хорошо перемешивают. 25 мл этого раствора помещают в колбу на 100 мл, прибавляют 4 мл 25%-ного раствора сегнетовой соли (реактив 2), добавляют дистиллированную воду до объема 80—90 мл, перемешивают, приливают 4 мл реактива Несслера (реактив 3), доливают дистиллированной водой до метки, закрывают пробкой и взбалтывают. Одновременно в четыре колбы на 100 мл наливают 5, 10, 20 и 30 мл образцового раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (реактив 4), добавляют дистиллированную воду до объема 80—90 мл, приливают 4 мл реактива Несслера, доливают водой до метки, закрывают пробками и взбалтывают. Через 15 мин испытуемый раствор сравнивают в колориметре (стр.303) или электрофотоколориметре (стр.304) с близким по окраске образцовым раствором. Также определяют содержание аммиачного азота в птичьем помете и торфяных компостах.

**Вычисление результатов анализа.** Содержание  $\text{N}-\text{NH}_4$ , % к массе навоза ( $x$ ), вычисляют по формуле:  $x = \frac{a \cdot b \cdot K \cdot 100}{L \cdot n}$ , где  $a$  — количество образцового раствора, мл, взятого для сравнения в колориметре;  $b$  — содержание аммонийного азота в 1 мл образцового раствора;  $K$  — отсчет по шкале колориметра, мм, для образцового раствора;  $L$  — то же, для испытуемого раствора;  $n$  — навеска навоза, отвечающая объему разведенного испытуемого раствора, взятого в колбу на 100 мл для колориметрирования (если навеска навоза 1 г и HCl брали 100 мл, а для разбавления водой в колбу на 250 мл перенесли 100 мл фильтрата и оттуда 25 мл жидкости прилили в колбу на 100 мл для подготовки к колориметрированию, то  $n = 50$  мг).

**Материалы и оборудование.** Образцы навоза. Теххимические весы, фарфоровые чашки. Мерные колбы на 250 мл и 100 мл. Бутылки на 0,5 л или колбы на 250 мл с широким горлом. Ротатор или качалка для встряхивания. Воронки и фильтры. Колориметр (или электрофотоколориметр).

**Реактивы.** 1. 0,05 н. HCl. 2. 25%-ный водный раствор сегнетовой соли. 3. Реактив Несслера: раствор  $\text{HgCl}_2$  (17 г в 300 мл воды) вливают в раствор иодистого калия (35 г в 100 мл воды) до тех пор, пока красный осадок иодистой ртути не перестанет растворяться. Затем раствор доводят до 1 л 20%-ным раствором NaOH и снова добавляют раствор  $\text{HgCl}_2$ , пока не появится исчезающий осадок. Раствор оставляют стоять до полного просветления, он должен быть светло-желтый. 4. Образцовый раствор  $\text{NH}_4\text{Cl}$ : 0,7405 г химически чистого  $\text{NH}_4\text{Cl}$  растворяют в 1 л дистиллированной воды, 20 мл этого раствора в мерной колбе доводят водой до 1 л. Последний (образцовый) раствор содержит в 1 мл 0,005 мл  $\text{NH}_4$  или 0,00388 мг азота.

## Определение кислотности и зольности торфа

Кислотность и зольность — важные агрохимические показатели, характеризующие тип торфа и его качество для использования на удобрение. Кислотность определяют в вытяжке 1 н. раствора КСl колориметрическим или потенциометрическим методом (стр. 308).

Ход анализа. Из средней пробы берут 4 г воздушно-сухого торфа (или соответствующее количество сырого торфа), помещают в бутылку или колбу емкостью 0,5 л и заливают 100 мл 1 н. раствора КСl (реактив 1), добавляют туда же 2—3 капли толуола, тщательно перемешивают торф с раствором 30 мин на ротаторе (или вручную — 3 раза по 3—5 мин) и оставляют стоять на сутки. 5—10 мл отстоявшейся прозрачной жидкости переносят пипеткой в пробирку, прибавляют 0,3—0,6 мл комбинированного индикатора (реактив 3), взбалтывают и сравнивают ее окраску с цветной шкалой прибора Алямовского, подбирая такую пробирку из шкалы, в которой окраска сходна с окраской испытуемого раствора. Если вытяжка получается мутная или слегка окрашенная, то сравнение окрасок нужно проводить в компараторе. В правое гнездо его позади пробирки с окрашенным образцовым раствором ставят пробирку с испытуемым неокрашенным раствором, а позади пробирки с анализируемым окрашенным раствором помещают пробирку с дистиллированной водой. Прибор Алямовского позволяет определять рН в интервале 4—8 точно до 0,1 рН. Более точно определить рН можно потенциометрическим методом с помощью прибора «рН-метра». В этом случае можно проводить анализ неосветленных вытяжек (без отстаивания) или вытяжек окрашенных.

Для определения зольности торфа 3—5 г воздушно-сухого торфа помещают в предварительно прокаленный и взвешенный фарфоровый тигель (торф должен занимать не более  $\frac{2}{3}$  объема тигля) и озолот.

Одновременно для определения влажности берут навеску торфа в сушильный стаканчик (до  $\frac{2}{3}$  его объема), предварительно высушенный и взвешенный, взвешивают стаканчик с сырым торфом на технических весах, после чего стаканчик с открытой крышкой помещают в сушильный шкаф и высушивают до постоянной массы (пока расхождение между последним и предыдущим весом не станет меньше 0,01 г). Влажность торфа в % ( $a$ ) вычисляют по формуле:

$$a = \frac{(b - c) \cdot 100}{b - a},$$

где  $a$  — масса пустого стаканчика, г;  $b$  — масса стаканчика с сырым торфом, г;  $c$  — масса стаканчика с сухим торфом, г; 100 — коэффициент для пересчета в %.

Тигель с навеской торфа для озолотения ставят на электрическую плитку или в холодную муфельную печь и постепенно нагревают до сгорания торфа.

После сгорания торфа (когда прекратится выделение дыма) золу прокаливают 2 ч в муфельной печи при температуре 650—750°C (светло-красное каление) до получения однородно окрашенной золы.

По окончании прокаливания слегка охлажденный тигель ставят в

эксикатор для полного охлаждения, затем взвешивают и вновь прокаливают в муфеле в течение 1 ч, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Так поступать до получения постоянной массы.

Зольность торфа в % ( $x$ ) вычисляют по формуле:

$$x = \frac{(a-b) \cdot 100}{n},$$

где  $a$  — масса тигля с золой, г;  $b$  — масса пустого прокаленного тигля, г;  $n$  — навеска торфа, взятая для озоления, г; 100 — коэффициент для пересчета в %; чтобы пересчитать полученный результат в % на сухой торф, его умножают на коэффициент  $\frac{100}{100-a}$ , где  $a$  — влажность торфа, %.

**Материалы и оборудование.** Образцы торфа. Сушильные стаканчики (бюксы). Сушильный шкаф (с терморегулятором). Эксикатор. Технические весы. Фарфоровые тигли. Муфельная печь. Электроплитки. Бутылки или колбы на 500 мл. Ротатор. Пипетки на 5 и 10 мл. Шкала Алямовского. Компаратор. «рН-метр».

**Реактивы.** 1. 1 н. раствор KCl. 2. Толуол. 3. Комбинированный индикатор Алямовского: смесь одной части 0,02%-ного раствора метилового красного с двумя частями 0,04%-ного раствора бромтимолового синего (приготовление их см. стр. 87).

---

**СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ**

---

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ**

Высокая эффективность удобрений обеспечивается только при условии применения их в определенной научно обоснованной системе с учетом конкретных почвенных и климатических условий, особенностей питания отдельных культур и чередования их в севообороте, агротехники, свойств удобрений и многих других факторов.

Под системой удобрения в хозяйстве понимается комплекс агротехнических и организационно-хозяйственных мероприятий по наиболее рациональному, плановому применению удобрений в целях повышения урожайности сельскохозяйственных культур и плодородия почвы. Система удобрения в хозяйстве является по существу составной частью системы земледелия.

Основными звеньями при разработке системы удобрения в хозяйстве являются:

анализ результатов и перспектив хозяйственной деятельности сельскохозяйственного предприятия (производственная специализация, плановые задания государства по выходу товарной продукции, план урожайности по культурам, структура сельскохозяйственных угодий и посевных площадей, севообороты и т. д.);

оценка климатических и почвенных условий, уровня потенциального и актуального плодородия почв хозяйства по данным почвенно-агрохимического обследования. Агроэкономический анализ итогов предшествующего использования удобрений в хозяйстве при сложившейся системе земледелия и уровне агротехники, оценка состояния и перспектив развития материально-технической базы химизации, организационная форма агрохимического обслуживания, осуществление химической мелиорации почв (известкование или гипсование);

планирование мероприятий по максимальному накоплению навоза, заготовке торфа, различных компостов и других органических удобрений, правильному их хранению и использованию;

определение потребности в минеральных удобрениях (включая микроудобрения) исходя из реального и перспективного уровня их поставки для экономического района расположения хозяйства, планируемого производства сельскохозяйственной продукции, экономических возможностей хозяйства;

обеспечение своевременной доставки удобрений, правильного их

хранения, комплексной механизации всех работ по подготовке и внесению удобрений;

тесная увязка всех мероприятий по применению удобрений с общим организационно-хозяйственным планом колхоза и совхоза.

Система удобрения в хозяйстве представляет собой генеральную схему организационно-хозяйственных мероприятий на пятилетку (в соответствии с планами развития народного хозяйства), которая конкретизируется в системе удобрения в севооборотах и в годовых планах применения удобрений.

Система удобрения в севообороте — это многолетний план применения удобрений в севообороте с учетом плодородия почвы, биологических особенностей растений, состава и свойств удобрений, составленный на полную ротацию каждого севооборота хозяйства. При его разработке необходимо определить правильное соотношение между отдельными видами и формами удобрения, установить оптимальные нормы и способы применения органических и минеральных удобрений в зависимости от особенностей питания растений и их чередования в севообороте, почвенно-климатических и других условий.

Системой удобрения должна решаться задача получения максимально возможной продуктивности севооборота, высоких и устойчивых урожаев всех культур, рационального использования плодородия почвы и его повышения при наиболее агрономически и экономически выгодном применении удобрений.

Поскольку система удобрения в хозяйстве и севообороте рассчитана на длительный период и учитывает только общий уровень плодородия почвы на всей площади севооборота, ежегодно составляются годовые планы применения удобрений. В них указываются нормы (уточненные согласно данным последнего агрохимического обследования почв для каждого отдельно обрабатываемого участка), формы, сроки и способы внесения удобрений под отдельные культуры севооборотов. При необходимости вносятся коррективы вследствие возможного изменения чередования культур, уровня урожаев по годам и прогноза погодных условий. Годовые планы служат документальной основой для практического осуществления всех работ по применению органических и минеральных удобрений.

Согласно годовому плану, рассчитывают потребность в удобрениях по срокам применения, разрабатывают технологию их внесения и принимают организационные решения.

При разработке системы удобрения в севообороте необходимо учесть все многообразие природных, агротехнических, организационно-экономических и других условий, от которых зависит эффективность удобрений.

### **Климатические условия и применение удобрений**

Климатические условия оказывают большое влияние на выбор видов, норм, сроков, способов внесения и эффективность удобрений. Важное значение имеют количество осадков и температурные условия,

особенно в течение вегетационного периода. В районах с благоприятным водным режимом, а также при орошении эффективность удобрений значительно выше, и они применяются в больших нормах. При недостатке влаги прибавки урожая от удобрений снижаются. Вместе с тем при внесении удобрений растения более экономно и продуктивно используют влагу, поэтому и в районах недостаточного увлажнения внесение удобрений значительно улучшает рост и развитие растений. Для повышения эффективности удобрений в засушливых южных и юго-восточных районах страны необходимо принимать все меры для максимального накопления и сохранения влаги в почве: снегозадержание, соответствующие приемы обработки почвы и ухода за растениями и т. д. Здесь особенно важно вносить фосфорно-калийные удобрения с осени под глубокую обработку, чтобы они размещались в более влажном, менее пересыхающем слое почвы. При мелкой заделке эффективность удобрений в засушливых районах (или в засушливые годы в районах с достаточной влагообеспеченностью) снижается особенно резко, а внесение удобрений в подкормку тем более дает незначительный эффект. В районах с большим количеством осадков в осенне-зимний период легкорастворимые азотные (а на легких почвах и калийные) удобрения во избежание вымывания питательных веществ лучше вносить перед посевом весной.

### Свойства почвы и применение удобрений

При выборе видов и форм удобрений, установлении норм и способов их внесения обязательно учитываются свойства почвы. Особенно большое значение имеет общий запас и содержание подвижных питательных веществ в почвах, их механический состав, поглотительная способность, реакция и буферность.

На кислых дерново-подзолистых почвах, бедных органическим веществом и элементами питания, необходимы известкование и высокие нормы органических и минеральных удобрений. В первом минимуме на этих почвах обычно находится азот, и ему принадлежит ведущая роль в повышении урожая, во втором — фосфор, в третьем — калий. На песчаных и супесчаных почвах наряду с азотом большое значение имеет калий, а на торфянистых и болотных почвах калий находится в первом минимуме.

Лучший эффект на кислых дерново-подзолистых почвах могут давать физиологически щелочные азотные удобрения и щелочные формы фосфорных туков, здесь могут с успехом применяться труднорастворимые формы фосфорных удобрений. На песчаных и супесчаных подзолистых почвах из калийных удобрений особенно эффективны калийно-магнезиальные соли, из азотных целесообразно применять аммонийные (в нейтрализованной форме) и аммиачные удобрения, азот которых меньше подвергается вымыванию из почвы.

На черноземах и темно-каштановых почвах нередко в первом минимуме находится фосфор, поэтому ведущая роль принадлежит фосфорным удобрениям. На светло-каштановых почвах и сероземах

большое значение имеет сочетание азотных и фосфорных удобрений, а калийные эффективны только на фоне азота и фосфора. Эти почвы имеют нейтральную или щелочную реакцию, поэтому здесь более эффективны физиологически кислые азотные удобрения, а применение труднорастворимых фосфорных удобрений нецелесообразно.

Существенное значение для передвижения питательных веществ удобрений, их поглощения и закрепления в почве имеет механический состав почвы. Легкие почвы отличаются не только меньшим потенциальным плодородием, но и низкой поглотительной и буферной способностью. Это должно учитываться при определении норм и формы удобрений, срока внесения и способа их заделки.

Для правильного дифференцированного применения удобрений очень большое значение имеет почвенно-агрохимическое обследование с целью определения реакции почвы и содержания в ней подвижных форм питательных веществ.

Результаты агрохимического обследования выявили существенные различия в уровне обеспеченности почв нашей страны подвижными формами элементов питания. Большая доля пахотных почв СССР имеет низкое содержание подвижных форм элементов питания, особенно фосфора.

Значительно различаются по уровню плодородия и содержанию подвижных питательных веществ и почвы отдельных полей хозяйств.

Как уже указывалось, при разработке системы удобрения используются средние взвешенные показатели обеспеченности почв полей севооборота, а различия в содержании подвижных форм элементов питания по каждому обрабатываемому участку учитываются при составлении годовых планов применения удобрений. Важно также учитывать общую окультуренность почвы и степень предшествующей удобренности поля. На достаточно окультуренных и ранее хорошо удобрявшихся почвах нормы органических и минеральных удобрений могут быть снижены.

### **Агротехнические условия и применение удобрений**

Система удобрения разрабатывается и осуществляется в тесной взаимосвязи со всем комплексом агротехнических приемов по возделыванию сельскохозяйственных культур, входящих в состав севооборота. Высокая агротехника (начиная с обработки почвы, подготовки кондиционного посевного материала, посева и ухода за культурой и т. д.) — необходимое условие эффективного использования растениями элементов питания из почвы и применяемых удобрений. Нарушение установленных агротехнических требований (некачественная или несвоевременная обработка почвы, низкое качество посевного материала, засоренность посевов и т. д.) резко снижает эффективность удобрений. При высокой культуре земледелия эффективность удобрений возрастает. Массовые учеты в колхозах 15 областей Нечерноземной зоны показали, что в хозяйствах с урожаями картофеля без удобрений до 100 ц с 1 га прибавка от удобрений составила только 35 ц, при уро-

жаях от 100 до 150 ц с 1 га — 46 ц, а при высоком уровне агротехники и урожаях более 150 ц — 61 ц с 1 га при одинаковой норме удобрений. В свою очередь, улучшение питания растений при применении удобрений способствует повышению эффективности других агротехнических приемов.

Очевидно, что особенности агротехники и способ посева отдельных культур также оказывают влияние на сроки и способы внесения удобрений.

### **Значение особенностей питания отдельных культур и характера севооборота при разработке системы удобрения**

Сельскохозяйственные растения различаются общей величиной потребления элементов питания на формирование урожая, темпами их поглощения на протяжении неодинакового по длительности периода вегетации, а также по соотношению в размерах усвоения основных элементов — азота, фосфора и калия.

Для культур, более требовательных к элементам питания (сахарная свекла, кукуруза, картофель и др.), необходимы при прочих равных условиях более высокие нормы удобрений. Разные сорта одной и той же культуры могут сильно различаться по требовательности к пищевому режиму и отзывчивости на внесение удобрений. Скороспелые сорта характеризуются более коротким периодом поглощения питательных веществ и более требовательны к условиям питания, чем позднеспелые сорта.

Применение удобрений должно обеспечивать наилучшие условия питания растений в течение всего периода вегетации в соответствии с их потребностью.

При разработке системы применения удобрений, определении норм, сроков и способов применения удобрений должны быть учтены различия в чувствительности отдельных культур (особенно в молодом возрасте) к концентрации питательных веществ в почвенном растворе, в усвояющей способности корневой системы и характере ее развития (мощности, глубине проникновения и т. д.), в требовательности к реакции среды.

Особое значение имеет правильное соотношение между применяемыми нормами азотных, фосфорных и калийных удобрений. Избыточное одностороннее питание азотом, например, может вызвать усиленный продолжительный рост ботвы у корне- и клубнеплодов, задержать формирование товарной части урожая и снизить его качество, а у зерновых культур и льна — привести к полеганию. Для ускорения созревания культур важное значение имеет повышенный уровень фосфорного питания. Система удобрения должна обеспечивать не только высокие и устойчивые урожаи культур, но и сохранение и повышение качества получаемой сельскохозяйственной продукции.

Для построения правильной системы удобрения в севообороте необходимо учитывать также агротехническое и народнохозяйственное значение различных культур. В каждом севообороте имеется ведущая

культура, имеющая наибольшее значение при выполнении плановых заданий. В Нечерноземной полосе очень важная техническая культура — лен, на Украине — сахарная свекла и озимые зерновые, в республиках Средней Азии — хлопчатник, на Северном Кавказе и в Поволжье — зерновые культуры, в хозяйствах животноводческого направления — кормовые культуры (кукуруза, корнеплоды и др.), в пригородных хозяйствах — картофель, овощные и т. д. Ведущие культуры севооборота должны получать удобрения в первую очередь и в больших количествах. Кроме того, такие культуры, как хлопчатник, сахарная свекла, картофель, кукуруза, не только потребляют значительно больше питательных веществ, но и лучше оплачивают удобрения дополнительной прибавкой урожая. Для севооборотов с большим удельным весом технических, овощных и кормовых культур должна быть предусмотрена более высокая обеспеченность органическими и минеральными удобрениями.

Система применения удобрений должна обеспечивать повышение урожая не только ведущих, но и всех других культур севооборота (путем непосредственного внесения под них удобрений или использования ими последствия удобрений, внесенных под ведущие культуры). Продолжительность и последствие зависят от вида и состава удобрений. Навоз и фосфорные удобрения (особенно фосфоритная мука) оказывают положительное действие на урожай сельскохозяйственных культур в течение ряда лет, последствие азотных и калийных удобрений незначительно.

При построении системы удобрений необходимо учитывать также порядок чередования культур, характер предшественника и его урожай. Само по себе чередование культур обеспечивает получение более высокого урожая по сравнению с монокультурой. Кроме того, в севообороте облегчается борьба с болезнями, вредителями и сорной растительностью.

Правильное чередование культур обеспечивает более продуктивное использование питательных веществ почвы и повышение эффективности минеральных и органических удобрений. Например, в длительном опыте Сумской опытной станции через 20 лет бессменного возделывания сахарной свеклы при внесении 52 т навоза на 1 га через год урожай был 145 ц с 1 га, а в севообороте (пар, озимые, свекла, яровые) при внесении меньшей нормы — 40 т на 1 га один раз в 4 года — 253 ц с 1 га.

Удобрение отдельных культур севооборота зависит от предшественника и его урожая, а также количества корневых и пожнивных остатков и содержания в них элементов питания.

В зависимости от состава возделываемых культур и чередования их в севообороте неодинаково решаются вопросы известкования (норма и место внесения извести) и применения удобрений. Так, при высокой насыщенности севооборота картофелем, корнеплодами, силосными и другими калиелюбивыми культурами возрастает потребность в калийных удобрениях и повышается их эффективность. Эффективность фосфоритной муки значительно возрастает на легких дерново-

подзолистых почвах в севооборотах с люпином, обладающим лучшей способностью усваивать фосфор из труднорастворимых соединений.

После пропашных культур (которые при хорошем уходе оставляют поля чистыми от сорняков и в то же время потребляют очень большое количество питательных веществ из почвы и поздно убираются) эффективность удобрений и потребность в них последующих культур повышаются. Это особенно ощутимо, если урожай предшественников были высокими, а удобрения под них вносили в умеренных количествах. Под культуры, идущие после хорошо удобренных предшественников, нормы удобрений могут быть уменьшены. После многолетних бобовых трав и зерновых бобовых, обогащающих почву азотом, но потребляющих много фосфора и калия, потребность в азотных удобрениях уменьшается, а действие фосфорных и калийных удобрений усиливается.

Таким образом, распределение удобрений по полям севооборота во многом зависит от народнохозяйственного и агротехнического значения каждой культуры, места ее в севообороте, характера предшественников и степени удобренности отдельных полей.

### **Сочетание применения навоза и минеральных удобрений**

При размещении удобрений в полях севооборота важно правильно сочетать применение органических и минеральных удобрений. Д. Н. Прянишников писал, что совместное внесение навоза и минеральных удобрений «позволяет обильно снабдить растения усвояемой пищей в первых стадиях развития и дать в то же время в виде навоза резерв постоянно приходящих в действие питательных веществ», т. е. обеспечивает наилучшие условия питания растений в течение всего вегетационного периода. Кроме того, при внесении органических удобрений вместе с минеральными ослабляется отрицательное влияние физиологической кислотности и повышенной концентрации питательных веществ, особенно заметное при внесении высоких норм минеральных удобрений. Опыты показывают, что при совместном внесении половинных норм навоза и минеральных удобрений, как правило, получают более высокие прибавки урожая, чем при раздельном внесении полной нормы каждого из этих удобрений. Особенно эффективно совместное внесение навоза и минеральных удобрений на песчаных и супесчаных почвах, слабокультуренных суглинистых дерново-подзолистых почвах и выщелоченных черноземах.

Органических удобрений в хозяйстве бывает обычно недостаточно для всех полей севооборотов. Поэтому их прежде всего необходимо вносить совместно с минеральными удобрениями под овощные культуры, картофель, кормовые корнеплоды, силосные культуры, а из зерновых — в первую очередь под озимые культуры. Пропашные культуры дают более высокие прибавки урожая на каждую тонну внесенного навоза. Навоз, внесенный под пропашные и озимые, будет оказывать последствие на все остальные культуры севооборота, под которые непосредственно вносят только минеральные удобрения. При

наличии в хозяйстве специализированных прифермских и овощных севооборотов их обеспечивают органическими удобрениями в первую очередь и в больших количествах.

Средние нормы навоза в Нечерноземной зоне обычно 20—40 т на 1 га (в кормовых и овощных севооборотах до 60—80 т на 1 га), а в южных районах 10—20, реже 30 т на 1 га.

К навозу на всех почвах, в том числе на черноземах, в первую очередь необходимо добавлять азотные удобрения. На дерново-подзолистых суглинистых почвах наряду с азотными на фоне навоза эффективны фосфорные, а на супесчаных — и калийные удобрения.

Комбинированная система удобрения, при которой сочетается применение органических и минеральных удобрений, является наиболее распространенной. В связи с созданием крупных животноводческих комплексов большое внимание уделяется разработке системы удобрения в кормовых севооборотах с максимальным насыщением бесподстилочным навозом, которая, однако, обязательно должна включать корректировку соотношения питательных веществ с помощью минеральных удобрений.

В то же время значительная удаленность полей отдельных севооборотов от ферм или ограниченное количество органических удобрений в хозяйстве обуславливает существование безнавозной системы удобрения, основанной на применении только минеральных туков. В этом случае для пополнения запаса органического вещества в почве целесообразны посев промежуточных культур на зеленое удобрение и заплата соломы.

### Планирование применения и установление норм минеральных удобрений

Один из наиболее важных и сложных вопросов при разработке системы удобрений в севообороте — установление нормы удобрений. Урожай сельскохозяйственных культур возрастает в прямой зависимости от увеличения нормы туков лишь до определенного уровня, при котором достигается наибольшая оплата единицы питательного вещества удобрения получаемой продукцией. В этом интервале норм урожайность от дополнительного внесения удобрений растет как с единицы площади, так и в расчете на единицу удобрения (рис. 16).

Дальнейшее повышение нормы удобрений сопровождается увеличением урожая с единицы площади, но величина прироста урожая от возрастающих норм и окупаемость единицы удобрения продукцией постепенно снижаются. После достижения максимальной стабильной урожайности с единицы площади дальнейшее увеличение норм удобрений нецелесообразно. Повышение нормы удобрений экономически оправдано до того момента, пока стоимость прироста урожая окупает издержки, связанные с применением дополнительного количества удобрений.

Поэтому при разработке системы удобрения нормы туков должны устанавливаться в зависимости от уровня химизации. При ограни-

ченной обеспеченности удобрениями предпочтительнее норма, позволяющая получить наивысшую оплату единицы удобрения. При полном удовлетворении потребности в удобрениях основной целью должно быть получение максимально возможного выхода продукции с единицы площади и решаться задача сохранения и повышения плодородия почвы.

Основой для планирования применения удобрений, установления оптимальных норм и соотношения питательных веществ удобрений под сельскохозяйственные культуры являются результаты полевых опытов. Полевые опыты с удобрениями проводятся в различных почвенно-климатических зонах страны по единым схемам опытными станциями и научно-исследовательскими сельскохозяйственными институтами, зональными агрохимическими лабораториями.

На основании обобщения итогов географических полевых опытов выявляются существенные закономерности эффективности удобрений от почвенно-климатических условий, агротехники и других факторов, разрабатываются рекомендации по применению туков.

Результаты работы географической сети полевых опытов позволяют выявить основные закономерности в действии удобрений: установить размеры средних устойчивых прибавок урожая сельскохозяйственных культур от внесения различных норм отдельных видов удобрений и их сочетаний; определить оптимальные нормы и соотношения основных элементов питания для получения максимальной агрономической и экономической эффективности удобрений; установить потребность в удобрениях по природно-экономическим районам и областям страны, планировать их производство и распределение в государственном масштабе.

Распределение минеральных удобрений по природно-экономическим районам и по сельскохозяйственным культурам проводится в плановом порядке на основе агроэкономической оценки данных Географической сети полевых опытов ВИУА и системы агрохимслужбы СССР. Планирование поставки удобрений осуществляется с учетом почвенно-климатических условий, народнохозяйственной значимости выращиваемых культур и экономической эффективности удобрений исходя из потребности страны в различных видах сельскохозяйственной продукции и достигнутого уровня развития туковой промышленности.

В первую очередь минеральные удобрения выделяются под культуры, производство которых имеет важное народнохозяйственное значение и, кроме того, ограничено определенными почвенно-климатическими условиями. Полностью по потребности для получения планируемого урожая обеспечиваются также посевы на мелиорируемых землях с регулируемым водным режимом, что обусловлено высокой

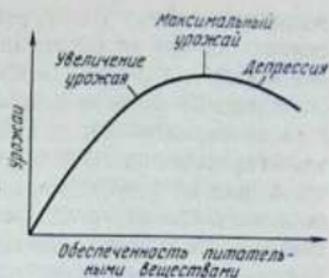


Рис. 16. Зависимость урожая от обеспеченности питательными веществами при прочих неизменных факторах роста.

эффективностью удобрений при орошении и необходимостью быстрее окупить значительные капиталовложения на мелиорацию земель.

Более высокий уровень поставки удобрений планируется для районов достаточного увлажнения, где достигается наибольшая оплата единицы удобрений.

Наибольшие нормы удобрений применяются под важнейшие технические культуры — хлопчатник, сахарную свеклу, картофель, лен-долгунец, табак, а также овощные и бахчевые культуры в основных районах их возделывания. Одна из важнейших народнохозяйственных задач — увеличение производства зерна — решается в значительной степени за счет применения большего количества минеральных удобрений под зерновые культуры, особенно при орошении.

51. Оптимальные соотношения элементов питания и нормы удобрений, рекомендуемые агрохимической службой по основным зонам страны для заданных урожаев (данные ЦИАНО)

Район возделывания	Число обобщенных опытов	Оптимальные дозы питательных веществ, кг на 1 га	Соотношение N : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O
Озимая пшеница (35—40 ц зерна с 1 га)			
Северный Кавказ	131	140	1:1:0,3
Центральные черноземные области	52	140	1:1,2:1,2
Донецко-Приднепровский	426	135	1:1,4:1
Юго-Западный	276	155	1:1,3:1
Южный	205	130	1:1,2:0,7
Озимая рожь (20—25 ц зерна с 1 га)			
Центральный	52	170	1:1:0,8
Юго-Западный	71	185	1:0,7:1,3
Литовская ССР	34	180	1:1:1
Белорусская ССР	170	200	1:1:1,3
Яровая пшеница (15—20 ц зерна с 1 га)			
Поволжский	331	110	1:1,2:0,5
Западно-Сибирский	216	115	1:1,1:0,7
Восточно-Сибирский	206	105	1:1,2:0,4
Казахская ССР (без юга)	168	55	0:1:0
Казахская ССР (юг)	115	120	1:1,4:0,6
Картофель (по фону органических удобрений) (200—250 ц клубней с 1 га)			
Центральный	229	205	1:0,7:0,8
Юго-Западный	170	225	1:0,7:0,8
Белорусская ССР	210	225	1:1,4:1,4
Сахарная свекла (250—300 ц корнеплодов с 1 га)			
Центрально-Черноземный	141	200	1:1,25:1,1
Северо-Кавказский	70	155	1:1,3:1,1
Донецко-Приднепровский	298	200	1:1:0,8
Юго-Западный	386	220	1:1,1:1,1
Хлопчатник (хлопок-сырец, 25—30 ц с 1 га)			
Узбекская ССР	39	340	1:0,7:0,14
Таджикская ССР	70	340	1:0,5:0,3
Туркменская ССР	54	290	1:0,6:0,2
Азербайджанская ССР	162	275	1:1:0,5

Определение потребности в минеральных удобрениях в масштабе страны, союзных республик и экономических районов, а также обоснование оптимальных планов распределения фондов удобрений производится с использованием электронно-вычислительной техники. В ЦИНАО для этих целей создан специальный программный комплекс «Фонуд» (фонды удобрений). При разработке экономико-математической модели для решения задачи положены следующие материалы:

структура посевных площадей, фактический и планируемый уровень урожайности культур на предстоящий хозяйственный год или на перспективу согласно утвержденным народнохозяйственным планам; потребность удобрений на единицу прибавки урожая; доля прибавки урожая, обусловленная применением отдельных видов и сочетаний минеральных удобрений согласно результатам полевых опытов;

уровень потенциального и актуального плодородия почв по результатам почвенно-агрохимических обследований;

экономическая эффективность применения удобрений, определяемая на основе нормативных данных по средним прибавкам урожая и затратам на применение удобрений.

Средние рекомендуемые по отдельным зонам страны нормы удобрений устанавливаются для определенного планируемого уровня производства сельскохозяйственной продукции исходя из фактической обеспеченности туками и уровня плодородия почв зоны (табл. 51). Зональные рекомендации по применению удобрений под сельскохозяйственные культуры разрабатываются на основании агроэкономической

52. Примерные средние нормы внесения удобрений под главнейшие культуры в районах Нечерноземной зоны РСФСР (навоз — т на 1 га; N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O — кг на 1 га) (рекомендации ВИУА)

Культура	Дерново-подзолистые суглинистые				Дерново-подзолистые супесчаные				Серые лесные и оподзоленные черноземы			
	навоз	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	навоз	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	навоз	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Зерновые озимые по занятым парам: без органических удобрений с органическими удобрениями по пласту трав	—	40	60	40	—	60	60	60	—	30	40	40
	20	20	40	20	20	40	40	40	20	20	30	30
	—	20	60	40	—	30	50	60	—	20	40	40
Яровые зерновые (без кукурузы)	—	30	30	20	—	60	40	40	—	30	30	30
	—	15*	60	40	—	20*	40	40	—	—	40	40
Горох (зерно)	—	30	60	40	—	40	40	40	—	20	40	40
Гречиха	—	30	40	40	—	40	40	40	—	20	40	40
Просо	—	30	40	40	—	40	40	40	—	20	40	40
Лен-долгунец по клевернице	—	30	60	70	—	40	60	30	—	20	60	70
Картофель: по навозу без навоза	20	40	40	40	30	60	40	40	20	60	40	40
	—	60	60	60	—	60	60	90	—	40	60	40

\* Азотные удобрения вносят только на малоплодородных почвах.

оценки результатов полевых опытов об эффективности видов, форм, доз и способов внесения удобрений в типичных для зоны почвенно-климатических условиях.

В таблице 52 приводятся рекомендуемые нормы удобрений по важнейшим сельскохозяйственным культурам, возделываемым на различных почвах Нечерноземной зоны РСФСР.

Средние рекомендуемые зональные дозы удобрений должны корректироваться применительно к конкретным условиям хозяйства в зависимости от агрохимических свойств почв.

Согласно действующей в настоящее время «Всесоюзной интразональной классификации почв по агрохимическим показателям», все почвы в зависимости от кислотности и содержания подвижных форм питательных веществ подразделяются на шесть классов. Показатели третьего класса характеризуют среднюю обеспеченность почвы элементами питания для зерновых культур, а четвертого и пятого соответственно для более требовательных к уровню питания пропашных и овощных культур (табл. 20 на стр. 68). При большем, чем среднее, содержании питательных веществ в почве рекомендуемая норма удобрений под сельскохозяйственные культуры уменьшается, при меньшем — повышается. При обеспеченности почвы подвижными формами элементов питания на один класс ниже либо выше, чем средняя, доза изменяется на 25—30%, а на два класса — в 1,5 раза.

Поправочные коэффициенты к средним рекомендуемым нормам удобрений в зависимости от обеспеченности почвы элементами питания уточняются зональными научными агрохимическими учреждениями для различных сельскохозяйственных культур применительно к условиям их возделывания. В таблице 53 приведены поправочные коэффициенты к средним нормам удобрений для отдельных культур на дерново-подзолистых и серых лесных почвах.

53. Примерные поправочные коэффициенты к средним нормам удобрений под различные культуры в зависимости от содержания подвижного фосфора и калия на дерново-подзолистых и серых лесных почвах (данные ВИУА)

Содержание в почве	Зерновые	Зерновые бобовые и травы	Лес	Пропашные	Овощные
<b>Фосфорные удобрения</b>					
Очень низкое	1,3—1,5	1,5—2,0	1,8—1,5	*	*
Низкое	1,0	1,0	1,0	1,3—1,5	*
Среднее	0,6—0,7	0,7—0,9	0,6—0,7	1,0	1,2—1,5
Повышенное	Рядковое	0,6—0,5	0,5	0,5—0,7	1,0
Высокое	Не вносят	Не вносят	0,2—0,8	Рядковое	0,6—0,8
Очень высокое	Не вносят	Не вносят	Рядковое	Не вносят	Рядковое
<b>Калийные удобрения</b>					
Низкое	1,0	1,5	1,5—2,0	1,3—1,5	1,5—2,0
Среднее	0,6—0,7	1,0	1,0—1,5	1,0	1,3—1,5
Повышенное	Не вносят	0,7—0,8	0,8—1,0	0,6—0,8	1,0
Высокое	Не вносят	0,5—0,6	0,7—0,8	0,5	0,6—0,8

\* Без предварительного окультуривания урожай не обеспечен.

Зональными агрохимическими лабораториями и научными учреждениями страны постоянно проводятся широкие экспериментальные исследования по выяснению взаимосвязи между агрохимическими показателями почвы и эффективностью удобрений. В полевых опытах изучается взаимосвязь между нормой основных элементов питания и уровнем урожайности основных сельскохозяйственных культур, возделываемых в конкретных почвенно-климатических условиях при различной обеспеченности почвы подвижными формами питательных веществ. На основании выявленной в таких опытах коррелятивной зависимости разрабатываются рекомендации по применению удобрений на планируемый урожай с учетом агрохимических показателей почвы.

Проверка правильности и корректировка разработанной на основе экспериментальных и нормативных доз системы удобрения в севообороте (в его звеньях и под отдельные культуры), а также оценка размеров возможных прибавок урожая при принятых нормах органических и минеральных удобрений могут быть выполнены различными расчетными методами. В основе всех расчетных подходов лежит баланс питательных веществ — сопоставление расхода элементов питания на формирование урожая и поступления питательных веществ из почвы и удобрений.

Сопоставление выноса элементов питания с урожаем культур за севооборот с их количеством в составе внесенных органических и минеральных удобрений позволяет представить в общем степень восполнения расхода отдельных питательных веществ из почвы. Однако такой баланс, называемый валовым, не раскрывает количественную сторону фактического использования элементов питания сельскохозяйственными культурами из удобрений. Валовой баланс успешно использовался для общей оценки расхода из почвы и поступления в нее элементов питания при ограниченном применении удобрений, когда урожай формировался в основном за счет почвенного плодородия и биологического азота.

Для оценки реального баланса питательных веществ, согласно принятой системе удобрения в севообороте (или хозяйстве), необходимо учитывать степень использования элементов питания сельскохозяйственными культурами из удобрений за ротацию, при оценке баланса в отдельных звеньях севооборота — коэффициенты использования элементов питания в первые 3 года из внесенных органических и минеральных удобрений. Эти данные устанавливаются на основе обобщения результатов многолетних полевых опытов с удобрениями в севооборотах применительно к определенным почвенно-климатическим условиям. Примерные коэффициенты использования питательных веществ из удобрений приведены в таблице 54.

Коэффициенты использования азота, фосфора и калия из навоза и минеральных удобрений (особенно в первый год) подвержены существенным колебаниям в зависимости от культуры, почвенно-климатических условий, норм, времени внесения и способа заделки удобрений и т. п.

54. Примерные коэффициенты использования питательных элементов из удобрений в отдельные годы и за ротацию севооборота

Годы действия	Коэффициенты использования, %		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Минеральные удобрения			
За ротацию	65—75	35—50	65—85
в том числе за:			
1-й год	55—70	10—30	40—60
2-й "	3—5	10—15	10—15
3-й "	—	5—10	5—10
Органические удобрения			
За ротацию	80—60	50—60	70—90
в том числе за:			
1-й год	20—30	35—45	40—60
2-й "	15—20	15—10	15—20
3-й "	5—10	0—5	5—10

При оценке складывающегося баланса питательных веществ в севообороте или отдельных его звеньях должны учитываться уровень потенциального почвенного плодородия, состав возделываемых культур, степень усвоения растениями внесенных с удобрениями элементов питания и другие факторы.

Для дерново-подзолистых и других малогумусированных почв, особенно легкого механического состава, необходимо стремиться к превышению прихода азота с удобрениями над выносом не менее чем на 15—20%. В то же время на богатых органическим веществом и, следовательно, азотом почвах (например, на осушенных низинных торфяниках и мощных черноземах) допустим небольшой дефицит этого элемента. На богатых калием тяжелых почвах и сероземах баланс по калию может иметь дефицит 10—30% (конечно, при этом необходимо учитывать наличие калийлюбивых культур в севообороте, уровень урожая и применения азотно-фосфорных удобрений), а на песчаных и супесчаных почвах дефицит калия недопустим.

Баланс по фосфору должен быть всегда положительным с превышением поступления над выносом не менее 50%. При малом содержании подвижных форм фосфора в большинстве почв нашей страны и низком усвоении фосфора из удобрений для поддержания и улучшения почвенного плодородия требуется обеспечивать возмещение этого элемента в 2—2,5 раза больше, чем вынос с урожаем.

Следовательно, при разработке системы удобрения в севообороте должно предусматриваться разумное использование естественного плодородия почвы, а при более высоком уровне химизации земледелия — не только восстановление плодородия почвы, но и его расширенное воспроизводство.

На дерново-подзолистых и светло-серых дерново-подзолистых почвах, например, размеры возврата элементов питания в виде удобрений в пылеватых севооборотах с одним полем картофеля должны быть не ниже следующих величин (табл. 55).

55. Примерные размеры возврата элементов питания от его выноса растениями в % к выносу (по И. П. Дерюгину)

Обеспеченность почв элементами питания (классы)	Вносятся за севооборот в % к выносу		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Низкая (I—II кл.)	От +10 до +20	От +150 до +120	От +15 до +10
Средняя (III—IV кл.)	От 0 до +10	От +120 до +80	От 0 до -20
Высокая (V—VI кл.)	0	От +20 до +30	От 0 до -40

Размеры выноса основных элементов питания с урожаем отдельных культур могут значительно различаться в зависимости от условий выращивания и уровня урожая. Особенно резкие колебания в количестве потребляемых питательных веществ на единицу урожая характерны для корне- и клубнеплодов. Поэтому для расчетов баланса в севообороте лучше пользоваться данными о выносе, полученными непосредственно в хозяйстве или в аналогичных почвенных условиях ближайшими опытными учреждениями для районированных сортов соответствующих культур при хорошей структуре урожая и высокой агротехнике. Допустимо применение справочных данных о среднем выносе NPK на единицу урожая, однако при этом возрастает условность расчета.

Балансовый метод применяется также для оценки потребности в удобрениях и характеристики складывающегося круговорота питательных веществ в хозяйстве, по природно-экономическим районам, административным областям и в целом по стране.

Во внешнехозяйственном балансе сопоставляются размеры отчуждения элементов питания с товарной продукцией и их прихода с органическими и минеральными удобрениями, завозными кормами и семенами.

Расчет внутрихозяйственного баланса, как и баланса в севообороте, включает сопоставление выноса питательных веществ с урожаем (всех видов продукции, убираемой с поля) с возмещением их с внесенными удобрениями. Эти статьи баланса имеют наибольший удельный вес в структуре потерь и возврате элементов питания. В полном хозяйственном балансе, кроме выноса с урожаем, могут учитываться потери питательных веществ из удобрений и почвы, а в приходной статье — возмещение не только с удобрениями, но и с семенами, атмосферными осадками, бобовыми культурами (азота).

При значительном удельном весе многолетних бобовых культур в структуре посевных площадей существенной статьей прихода азота является симбиотическая азотфиксация. Однако расчеты показывают, что в масштабе страны при доле бобовых культур около 10% от общей площади пахотных земель на фиксированный азот атмосферы приходится лишь около 2—5% общего прихода азота.

Балансовые расчеты в масштабе страны производятся путем суммирования имеющихся разработок по зонам и республикам либо на основе использования данных о средневзвешенных размерах выноса элементов питания каждой культурой с учетом зональных особенностей в выносе на единицу продукции, существующей или планируемой

структуры посевных площадей, урожайности и обеспеченности органическими и минеральными удобрениями.

Балансовые разработки применяются в дополнение к экспериментальным опытным данным для научного обоснования распределения минеральных удобрений между природно-экономическими районами, административными зонами и хозяйствами, а также по культурам. Недостатком балансового метода является необходимость использования большого количества расчетных нормативов при определении отдельных статей приходной и расходной частей баланса. При проведении балансовых расчетов более надежные результаты могут быть получены при экспериментальном определении размеров выноса коэффициентов использования элементов питания из удобрений и других показателей в полевых опытах с удобрениями в типичных севооборотах и конкретных почвенно-климатических условиях.

Балансовый метод используется при установлении доз минеральных удобрений для планируемого урожая культур с учетом обеспеченности почвы подвижными формами элементов питания с применением электронно-вычислительных машин.

Таким образом, определение оптимальных норм удобрений производится на основе экспериментальных, нормативных и балансовых методов.

При разработке системы удобрений исходя из фактической обеспеченности минеральными удобрениями чаще всего применяются средние зональные нормативные дозы, уточняемые по агрохимическим показателям почвы. Для ведущих культур севооборотов в этом случае возможен расчет нормы удобрений на планируемый урожай различными методами.

Разработка системы удобрения на высокие планируемые урожаи всех культур севооборота может осуществляться в условиях полного обеспечения минеральными удобрениями по потребности. Такой уровень поставок удобрений достигнут в основных районах возделывания ведущих технических культур, а также в промышленных районах с высокой плотностью населения (например, в Московской и Ленинградской областях). В таких условиях возрастает роль балансовых расчетов при определении норм удобрений.

Для ориентировочного установления потребности в минеральных удобрениях на планируемый урожай или прибавку урожая могут использоваться также другие расчетные методы, в основу которых положены данные о выносе культурами элементов питания, коэффициенты использования питательных веществ растениями из удобрений и поправочные коэффициенты на уровень плодородия почвы.

Пример расчета потребности в удобрениях на планируемую прибавку урожая по выносу элементов питания с учетом обеспеченности почвы подвижными формами питательных веществ рассматриваются в лабораторном практикуме к главе VI (стр. 261). Подобным способом можно рассчитать нормы удобрений на весь планируемый урожай.

Предлагаемые различными авторами расчетные методы норм

удобрений на планируемый урожай включают оценку возможного выноса элементов питания за счет подвижных форм из запасов почвы. Известно, однако, что коэффициенты использования питательных веществ из почвы различными культурами могут колебаться в широком интервале — для фосфора от 2 до 20% и более, а калия — от 10 до 55%. Эти методы могут быть применены лишь при наличии экспериментально установленных коэффициентов использования элементов питания из подвижных форм в почве для отдельных культур в конкретных почвенно-климатических условиях.

Для планирования потребности и применения удобрений в хозяйстве на основе нормативных показателей для получения планируемого урожая с учетом плодородия почвы в ЦИНАО разработана программа «Радоз» (Расчет доз). Исходные материалы для последующей обработки на электронно-вычислительной машине включают следующие данные:

номер севооборота, поля и отдельно обрабатываемого участка, их площади;

тип и механический состав почвы, класс почвы по кислотности и содержанию подвижных форм фосфора и калия согласно результатам последнего агрохимического обследования;

предшественник и его удобрение;

планируемая культура, сорт, планируемый уровень урожайности.

Конечные материалы, которые выдает ЭВМ, содержат все данные о количестве необходимых для внесения на каждый отдельно обрабатываемый участок органических и минеральных удобрений с указанием срока и способа их применения. Годовой план применения удобрений, разрабатываемый по программе «Радоз», является основой для планирования поставки удобрений и официальным документом для осуществления работ специализированными агрохимическими службами и внутрихозяйственными подразделениями.

Следует отметить, однако, что наиболее надежные результаты при определении оптимальных норм удобрений могут быть получены только на основе данных полевых опытов с удобрениями, особенно многолетних, в сочетании с разнообразными расчетными методами проверки правильности соотношения между отдельными элементами питания и предварительной агроэкономической оценки.

При планировании уровня урожайности сельскохозяйственных культур и норм удобрений должен учитываться весь комплекс природно-экономических факторов, организационно-хозяйственные условия и особенности питания растений. С возрастанием уровня химизации все большее значение приобретает повышение общей культуры земледелия, строгое соблюдение агротехники и осуществление мелиоративных мероприятий. Огромную роль играет также селекция и внедрение в производство высокоурожайных сортов сельскохозяйственных культур, обладающих повышенной отзывчивостью на удобрение.

## Способы внесения удобрений

Годовая норма удобрений под отдельные культуры может вноситься в разные сроки и разными способами. Сроки и прием внесения удобрений должны обеспечивать наилучшие условия питания растений в течение всей вегетации и получение наибольшей окупаемости питательных веществ урожаем. Различают три способа внесения удобрений: допосевное (или основное), припосевное (в рядки, гнезда, лунки) и послепосевное (или подкормки в период вегетации).

В основное удобрение до посева вносят навоз (и другие органические удобрения) и, как правило, большую часть общей нормы применяемых под данную культуру минеральных удобрений. Цель основного удобрения — обеспечить питание растений в течение всего периода вегетации. До посева удобрения вносят разбросным способом помощью туковых сеялок (минеральные удобрения, известь), навозоразбрасывателей (органические удобрения) и других машин. Перспективным способом применения удобрений до посева, особенно суперфосфата, является ленточное, локальное внесение. При локальном размещении фосфор суперфосфата меньше закрепляется в почве и повышается усвоение его растениями.

Основное фосфорно-калийное удобрение вносят преимущественно осенью и заделывают под глубокую зяблевую вспашку. При этом удобрения попадают в более влажный и менее пересыхающий слой почвы, где развивается основная масса деятельных корней. При глубокой заделке удобрения лучше используются растениями и дают больший эффект. Особое значение имеет глубокая заделка допосевого фосфорного удобрения, поскольку фосфор в почве практически не передвигается вследствие химического связывания.

Азотные удобрения до посева при орошении и в районах с большим количеством осадков, особенно на легких песчаных и супесчаных почвах, необходимо вносить весной с заделкой под предпосевную обработку почвы. При этом ограничивается возможность потерь нитратного азота удобрениями (а также нитратов, образующихся при нитрификации аммонийных, аммиачных форм азотных удобрений и мочевины) вследствие вымывания и миграции из корнеобитаемого слоя почвы. На тяжелых почвах в районах с ограниченным количеством осадков в осенне-зимний период аммонийные твердые, жидкие аммиачные удобрения и мочевину можно вносить с осени.

На легких почвах, обладающих малой емкостью поглощения, целесообразно калийные удобрения (во избежание потерь калия от вымывания) вносить вместе с азотными удобрениями весной под культивацию, а под пропашные культуры часть этих удобрений переносить в подкормку.

Для лучшего обеспечения питания растений в начальный период роста наряду с основным удобрением необходимо вносить небольшие дозы удобрений одновременно с посевом в рядки или гнезда.

Припосевное удобрение вносят специальными комбинированными сеялками. Для всех сельскохозяйственных культур особенно

большое значение имеет внесение в рядки гранулированного суперфосфата, так как в начальный период роста растения особенно чувствительны к недостатку фосфора. Под зерновые культуры гранулированный суперфосфат может быть внесен обычными зерновыми сеялками в смеси с семенами.

Под сахарную свеклу, картофель, кукурузу и некоторые другие культуры вместе с суперфосфатом при посеве вносят также небольшие дозы азотных и калийных удобрений либо применяют комплексные удобрения. Под культуры, чувствительные к высокой концентрации питательных веществ вблизи корней, например кукурузу, лучше вносить их на некотором расстоянии (2—3 см) сбоку или ниже семян, с тем чтобы семена отделялись от удобрений прослойкой почвы.

Питательные вещества из удобрений, внесенных в рядки или гнезда на глубину посева семян, используются большинством растений только в первый период роста, поэтому доза их должна быть невысокой. При внесении в лунки или в борозды удобрений под картофель и томаты удобрения могут использоваться более длительное время, особенно при достаточной влажности почвы. Дозы припосадочного удобрения под эти культуры могут быть увеличены.

Припосевное удобрение, рассчитанное главным образом на обеспечение растений легкодоступными формами элементов питания в начальный период их жизни, имеют важное значение и для последующего развития растений. Благоприятные условия питания с начала вегетации способствуют формированию у молодых растений более мощной корневой системы, что обеспечивает в дальнейшем лучшее использование элементов питания из почвы и основного удобрения. Благодаря рядковому удобрению растения быстрее развиваются и легче переносят временную засуху, меньше повреждаются вредителями и болезнями, лучше подавляют сорную растительность. Припосевное местное внесение небольших доз минеральных удобрений — наиболее эффективный способ их применения, обеспечивающий более высокие прибавки урожая на каждый центнер удобрения. Особенно эффективно применение в рядки гранулированного суперфосфата (табл.56).

При систематическом применении высоких норм удобрений содержание подвижных форм элементов питания, в том числе фосфора, в почве постепенно возрастает и действие рядкового удобрения может снижаться. Рядковое применение суперфосфата имеет важное значение при выращивании зерновых и других культур в засушливых районах страны, где используется ограниченное количество туков, а фосфор является элементом, находящимся в первом минимуме.

Подкормки в период вегетации применяются в дополнение к основному и припосевному удобрению с целью усиления питания растений в периоды наиболее интенсивного потребления ими питательных веществ.

Высокоэффективна ранневесенняя подкормка азотными удобрениями озимых культур, которая является обязательным приемом при их возделывании. Для улучшения азотного питания льна в период

56. Эффективность рядкового удобрения в различных почвенно-климатических зонах (данные ВИАУ)

Почвы	Культуры	Урожай на контроле, и с 1 га	Прибавка урожая, и на 1 га	Оплата 1 ц суперфосфата прибавкой урожая зерна, и на 1 га
Дерново-подзолистые (52 опыта)	Озимые	20,5	3,4	5,8
Черноземы, серые лесные и каштановые (117 опытов)	»	22,2	2,8	5,6
В среднем по СССР (169 опытов)	»	21,6	3,0	6,0
Дерново-подзолистые (29 опытов)	Яровая пшеница	16,2	3,0	6,0
Черноземы, серые лесные и каштановые (60 опытов)	То же	15,8	2,0	4,0
В среднем по СССР (89 опытов)	»	15,9	2,3	4,6

максимального потребления этого элемента может применяться подкормка азотными удобрениями. Хлопчатник основное количество азота и других элементов питания поглощает в период от начала цветения до массового созревания, поэтому большая доля азотных удобрений и часть калийных применяются в подкормки в сочетании с поливами и при междурядных обработках. Подкормки широко применяются на многолетних сеяных сенокосах и пастбищах, естественных кормовых угодьях.

Перенесение части азотных и калийных удобрений в подкормку пропашных культур целесообразно на легких почвах в увлажненных районах с высоким уровнем грунтовых вод. В подкормку целесообразно выделять часть удобрений при высоких их нормах под пропашные культуры. Перенесение части удобрений из основного внесения до посева в подкормку при средних нормах под картофель, сахарную свеклу и другие пропашные культуры не дает дополнительного эффекта по сравнению с внесением всего количества удобрений до посева. Действие удобрений, внесенных в подкормку при неглубокой заделке в междурядья пропашных культур в сильной степени зависит от условий увлажнения в течение вегетации.

В увлажненных районах или при орошении эффективность подкормки значительно выше, чем в районах с недостатком влаги. Наиболее целесообразны для подкормки легкорастворимые азотные удобрения, а также богатые азотом местные удобрения — навозная жижа, птичий помет. Роль подкормок возрастает, если по каким-либо причинам удобрения до посева не применялись либо вносились в недостаточном количестве.

В подкормку удобрения вносят или поверхностно вразброс (ранневесенняя подкормка озимых, подкормка клевера и других многолетних кормовых культур, льна), или в междурядья пропашных

и овощных культур с заделкой в почву при последующей междурядной обработке, или культиваторами-растениепитателями.

В засушливых районах без орошения и в годы с недостаточным количеством осадков подкормки могут не оказать положительного действия на урожай либо даже снизить его.

В зависимости от высоты планируемого урожая, общей нормы удобрений и других условий под отдельные культуры возможны различные сочетания указанных выше способов внесения удобрений. Для получения высокого урожая хлопчатника, сахарной свеклы, кукурузы, озимых зерновых, овощных и некоторых других культур (при внесении высокой общей нормы удобрений) целесообразно применять все три способа внесения — до посева, при посеве и в подкормку. При этом удобрения размещаются в различных слоях почвы и поэтому обеспечивают лучшие условия питания растений в течение всего периода роста.

Для большинства культур чаще всего применяют основное удобрение в сочетании с припосевным. При ограниченном количестве минеральных удобрений в хозяйстве целесообразно прежде всего предусмотреть внесение удобрения наиболее экономичным способом — местно (в рядки, гнезда) при посеве.

#### Контрольные вопросы

1. Что понимается под системой удобрения в хозяйстве и в севообороте? Какие основные организационно-хозяйственные мероприятия учитываются при разработке системы удобрения?
2. Как влияют почвенно-климатические условия на эффективность удобрений, выбор их видов, форм, сроков и способов внесения?
3. Как увязывается система агротехнических мероприятий и применение удобрений?
4. Как учитываются особенности питания отдельных культур и характер севооборота при разработке системы удобрения? Приведите конкретные примеры.
5. В чем преимущество сочетания применения органических и минеральных удобрений по сравнению с только органической или минеральной системами удобрения в севообороте?
6. Охарактеризуйте роль способов применения удобрений в обеспечении питания сельскохозяйственных культур в соответствии с их особенностями и почвенно-климатическими условиями.
7. Какие принципиальные подходы существуют для определения норм и соотношения элементов питания при разработке системы удобрения?
8. Как учитываются особенности плодородия отдельных полей севооборота (отдельно обрабатываемых участков) при составлении годовых планов применения удобрений?
9. Перечислите отдельные статьи баланса питательных веществ (в севообороте, хозяйстве) и дайте их количественную оценку.

### УДОБРЕНИЕ ВАЖНЕЙШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И РАЗМЕЩЕНИЕ УДОБРЕНИЙ В СЕВОБОРОТЕ

#### Удобрение озимой пшеницы и озимой ржи

Озимые зерновые культуры дают устойчивый урожай в основных районах возделывания и характеризуются высокой отзывчивостью на удобрения.

Основная зона возделывания озимой пшеницы — Украинская ССР и

Северный Кавказ, где она занимает в структуре зерновых до 50% и дает наиболее высокие и устойчивые урожаи. Посевы озимой пшеницы значительно расширились в центральных черноземных областях РСФСР и БССР, а также в Нечерноземной зоне, где на известкованных почвах при соблюдении правильной агротехники и внесении удобрений эта культура также дает высокие урожаи.

Зона возделывания озимой ржи охватывает обширный район Нечерноземной зоны.

Озимая пшеница более требовательна, чем озимая рожь, к нейтральной реакции среды и почвенному плодородию. Вынос элементов питания у озимой пшеницы и озимой ржи на единицу товарной продукции относительно стабилен и довольно близок (см. табл. 12), однако пшеница обладает меньшей способностью усваивать питательные вещества из труднорастворимых соединений в почве и хуже переносит временное понижение температур и засуху, чем рожь.

До кушения озимые потребляют относительно небольшое количество питательных веществ, но весьма чувствительны к их недостатку, особенно фосфора. Максимум потребления элементов питания приходится на период от выхода в трубку до колошения — начала цветения (табл. 57), однако наиболее ответственным в отношении снабжения питательными веществами является период от всходов до ухода под зиму, а также начала вегетации весной.

В осенний период для хорошего роста и перезимовки озимых должно быть обеспечено повышенное фосфорно-калийное и умеренное азотное питание. Усиленное питание озимых с осени фосфором и калием способствует лучшему кушению и укоренению растений, накоплению большого количества углеводов (сахаров) и возрастанию зимостойкости. При повышенном снабжении азотом осенью ухудшаются условия перезимовки.

Применение основного удобрения под озимые культуры в большой степени зависит от характера и удобрения предшественника, плодородия почв.

Исключительно большое значение для получения высокого урожая озимых зерновых имеет весенняя подкормка их азотными удобрениями.

57. Потребление озимыми зерновыми элементов питания, % от максимального содержания в урожае

Периоды роста и фазы развития	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Озимая пшеница			
Осенний период и ранняя весна	47	30	48
Начало колошения	69	65	68
Цветение	90	93	95
Начало созревания	98	97	100
Полная спелость	100	100	82
Озимая рожь			
Выход в трубку	76	58	82
Цветение	93	78	99
Восковая спелость	100	100	100

Весной озимые рано трогаются в рост и требуют усиленного снабжения азотом. В почве же в это время минеральных соединений азота очень мало — процессы мобилизации азота почв в осенне-зимний период протекают слабо из-за низких температур, а имевшиеся нитраты теряются из корнеобитаемого слоя вследствие вымывания и денитрификации. Допустимо вместо весенней подкормки вносить азотные удобрения поздней осенью, перед уходом растений под снег, особенно в засушливых районах. Из-за опасности смыва и потерь азота в результате вымывания нитратов в грунтовые воды, подзимняя подкормка применима только на полях с выровненным рельефом и при низком залегании грунтовых вод. Подкормку озимых можно проводить также органическими удобрениями, содержащими азот в легкодоступной форме (навозная жижа, птичий помет).

Применение фосфорно-калийных удобрений в подкормку озимых (вместе с азотными) всегда менее эффективно, чем внесение с осени с глубокой заделкой в почву до посева. Суперфосфат и калийные удобрения целесообразно вносить в подкормку, если они не были внесены до посева, а также на посевах озимых, сильно переросших с осени.

При определении норм удобрений учитывается уровень планируемого урожая озимых, предшественник, почвенно-климатические условия. На орошаемых землях применяемые дозы минеральных удобрений значительно возрастают. Нормы удобрений под озимую пшеницу и рожь, возделываемые на дерново-подзолистых суглинистых и серых лесных почвах, приведены в таблице 58.

58. Нормы удобрений под озимые культуры в зависимости от содержания  $P_2O_5$  и  $K_2O$  в почве и размера урожая на дерново-подзолистой суглинистой и серой лесной почве

Урожай, ц с 1 га	Нормы азотных удобрений, кг на 1 га	Нормы фосфорных удобрений, кг на 1 га, при содержании $P_2O_5$ в почве (по Кирсанову, мг на 100 г почвы)			Нормы калийных удобрений, кг на 1 га, при содержании $K_2O$ в почве (по Масловой, мг на 100 г почвы)			Нормы органических удобрений, т на 1 га
		до 5	5—10	более 10	до 8	8—12	более 12	
<b>О з и м я я п ш е н и ц а</b>								
20—25	50—60	70—80	50—60	40—50	70—80	50—60	30—40	30—40
26—30	70—80	70—80	70—80	50—60	70—80	70—80	30—40	30—40
31—35	90—100	90—100	90—100	50—60	90—100	70—80	30—40	30—40
36—40	100—110	90—100	90—100	60—70	100—110	70—80	50—60	30—40
41—45	110—120	*	90—100	60—70	*	70—80	50—60	30—40
46—50	110—120	*	90—110	70—80	*	70—80	70—80	30—40
51—55	120—130	*	110—120	80—90	*	80—90	70—80	30—40
<b>О з и м я я р о ж ь</b>								
16—20	40—60	50—60	40—50	30—40	50—60	40—50	30—40	0
21—25	50—60	70—80	50—60	30—40	70—80	50—60	30—40	30—40
26—30	70—80	70—80	70—80	50—60	70—80	50—60	40—50	30—40
31—35	90—100	*	90—100	70—80	*	70—80	50—60	30—40
36—40	100—110	*	100—120	80—90	*	70—80	50—60	30—40

\* При этих показателях  $P_2O_5$  и  $K_2O$  в почвах указанные урожай не планируются

При возделывании озимых на окультуренных полях по хорошо удобренным предшественникам и по пласту многолетних трав с осени вносится вся норма фосфорно-калийных удобрений и лишь небольшая доза азота. Основная доля азота вносится весной в подкормку. Высокий эффект, особенно в Нечерноземной зоне, дает внесение навоза или компоста непосредственно под озимые. По данным Географической сети ВИАУ, прибавка урожая озимых от применения навоза и компостов в дозе 20—30 на 1 га составляет: на дерново-подзолистых почвах (в среднем из 145 опытов) 7,1 ц, на серых лесных почвах и выщелоченных черноземах (в среднем из 338 опытов) — 5—6 ц, а на обыкновенных и южных черноземах (по данным 92 полевых опытов) — 3,1 ц на 1 га. Однако при посеве по занятым парам органические удобрения оплачиваются большей суммарной прибавкой урожая, когда вносятся под парозанимающую культуру. Если под озимые вносится навоз, то азотные и калийные удобрения с осени обычно не применяются (за исключением малоплодородных почв легкого механического состава). В Черноземной зоне, особенно в южных и юго-восточных районах, основное значение в увеличении урожайности озимой пшеницы имеет внесение до посева фосфорных удобрений, особенно на чистых парах.

Для лучшего обеспечения питания растений в начальный период роста основное удобрение необходимо дополнять внесением небольших доз фосфора (10—15 кг  $P_2O_5$  на 1 га) в виде суперфосфата или сложных азотно-фосфорных удобрений. В последнем случае снабжение небольшой дозой азота имеет особое значение для озимых, не удобрявшихся азотом до посева.

59. Действие минеральных удобрений на урожай зерна озимой и яровой пшеницы при орошении (Н. Н. Михайлов, 1974)

Союзные республики, природно-экономические районы	Средний урожай зерна без минеральных удобрений, ц с 1 га	Средние нормы удобрений, кг на 1 га			Прибавка урожая от указанных доз удобрений, ц на 1 га		Доля участия оптимального удобрения в урожае, % (урожай с удобрением 100%)
		N	$P_2O_5$	$K_2O$	NP	NPK	
Озимая пшеница							
Украинская ССР (Южный район)	35,6	120	90	30	16,6	16,9	32,2
Молдавская ССР	31,8	120	120	0	17,4	18,2	26,8
РСФСР:							
Северо-Кавказский район	40,8	120	120	0	11,1	11,3	21,4
Поволжский район	32,2	110	90	60	—	16,8	32,7
Яровая пшеница							
РСФСР:							
Поволжский район	26,4	90	90	0	10,0	8,4*	27,2
Восточно-Сибирский район	13,4	60	60	60	5,4	7,6	36,2
Казахская ССР (Восточно-Казахстанская область)	18,7	45	60	60	—	5,2	21,7

\* Прибавка урожая от азотных удобрений.

На типичных, обыкновенных, карбонатных и южных черноземах, где сосредоточены основные посевы озимой пшеницы, применение средних доз NPK обеспечивает прибавку урожая зерна от 4 до 6,5 ц на 1 га. Наиболее высокая и устойчивая эффективность удобрений под озимые проявляется в зоне достаточного увлажнения и в районах орошаемого земледелия (табл. 59). Окупаемость зерном 1 кг NPK достигает 7—10 кг. Первоочередную роль в получении высоких урожаев зерновых культур в условиях орошения играет азот, затем фосфор. Потребность зерновых в калии в основных районах орошаемого земледелия в значительной степени удовлетворяется запасами почвы, однако для достижения максимально возможного урожая этих культур наряду с азотом и фосфором нередко возникает необходимость и в применении калийных удобрений.

При внесении под озимую пшеницу азота в нормах свыше 100—120 кг на 1 га, а под озимую рожь — свыше 90 кг на 1 га наблюдается полегание посевов даже при высоком уровне фосфорно-калийного питания. В этом случае целесообразно применение ретардантов (ТУР и др.), повышающих устойчивость растений к полеганию.

### Удобрение яровой пшеницы, ячменя и овса

Яровая пшеница занимает около  $\frac{3}{4}$  всех площадей зерновых. Основные районы возделывания яровой пшеницы сосредоточены в засушливых восточных районах страны — Казахстане, Поволжье, на Урале, в Западной и Восточной Сибири. Значительные площади заняты этой культурой в Центральном, Волго-Вятском и Центрально-Черноземном экономических районах. Яровая пшеница — важнейшая продовольственная культура — на ее долю приходится до половины валового сбора зерна в стране. В зерне яровой пшеницы содержится много белка (в среднем 16—18, а в засушливых районах свыше 20%), оно обладает высокими мукомольными и хлебопекарными качествами.

Ячмень имеет наиболее короткий из яровых зерновых культур вегетационный период, обладает невысокой требовательностью к теплу и выращивается на всей территории страны. Основные площади под ячменем размещены на черноземных почвах в лесостепной и степной зонах, а также в Нечерноземной зоне. Увлажненная Нечерноземная зона благоприятна для возделывания пивоваренного ячменя. Как и пшеница, ячмень не переносит кислотности почвы, очень высоко отзывается на известкование и применение удобрений.

Овес отличается меньшей требовательностью к теплу и плодородию почвы, чем другие яровые зерновые культуры, лучше переносит кислые почвы, устойчив к кратковременным заморозкам. Овес обладает повышенной потребностью во влаге, особенно в первую половину вегетации. Основные площади посевов овса расположены в Нечерноземной зоне и более увлажненных районах Поволжья, Урала и Сибири.

Вынос питательных веществ (соответственно N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O) составляет в среднем при урожае яровой пшеницы 30—35 ц с 1 га — 140, 50 и 75 кг; урожай ячменя 35—40 ц с 1 га — 110, 40 и 80 кг; урожай овса 25 ц с 1 га — 80, 35 и 80 кг.

Поглощение питательных веществ у яровых зерновых заканчивается в основном ко времени колошения — цветения. Они имеют более короткий, чем озимые культуры, вегетационный период и, следовательно, отличаются высокой интенсивностью потребления элементов минерального питания (табл. 60).

60. Потребление яровыми зерновыми культурами основных элементов питания, % от максимального

Фаза роста	Пшеница			Ячмень			Овес		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Колошение	71	68	88	71	56	73	51	36	54
Цветение	97	100	100	96	74	100	82	71	100
Полная спелость	90	93	67	100	100	64	100	100	88

Азоту принадлежит ведущая роль в повышении урожая яровых зерновых культур на почвах Нечерноземной и лесостепной зон. На выщелоченных черноземах Зауралья и Восточной Сибири, на серых лесных почвах Западной и Восточной Сибири важное значение наряду с азотом имеют фосфорные удобрения. На черноземах степной зоны и в юго-восточных районах, а также на каштановых почвах и предкавказских черноземах первоочередное значение имеют фосфорные удобрения.

В Нечерноземной зоне предшественниками яровой пшеницы, ячменя и овса обычно являются озимые или пропашные культуры, удобренные навозом. Навоз может применяться непосредственно под яровую пшеницу, идущую по чистым парам в Сибири, Казахстане и юго-восточных районах европейской части страны.

При выращивании яровых культур после картофеля, сахарной свеклы, зерновых и других поздно убираемых культур потребность в удобрениях, особенно в азотных, всегда несколько выше, чем после рано убираемых предшественников. На дерново-подзолистых почвах для получения высокого урожая яровых зерновых культур необходимо полное минеральное удобрение. При посеве яровых зерновых после многолетних бобовых трав и зерновых бобовых в Нечерноземной зоне и по чистым парам в засушливых районах потребность в азотных удобрениях снижается.

Азотные удобрения вносятся обычно под предпосевную обработку почвы. Питание яровых зерновых культур фосфором и калием лучше всего обеспечивается при глубокой заделке удобрений под зяблевую вспашку в сочетании с применением небольших доз суперфосфата (8—10 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на 1 га) в рядки при посеве.

Примерные нормы минеральных удобрений под яровую пшеницу в различных районах РСФСР приведены в таблице 61, а под яровые зерновые на дерново-подзолистых почвах в таблице 52.

Высокое действие удобрений на яровые зерновые культуры наблюдается в Нечерноземной зоне, в северной части Черноземной зоны и в орошаемых районах Поволжья и Северного Кавказа (табл. 59).

61. Примерные нормы минеральных удобрений под яровую пшеницу, кг д. в. на 1 га

Зона	Почвы	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Нечерноземная зона Европейская часть РСФСР	Дерново-подзолистые	40—80	40—50	40
	Серые лесные	40—60	40—50	40
Поволжье	Выщелоченные черноземы	40—60	40	40
	Обыкновенные черноземы	40	60	40
Зауралье	Выщелоченные черноземы	50—70	40—60	20—30
	Выщелоченные черноземы	20—40	60	20—30
Западная Сибирь Восточная Сибирь	Выщелоченные черноземы	20—40	60	20—30
	Обыкновенные черноземы	40—50	40	20—40
	Серые лесные	60	60	40

На юге и юго-востоке страны эффективность удобрений из-за недостатка влаги снижается, здесь особое значение имеет внесение фосфора. При достаточном количестве удобрений основную часть их следует вносить до посева с глубокой заделкой и небольшую часть в рядки при посеве.

При перенесении части азота в подкормки яровых зерновых культур эффективность поверхностно внесенных удобрений в сильной степени зависит от условий увлажнения. Ранняя подкормка азотными удобрениями целесообразна при орошении (с первым поливом), когда применяются более высокие нормы удобрений. Для повышения белковости зерна пшеницы и улучшения его технологических и хлебопекарных качеств может применяться поздняя подкормка — после цветения — азотными удобрениями, прежде всего мочевиной.

### Удобрение кукурузы

Кукуруза выращивается в нашей стране как кормовая и зерновая культура. При выращивании на зерно без орошения в лесостепной и степной зонах кукуруза может давать урожаи порядка 60—70 ц, а при орошении — до 100 и более центнеров с 1 га. Хотя вынос элементов питания на 10 ц зерна у кукурузы близок к другим зерновым культурам (25—30 N, 8—12 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 22—27 кг K<sub>2</sub>O), размеры потребления питательных веществ этой культурой могут быть даже выше, чем с хорошими урожаями корне- и клубнеплодов. Так, при урожае 100 ц зерна с 1 га в орошаемых условиях вынос составляет более 250 кг N, 100 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 360 кг K<sub>2</sub>O, а при урожае зеленой массы 500—600 ц с 1 га — 150—180 кг N, 50—60 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 150—200 кг K<sub>2</sub>O.

Кукуруза очень требовательна к почвенному плодородию. Она не переносит кислых почв, и без их известкования даже при внесении высоких норм органических и минеральных удобрений нельзя рассчитывать на получение хорошего урожая кукурузы. Кукуруза потребляет питательные вещества в течение всего периода вегетации — вплоть до наступления восковой спелости зерна. Однако наиболее интенсивное их поглощение наблюдается в период быстрого роста за сравнительно короткий промежуток времени — от выметывания метелок до цветения (табл. 62).

62. Динамика накопления сухого вещества и потребления основных элементов питания кукурузой, % от максимального (данные Украинской сельскохозяйственной академии)

Фаза развития	Сухое вещество	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
4—5 листьев	0,1	0,3	0,2	0,2
9—10 листьев	1,2	4,2	2,5	4,4
Появление метелки	24	44	33	69
Цветение	35	61	61	79
Молочная спелость	80	89	88	95
Восковая спелость	100	100	94	100
Полная спелость	94	93	100	82

Для получения высокого урожая кукурузы решающее значение имеет применение органических и минеральных удобрений, а в Нечерноземной зоне — и известкование кислых почв.

Кукуруза очень отзывчива на внесение навоза и других органических удобрений. По многолетним опытным данным, применение навоза в средних нормах повышает урожай зерна кукурузы на дерново-подзолистых и серых лесных почвах Полесья Украины на 8—10 ц, в степной зоне Украины — на 3—5 ц, на черноземах Молдавии — на 5—6 ц на 1 га. С увеличением нормы навоза урожайность кукурузы возрастает, особенно при выращивании на силос на менее плодородных почвах Нечерноземной зоны. В этих условиях целесообразно возделывание кукурузы в прифермских севооборотах, а также на постоянных участках при систематическом внесении высоких норм навоза и минеральных удобрений в сочетании с известкованием. Совместное применение навоза и минеральных удобрений обеспечивает получение хороших урожаев кукурузы при меньших нормах навоза. При посеве кукурузы на плодородных почвах после хорошо унавоженных предшественников можно ограничиться внесением под нее одних минеральных удобрений.

В составе полного минерального удобрения на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, выщелоченных черноземах наиболее эффективны азотные удобрения. На обыкновенных, мощных и карбонатных черноземах наибольшие прибавки зерна получают от внесения фосфорных удобрений (и сочетания фосфора и азота), а калийные удобрения на этих почвах часто не оказывают положительного действия. На орошаемых посевах кукурузы Юга и Юго-Востока, особенно на каштановых почвах Поволжья, возрастает роль азота на фоне фосфора, а применение калия целесообразно на фоне высоких доз азотно-фосфорных удобрений.

Навоз, фосфорные и калийные удобрения следует вносить под зяблевую вспашку (или перепашку зяби в Нечерноземной зоне). Азотные удобрения лучше вносить весной под предпосевную обработку почвы. Роль азота сильно возрастает при выращивании кукурузы как кормовой культуры, особенно когда при загущенном посеве предусматривается раннее использование зеленой массы.

Кукуруза очень медленно растет в первый месяц после всходов и

поглощает ограниченное количество элементов питания. Однако недостаток доступных питательных веществ в этот период, особенно фосфора, отрицательно сказывается на дальнейшем развитии растений, снижает использование элементов питания из основного удобрения и почвы. Для обеспечения проростков кукурузы легкодоступными питательными веществами необходимо вносить небольшие дозы удобрений при посеве. Особенно эффективно местное внесение в гнезда при посеве кукурузы небольшой дозы фосфора (5—7 кг  $P_2O_5$  на 1 га) в виде гранулированного суперфосфата или аммофосов. Удобрения следует вносить отдельно от семян — на 4—5 см в стороны и на 2—3 см ниже семян, чтобы избежать вредного действия высокой концентрации почвенного раствора на проростки кукурузы.

Для обеспечения кукурузы элементами питания в период наиболее интенсивного роста важное значение в условиях достаточного увлажнения и при орошении имеют, в дополнение в основном удобрению, подкормки. За вегетационный период проводят 1—2 подкормки в дозах по 20—30 кг действующего вещества. Наиболее эффективна подкормка полным удобрением по всходам, совмещенная с первой междурядной обработкой. Для подкормок применяются также богатые азотом органические удобрения — навозная жижа в дозе 3—5 т на 1 га и птичий помет по 3—5 ц на 1 га. Вторая подкормка фосфорно-калийными удобрениями может быть проведена до выбрасывания метелок. На более слабых посевах и во вторую подкормку следует внести полное удобрение. В подкормку удобрения вносят культиваторами-растениепитателями с заделкой на глубину 8—10 см во влажный слой почвы. Необходимо помнить, что перенесение фосфорных и калийных удобрений в подкормку (за исключением легких почв) снижает их эффективность, особенно при недостатке влаги в почве.

### Удобрение зерновых бобовых культур

Зерновые бобовые (горох, вика, соя, фасоль и др.) имеют огромное значение в решении проблемы производства растительного белка для пищевых и кормовых целей. Зерно и солома этих культур отличаются значительным содержанием белка. Благодаря способности в симбиозе с клубеньковыми бактериями усваивать молекулярный азот атмосферы, зерновые бобовые не обедняют почву азотом, а также лучше усваивают фосфор из труднорастворимых фосфатов, являются хорошим предшественником для других культур в севообороте.

В урожае зерновых бобовых содержится значительно больше питательных веществ, чем при таком же урожае хлебных злаков. Это видно из следующих данных, характеризующих вынос культурами азота, фосфора и калия (в кг на 10 ц зерна и соответствующее количество соломы):

	N	$P_2O_5$	$K_2O$
Овес, ячмень . . . . .	31	12	25
Горох, вика . . . . .	65	15	18
Люпин . . . . .	68	19	47

Максимальное накопление азота и калия у гороха и вики наблюдается в конце цветения, фосфора — при созревании. У культур с большим периодом вегетации, например у кормовых бобов и люпина, наибольшее количество всех основных элементов питания содержится к моменту созревания бобов на главном стебле.

Удобрение зерновых бобовых должно обеспечивать создание наиболее благоприятных условий для симбиотической азотфиксации. Связывание атмосферного азота бобовыми происходит в нейтральных почвах при условии заражения корней активными расами клубеньковых бактерий, достаточном уровне фосфорно-калийного питания и обеспеченности доступным молибденом — микроэлементом, принимающим участие в процессе азотфиксации. При кислой реакции среды и при повышенном содержании в почве минерального азота образование клубеньков на корнях бобовых культур ограничивается и фиксация атмосферного азота снижается. В этом случае культуры формируют урожай в основном за счет азота почвы и количество остающегося в пожнивных и корневых остатках азота атмосферы не покрывает выноса этого элемента из почвенных запасов.

В благоприятных для азотфиксации условиях бобовые более полно (на  $\frac{1}{2}$  —  $\frac{2}{3}$ ) обеспечивают свои потребности в азоте за счет усвоения его из воздуха и дают хороший урожай. С пожнивно-корневыми остатками зерновых бобовых в почву возвращается примерно столько же азота сколько его используется этими культурами из почвы, т. е. складывается бездефицитный баланс азота. Оставшиеся в почве богатые азотом корневые и пожнивные остатки легко минерализуются, что и обеспечивает улучшение азотного питания следующих за ними культур севооборота.

Под зерновые бобовые культуры навоз обычно не вносится, одна кося, фасоль и вика хорошо отзываются на его применение. Урожай фасоли при внесении навоза повышается в среднем на 3 ц и более, сои — на 2—5 ц на 1 га. Горох лучше всего размещать в севообороте после удобрявшихся навозом озимых или пропашных культур. Зерновые бобовые (кроме люпина) чувствительны к повышенной кислотности почвы, поэтому кислые почвы необходимо известковать. Для получения высокого урожая зерновых бобовых культур необходима обработка семян нитрагином для заражения их клубеньковыми бактериями и молибденовые удобрения на почвах с низким содержанием доступных форм этого микроэлемента — прежде всего на дерново-подзолистых, серых лесных почвах и выщелоченных черноземах.

Фосфорные и калийные удобрения в дозе 45—60 кг действующего вещества на 1 га следует вносить под зерновые бобовые с осени по зяблевую вспашку (калийные удобрения на легких почвах — по культивацию). Из фосфорных удобрений наряду с суперфосфатом в дерново-подзолистых почвах и выщелоченных черноземах можно применять фосфоритную муку. Особенно эффективно внесение ее по люпин и горох, которые лучше способны усваивать фосфор в труднорастворимых фосфатах.

Внесение до посева небольшой нормы азотных удобрений

(20—30 кг N на 1 га) благоприятно для обеспечения азотного питания растений в первый период роста, когда клубеньки еще не образовались. Увеличение норм азотных удобрений может оказать положительное действие на урожай зерновых бобовых на малоплодородных дерново-подзолистых почвах. Однако при высоких нормах минерального азота (свыше  $\frac{1}{3}$  от общего выноса азота с урожаем) могут снижаться относительные размеры азотфиксации, хотя абсолютное количество усвоенного растениями из атмосферы азота при этом может остаться на прежнем уровне или даже несколько возрасти. Усиленное снабжение минеральным азотом может также привести к сильному развитию у большинства зерновых бобовых вегетативной массы и затягиванию созревания, что способствует усиленному развитию сорняков, угнетающих посевы.

Внесение небольшой дозы гранулированного суперфосфата (10 кг  $P_2O_5$  на 1 га) в рядки при посеве обеспечивает питание растений фосфором в начальный период роста.

### Удобрение многолетних трав

В полевых и прифермских (кормовых) севооборотах Нечерноземья, а также в увлажненных районах Черноземной зоны распространены посевы клевера красного (одного или совместно с тимофеевкой), что позволяет получать высокопитательный белковый корм для животных и способствует повышению плодородия почвы в результате накопления азота в пожнивных и корневых остатках клевера. Многолетние травы — хороший предшественник для озимых хлебов, льна и других культур.

На кислых почвах при выращивании клевера и клевера с тимофеевкой необходимо известкование. При внесении извести повышается урожай трав и возрастает доля клевера в травостое.

На кислых почвах клевер угнетается и выпадает, в травостое начинают преобладать тимофеевка и разнотравье, при этом урожай и качество кормов снижаются, падает накопление азота за счет азотфиксации.

Удобрение многолетних трав в севообороте начинается с удобрения покровной культуры. Внесение навоза под покровную озимую культуру на дерново-подзолистых почвах и на черноземах обеспечивает увеличение продуктивности всего звена севооборота — повышается урожай зерна, трав и возделываемой по пласту культуры. Под яровые покровные культуры предусматривается внесение до посева повышенных доз фосфорно-калийных удобрений. Заделанные под вспашку фосфорно-калийные удобрения служат хорошим источником элементов питания для клевера после уборки покровной культуры и в последующий период. Если под покровную культуру не было возможности применить удобрения, то их можно вносить в подкормку после уборки покровной культуры или рано весной по травам первого года использования. Эффективность фосфора и калия при поверхностном внесении в подкормку ниже, чем при глубокой заделке в почву

### 63. Влияние способов применения фосфорно-калийных удобрений на урожай клеверного сена

Место и условия проведения опыта	Прибавка урожая сена, ц на 1 га	
	РК под покровную культуру	РК поверхностно весной
Семеновский опорный пункт (Горьковская область), супесчаные подзолистые почвы	18,2	8,9
Горьковская государственная сельскохозяйственная опытная станция, серые лесные почвы	11,6	6,4
Уральская опытная станция, тяжелосуглинистые подзолистые почвы	6,8	3,4
Опорный пункт ВНИИ сахарной свеклы, выщелоченные черноземы	5,8	3,4

перед посевом покровной культуры, особенно в условиях недостаточной влагообеспеченности (табл. 63).

Урожай сена и семян клевера может быть значительно повышен внесением борных и молибденовых удобрений. На малоплодородных дерново-подзолистых почвах целесообразна подкормка травостоя с преобладанием тимофеевки небольшими дозами азотных удобрений в периоды быстрого отрастания трав. Внесение азотных удобрений в повышенных количествах благоприятно сказывается на росте и развитии тимофеевки и разнотравья, однако при этом в составе травостоя уменьшается доля клевера, снижаются размеры накопления им азота из атмосферы.

### Удобрение льна-долгунца

Основные площади возделывания льна-долгунца сосредоточены в зоне дерново-подзолистых почв. Лен не переносит повышенной кислотности, оптимальная реакция для него рН 5,5—6,5. Лен хорошо отзывается на умеренное известкование почв с повышенной кислотностью, однако при внесении высоких норм известки страдает от недостатка бора (поражается бактериозом), в результате чего снижается урожай и ухудшается качество волокна. На таких почвах эффективно внесение борсодержащих удобрений.

Известкование в севооборотах со льном рекомендуется проводить пониженными дозами — не свыше  $\frac{2}{3}$  —  $\frac{3}{4}$  от полной нормы, устанавливаемой по гидролитической кислотности. Норма известки определяется с учетом состава других возделываемых в севообороте культур, а также механического состава почвы.

Лен имеет слаборазвитую корневую систему и не способен усваивать труднорастворимые формы питательных веществ из почвы, поэтому весьма требователен к наличию в почве доступных форм питательных веществ и отзывчив на внесение минеральных удобрений.

При урожае волокна 10 ц с 1 га лен потребляет около 80 кг азота, 40 кг  $P_2O_5$  и 70 кг  $K_2O$ .

У льна четко выражены максимумы потребления питательных

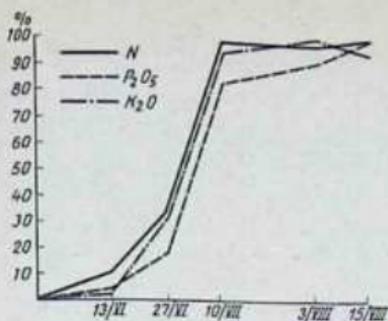


Рис. 17. Динамика поглощения питательных веществ льном (по А. М. Брагину):

13/VI — фаза «елочки»; 27/VI — начало бутонизации; 10/VII — цветение; 3/VIII — молочная спелость; 15/VIII — молочно-восковая спелость.

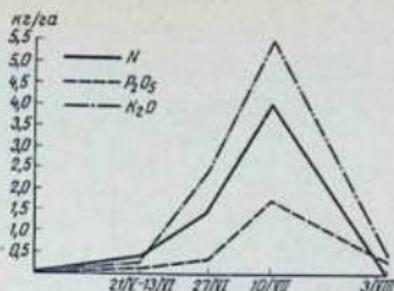


Рис. 18. Среднесуточное поглощение элементов питания льном (по А. М. Брагину):

21/VI—13/VI — от всходов до фазы «елочки»; 13/VI—27/VI — от фазы «елочки» до бутонизации; 27/VI—10/VII — от бутонизации до цветения; 10/VII—3/VIII — от цветения до молочной спелости.

веществ, а также критические периоды потребности в отдельных элементах минерального питания в течение вегетации.

От всходов до бутонизации лен растет медленно и поглощает относительно небольшую долю необходимого количества питательных веществ (около 30% азота и калия, до 20% фосфора от максимального их содержания в урожае). Критический период в потреблении фосфора у льна — от всходов до образования 5—6 пар листочков. Дефицит фосфора в это время отрицательно влияет на развитие льна и вызывает снижение урожая соломы и семян. В первый период вегетации лен чувствителен также к недостатку азота и калия.

Критический период в азотном питании льна — время от фазы «елочки» до бутонизации. Однако избыток азота в первую половину вегетации отрицательно влияет на качество волокна и увеличивает склонность льна к полеганию.

Максимальное количество азота, фосфора и калия (60—65%) лен поглощает за короткий промежуток времени — примерно две недели — в период бутонизации и цветения (рис. 17—18).

В севооборотах лен чаще всего размещают по пласту многолетних трав, а также по мягкой пахоте или обороту пласта. Поэтому применение удобрений под лен в значительной степени зависит от урожая трав и состава травостоя, удобрения предшественника. При выращивании льна после клевера или других многолетних трав с высокой долей бобовых в травостое вносятся меньшие нормы азотных удобрений. В то же время возрастает потребность в применении повышенных норм фосфорных и калийных удобрений, особенно если они применялись в ограниченных количествах под покровную культуру или в подкормки трав. Лен, идущий по мягким почвам, удобряется большей нормой азота.

Внесение органических удобрений непосредственно под лен не рекомендуется, так как они увеличивают его засоренность, вызывают пестроту стеблестоя и приводят к снижению качества волокна.

Важное значение имеет правильное распределение органических и минеральных удобрений в севооборотах со льном (табл. 64).

64. Система системы удобрения в льняном севообороте (по И. В. Гуляжину, 1975)

Культура	До посева				Пре посев		После посева
	кв/га	Н	$P_2O_5$	$K_2O$	Н	$P_2O_5$	Н
Внес с посевом	20—30	30—40	40—60	30—40	—	10	—
Опрыски с подсевом трав	—	30—40	150—200	150—200	—	10	40—60
Травы 1-го года пользования	—	—	—	—	—	—	—
Травы 2-го года пользования	—	—	—	—	—	—	—
Лен	—	30—50	100—150	100—150	—	10	30—50
Картофель	20—30	80—120	80—100	120—150	20	20	—
Ярнок клеювые	—	60—80	60—80	60—80	—	10	—

Примечание. Дозы вносимых удобрений указаны в т.  $N$ ,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  — в кг на 1 га. При такой обеспеченности удобрениями в льняной агротехнике можно получать с 1 га на среднеплодородных почвах Нечерноземной зоны 25—30 ц зернохлеба, 80—100 ц семян трав за 2 года пользования, 100—150 ц позднего картофеля и 6—10 ц клеювой сена.

Фосфорные и калийные удобрения под лен вносят с осени под глубокую вспашку. Высокий эффект дает внесение небольшой дозы гранулированного суперфосфата (10 кг  $P_2O_5$  на 1 га) в рядки при посеве.

Азотные удобрения до посева вносят под предпосевную обработку. При высоких нормах азотных удобрений лучше  $\frac{1}{2}$  их внести до посева и остальную дозу — в подкормку в фазе «елочки» (вопрос о подкормке решается в зависимости от состояния травостоя и организационно-хозяйственных условий). Внесение до посева по пласту трав свыше 30—50 кг  $N$  и по мягкой пахоте больше 45—70 кг  $N$  на 1 га может вызвать полегание льна.

Применение минеральных удобрений влияет не только на урожай льна, но и на качество получаемой продукции. Фосфорные и калийные удобрения повышают урожай и улучшают его качество — увеличиваются выход, длина и прочность волокна. Обильное, особенно одностороннее — при недостатке фосфора и калия, питание азотом может вызывать полегание льна, снижение доли луба в соломе и уменьшение выхода волокна. При достаточном уровне фосфорно-калийного питания льна под влиянием азота повышается урожай и сохраняется высокое его качество. Существенных различий в действии выпускаемых форм азотных удобрений на лен не наблюдается. Из фосфорных удобрений наряду с суперфосфатом в основное удобрение льна на умеренно известкованных кислых почвах может применяться фосфоритная мука (в полторных или удвоенных дозах фосфора по сравнению с суперфосфатом). Хлористый калий при осеннем внесении практически равноценен сернокислому калию, а сильвинит и калийные соли, содержащие большое количество хлора, уступают им по эффективности.

## Удобрение картофеля

Картофель — важнейшая продовольственная, кормовая и техническая культура. Основные площади посевов картофеля расположены в центральных и северо-западных областях европейской части СССР — в Нечерноземной и лесостепной зонах, наиболее благоприятных для его возделывания.

Оптимальная реакция среды для картофеля — pH 5,5—6,0, хотя он способен лучше других полевых культур переносить слабокислую реакцию. Картофель хорошо отзывается на известкование сильно- и среднекислых почв умеренными нормами извести. При известковании почвы полной нормой — по гидролитической кислотности — картофель может сильно поражаться паршой, что снижает его товарные и продовольственные качества. Однако в севооборотах Нечерноземной зоны наряду с картофелем (и льном) выращивают культуры, строго требовательные к нейтральной реакции среды. Без известкования кислых почв невозможно обеспечить получение устойчивых высоких урожаев таких культур, как пшеница, ячмень, клевер, кукуруза, корнеплоды и т. д. Поэтому при наличии даже двух-трех полей картофеля лучшая суммарная продуктивность севооборота достигается при известковании кислых почв по  $\frac{2}{3}$ — $\frac{3}{4}$  полной нормы по гидролитической кислотности.

С хорошим урожаем картофель потребляет значительно больше питательных веществ, чем зерновые культуры и лен, но меньше, чем сахарная свекла и кормовые корнеплоды.

При высокой агротехнике в основной зоне возделывания с урожаем картофеля на каждые 100 ц клубней и соответствующее количество ботвы выносятся 40—60 кг N, 15—20 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 70—90 кг K<sub>2</sub>O.

Картофель обладает относительно слаборазвитой корневой системой и в первый период роста плохо усваивает труднорастворимые питательные вещества из почвы. Это обуславливает повышенную отзывчивость картофеля на внесение удобрений.

Поглощение элементов питания картофелем происходит в течение

65. Потребление питательных веществ разными сортами картофеля  
(по Т. Н. Кулаковской, 1970)

Сорт, урожайность	Фаза развития	Азот		Фосфор		Калий	
		с 1 га	%	кг с 1 га	%	кг с 1 га	%
Зазерский, средне-спелый, 230 ц с 1 га	Всходы	4,6	4,5	1,2	3,3	8,3	4,6
	Начало бутонизации	30	29	6,7	19	53	29
	Цветение	60	59	13	37	83	46
	Уборка	101	100	36	100	181	100
Скороспелка 1, ранний, 180 ц с 1 га	Всходы	3,7	3,9	0,9	3,1	6,9	3,9
	Начало бутонизации	28	30	5,9	21	48	27
	Цветение	84	88	19	66	149	84
	Уборка	96	100	29	100	177	100

всего вегетационного периода, более быстрыми темпами потребления питательных веществ обладают ранние сорта (табл. 65).

Наибольшее количество питательных веществ поглощается скороспелыми сортами картофеля во время бутонизации и цветения, а средне- и позднеспелыми — в период интенсивного роста ботвы и начала клубнеобразования. Достаточное снабжение растений всеми основными элементами питания в этот период имеет исключительное значение для формирования урожая. Избыточное, особенно одностроннее, питание азотом вызывает израстание в ботву и задерживает клубнеобразование. На образование клубней используются питательные вещества, как поступающие в этот период из почвы и удобрения, так и ранее накопленные в ботве. Вследствие реутилизации питательных веществ к моменту уборки картофеля в клубнях содержится около 80% азота, 90% фосфора и практически весь калий.

Эффективность удобрений зависит от почвенно-климатических условий, уровня агротехники и сорта картофеля.

Наибольшие прибавки урожая картофеля от удобрений получают на дерново-подзолистых почвах западных, северо-западных и центральных районов РСФСР. Первое место по эффективности на дерново-подзолистых почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах занимают азотные удобрения. Фосфор на этих почвах нередко действует сильнее, чем калий (табл. 66).

66. Действие минеральных удобрений на урожай картофеля

Почвы	Урожай без удобрений, ц с 1 га	Прибавки урожая, ц на 1 га, от				Число опытов
		N	P	K	NPK	
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	98	26	12	17	50	76
Дерново-подзолистые суглинистые	102	18	16	17	44	127
Серые лесные	159	48	10	9	73	6
Выщелоченные черноземы	86	20	18	5	44	30

На обыкновенных и мощных черноземах часто на первом месте по эффективности стоит фосфор, на втором — азот. Несмотря на большое потребление картофелем калия, эффективность калийных удобрений на большинстве почв слабее, чем азотных, а часто и фосфорных удобрений. Потребность в калии увеличивается при внесении высоких норм азота и фосфора. В то же время на пойменных и торфяных почвах калийные удобрения по эффективности занимают первое, а песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почвах — второе место после азотных. На этих почвах необходимо вносить более высокие нормы калийных удобрений даже при внесении навоза.

Картофель хорошо отзывается на внесение навоза на всех почвах, но наиболее высокие прибавки урожая от навоза получают на дерново-подзолистых почвах, особенно песчаных и супесчаных. На мощных черноземах южных и юго-восточных районов страны эффективность навоза значительно ниже.

Средняя норма навоза под картофель на дерново-подзолистых почвах — 30—40 т на 1 га, на черноземах — 15—20 т на 1 га. Наряду с навозом под картофель можно вносить торфо-навозные, торфо-жижевые, торфо-фекальные и другие компосты.

Наиболее высокие прибавки урожая картофеля получают при совместном внесении навоза или компостов с минеральными, прежде всего с азотными и азотно-фосфорными удобрениями.

На фоне высоких норм навоза (30—40 т и более на 1 га) на хорошо окультуренных почвах можно ограничиться внесением только азотных или азотно-фосфорных удобрений. Если навоз под картофель не вносится, то необходимо применять полное минеральное удобрение в повышенных количествах. Ранние сорта картофеля характеризуются более интенсивным потреблением питательных веществ и сильнее реагируют на удобрение. Поэтому нормы минеральных удобрений на фоне навоза должны быть выше под ранние, чем под поздние, сорта картофеля. При этом особенно важно выбрать правильное соотношение между отдельными видами удобрений. Для получения ранней товарной продукции необходим более высокий уровень фосфорного питания растений.

Средние нормы минеральных удобрений на фоне органических удобрений под картофель в севооборотах дерново-подзолистой зоны приведены в таблице 67, а на черноземах — в таблице 68.

67. Система удобрения в полевом севообороте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (по И. В. Гулякину, 1975)

Культура	До посева				При посеве		После посева
	навоз	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	N
Вика с овсом	20—30	30—40	30—40	30—50	10	—	—
Рожь	—	30—40	60—80	40—60	10	—	30—60
Ячмень с подсевом клевера	—	40—60	80—100	120—150	10	—	—
Клевер	—	—	—	—	—	—	—
Озимая пшеница	—	30—40	60—80	40—70	10	—	40—80
Картофель	20—30	80—120	80—100	120—160	20	20	—
Вика с овсом	20—30	30—40	40—60	50—60	10	—	—
Озимая пшеница	—	30—50	60—80	40—60	10	—	60—80
Овес	—	50—80	60—80	60—80	10	—	—

Примечание. Дозы навоза указаны в т; N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O — в кг на 1 га. Указанное количество удобрений может обеспечить получение урожая зерновых 25—30 ц и картофеля 200—250 ц с 1 га.

Навоз и другие органические удобрения, фосфорные и калийные туки лучше всего вносить с осени под зяблевую вспашку. Только на легких почвах в районах достаточного увлажнения весеннее внесение удобрений дает лучшие результаты, чем осеннее (что объясняется вымыванием калия из почвы).

Азотные удобрения целесообразно вносить весной под перепашку зяби или предпосевную культивацию. Аммонийные и аммиачные формы удобрений можно вносить также с осени.)

68. Система удобрения в полевых севооборотах на черноземах лесостепной зоны  
(по И. В. Гулякину, 1975)

Культура	До посева				При посеве		Последствия
	навоз	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	
Горох	—	—	30—40	50—70	10	—	—
Озимая пшеница	—	30—40	40—60	40—50	10	—	40—60
Кукуруза	20—30	100—120	60—80	80—100	5	2	—
Ячмень	—	60—80	80—100	100—120	10	—	—
Клевер	—	—	—	—	—	—	—
Озимая пшеница	—	—	60—70	40—60	10	—	40—60
Картофель	20—30	100—120	60—80	100—120	20	20	—
Подсолнечник	—	100—120	60—90	100—120	10	—	—
Вика с овсом	20—30	—	40—60	50—90	10	—	—
Озимая пшеница	—	30—40	40—60	40—60	10	—	40—60
Овес	—	40—60	40—60	40—60	10	—	—

Примечание. Дозы навоза указаны в т, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O — в кг на 1 га. При таком количестве удобрений, правильной агротехнике, способствующей накоплению и сохранению воды в почве, можно выращивать урожай зерновых колосовых культур 25—35 ц, кукурузы 50—70 ц, картофеля 200—250 ц и подсолнечника 20—25 ц с 1 га.

Большое значение для обеспечения более благоприятных условий питания в начальный период роста имеет местное внесение удобрений в лунки при посадке картофеля. При посадке в гнезда вносят гранулированный суперфосфат и аммиачную селитру, а также сложные и комплексные удобрения из расчета 20—30 кг действующего вещества NPK на 1 га.

На песчаных и супесчаных почвах часть азота и калия ( $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  общей нормы) целесообразно перенести в подкормку. На других почвах перенесение части удобрений из основного в подкормку, как показывают опыты, вызывает снижение эффективности, поэтому вносить удобрения в подкормку картофеля следует только в том случае, если они не применялись в достаточном количестве до посева. Для подкормки картофеля можно использовать местные удобрения — навозную жижу (5—10 т на 1 га), птичий помет (5—8 ц на 1 га), которые вносят с немедленной заделкой в почву при рыхлении междурядий.

Под картофель в равной степени применимы все формы промышленных азотных удобрений. На кислых почвах наряду с суперфосфатом в основное удобрение можно применять фосфоритную муку (в полуторных или удвоенных дозах по сравнению с суперфосфатом), а также другие фосфорные удобрения. По своему действию на урожай картофеля сульфатные и хлористые формы калийных удобрений как при разовом, так и длительном применении в севообороте практически равноценны. Однако хлористые формы калийных туков могут снижать относительное содержание крахмала в клубнях картофеля. Внесение хлорсодержащих калийных удобрений с осени в значительной мере устраняет вредное действие хлора на картофель (в результате вымывания хлора их почвы с осадками).

Под влиянием фосфорных удобрений относительное содержание крахмала в клубнях может повышаться, а под влиянием азотных — не-

сколько снижаться. Однако вследствие увеличения урожая картофеля при применении удобрений валовой сбор крахмала с единицы площади всегда возрастает.

### Удобрение сахарной свеклы

Сахарная свекла выращивается в различных почвенно-климатических зонах страны, но основные площади посевов фабричной сахарной свеклы сосредоточены в Центральных черноземных районах РСФСР и лесостепной зоне Украины.

Для сахарной свеклы оптимальная реакция почвы близка к нейтральной или слабощелочная (рН 6,5—7,5). Поэтому даже слабо-кислые серые лесные и дерново-подзолистые почвы необходимо известковать. Так как при известковании снижается подвижность и доступность растениям бора почвы, целесообразно применение под сахарную свеклу борсодержащих удобрений. Недостаток бора вызывает у сахарной свеклы, как и у других корнеплодов, гниль сердечка — заболевание, полностью устраняемое внесением бора.

По выносу питательных веществ сахарная свекла занимает одно из первых мест среди полевых культур. При урожае 400 ц с 1 га свекла потребляет 180 кг N, 55 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 250 кг K<sub>2</sub>O. Вынос элементов питания сахарной свеклой на 100 ц корней и соответствующее количество ботвы могут изменяться в широких пределах в зависимости от почвенно-климатических условий, урвия и структуры урожая. Большее потребление питательных веществ на образование равного урожая сахарной свеклой в Нечерноземной зоне, чем в районах черноземных почв, объясняется прежде всего различиями в структуре урожая. На черноземах формируется меньшее количество ботвы на каждые 100 ц корней сахарной свеклы.

Потребление элементов питания сахарной свеклой происходит на протяжении всего периода вегетации, почти до уборки. В начальный период роста она поглощает относительно небольшое количество азота, фосфора и калия. Но корневая система в это время еще слабо развита и молодые растения очень чувствительны к недостатку доступных питательных веществ в почве, особенно фосфора. В дальнейшем потребление питательных веществ резко усиливается и достигает максимума в основной зоне свеклосеяния в июле—августе (табл. 69).

69. Потребление питательных веществ сахарной свеклой, % от максимального содержания, при урожае 300 ц с 1 га (данные Рамонской опытной станции)

Элемент питания	Время определения						
	10 июня	1 июля		15 августа	20 сентября		5 октября
		23 июля	15 августа		1 сентября	20 сентября	
Азот	20	54	72	91	98	100	91
Фосфор	13	35	50	66	74	98	100
Калий	16	46	53	72	73	93	100

В период интенсивного роста листьев сахарная свекла потребляет особенно много азота. В период роста корня и сахаронакопления требуется умеренное азотное, но повышенное фосфатное и особенно калийное питание растений.

В Нечерноземной зоне при более коротком вегетационном периоде потребление элементов питания сахарной свеклой происходит в более сжатые сроки, а основное количество питательных веществ потребляется в течение августа—сентября.

Лучшие условия питания сахарной свеклы в течение всего периода вегетации обеспечивает применение органических и минеральных удобрений. Сахарная свекла — одна из наиболее отзывчивых сельско-хозяйственных культур на сочетание навоза и минеральных удобрений.

Особенно велико значение навоза и минеральных удобрений для получения высокого урожая сахарной свеклы в Нечерноземной зоне на бедных дерново-подзолистых почвах. Непосредственное внесение навоза под свеклу совместно с минеральными удобрениями дает более высокие прибавки урожая, особенно на легких супесчаных почвах, также на тяжелых почвах, склонных к заплыванию. При внесении навоза действие азотных удобрений обычно возрастает, а эффективность фосфорных и калийных удобрений уменьшается.

При выращивании свеклы на достаточно окультуренных почвах после хорошо удобренных навозом предшественников (кукуруза, картофель, озимая пшеница и др.) под нее можно вносить только минеральные удобрения. Эффективность отдельных видов удобрений зависит от почвенно-климатических условий предшественника.

Навоз и большую часть фосфорно-калийных удобрений (до 70%) вносят под сахарную свеклу в виде основного удобрения с осени под плуг или вбрасывая вспашку плугом с предплужниками. При внесении минеральных удобрений весной с мелкой заделкой под культиватор или бороны эффективность их резко снижается, особенно в засушливые годы (табл. 70, 71).

70. Влияние времени внесения и способов заделки азотных, фосфорных и калийных удобрений на урожай сахарной свеклы

Опытная станция	Прибавка урожая корней, ц на 1 га, при внесении удобрений	
	осенью под плуг	весной под культиватор
Харьковская (за 9 лет)	65	27
Ивановская (за 3 года)	47	18
Львовская (за 3 года)	57	38

Только на легких почвах в более увлажненных районах западных областей Украины и в Нечерноземной зоне калийные удобрения лучше вносить весной под предпосевную обработку вместе с азотными удобрениями.

В рядки при посеве на всех почвах (кроме солонцеватых) рекомендуется вносить полное минеральное удобрение: 10—15 кг N, 15—20 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 10—15 кг K<sub>2</sub>O на 1 га. Рядковое удобрение, улучшая условия питания и

71. Влияние способов внесения удобрений на эффективность минеральных удобрений в годы с различным увлажнением (данные Харьковской опытной станции за 8 лет)

Удобрения внесены	Прибавка урожая корней, ц на 1 га	
	в годы с нормальным количеством осадков	в годы резко засушливые в весенне-летний период
Осенью под плуг с предплужниками	78	55
Весной под культиватор	51	5
Урожай без удобрений, ц с 1 га	284	138

рост растений в начальный период, обеспечивает значительное повышение урожая сахарной свеклы. В рядки не следует применять аммонийные формы азотных удобрений, поскольку в семенах сахарной свеклы имеется малый запас углеводов и проростки могут страдать от аммиачного отравления.

Для обеспечения растений питательными веществами в течение всей вегетации и получения высокого урожая сахарной свеклы (500 ц с 1 га и более) в дополнение к основному и рядковому удобрению необходимы подкормки в период вегетации. Подкормка свеклы имеет особенно большое значение при высоких нормах удобрений в орошаемых районах, в Нечерноземной зоне и в западных и северо-западных районах основной зоны свеклосеяния. Однако подкормка не может заменить основного удобрения. Опыты показывают, что перенос части удобрений из основного в подкормку при обычных нормах приводит к снижению урожая. Подкормка должна применяться только в дополнение к основному удобрению.

Для подкормки можно использовать как промышленные, так и местные удобрения — птичий помет (3—5 ц на 1 га), навозную жижу (по 2—3 т на 1 га). Наиболее эффективна подкормка полным минеральным удобрением в ранние сроки. В неорошаемых районах обычно достаточно одной подкормки вслед за прорывкой свеклы. Средние дозы удобрений в подкормку: 15—20 кг N, 15—30 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 15—20 кг K<sub>2</sub>O на 1 га. При орошении могут быть даны две и более подкормок. Вторую подкормку проводят через 15—20 дней после первой. При подкормках в более поздние сроки азот не вносят.

В основное удобрение под сахарную свеклу на почвах, насыщенных основаниями, можно применять все формы азотных удобрений. Для внесения в рядки на всех почвах лучшие результаты дает натриевая селитра.

Из фосфорных удобрений на почвах с нейтральной и щелочной реакцией лучше вносить простой и двойной суперфосфат. Близки к ним по эффективности в основном удобрении томасшлак и термофосфаты. На дерново-подзолистых почвах и выщелоченных черноземах эффективно применение фосфоритной муки, особенно в составе компостов с органическими удобрениями.

Лучшая форма калийных удобрений для сахарной свеклы — калийная соль, которая содержит натрий, положительно влияющий на урожай корней и содержание в них сахара. Положительное влияние на

урожай и сахаристость свеклы на черноземах оказывают марганцевые удобрения.

Зона возделывания фабричной сахарной свеклы включает и основные районы выращивания озимой пшеницы, кукурузы на зерно подсолнечника. В зерно-свекловичных севооборотах минеральными удобрениями обеспечивается в первую очередь сахарная свекла, но при этом решается одновременно и задача получения высоких устойчивых урожаев озимой пшеницы и кукурузы (табл. 72).

72. Система удобрения в зерно-свекловичном севообороте (по И. В. Гулякину, 1975)

Культура	До посева				При посеве	После посева
	навоз	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N
Вика или горох с овсом на сено	—	30—40	40—60	40—80	10	—
Озимые	20—30	—	60—80	40—60	10	40—80
Свекла	—	120—200	120—200	100—150	15 NP	—
Ярвые зерновые	—	40—60	60—90	60—90	10	—
Клевер	—	—	—	—	—	—
Озимые	—	—	40—60	60—80	10	40—60
Свекла	15—25	100—150	90—150	90—150	15 NP	—
Кукуруза (на зерно)	—	80—100	80—100	80—100	5	—
Ярвые зерновые	—	60—80	60—80	60—80	10	—

Примечание. Дозы навоза указаны в т; N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O — в кг на 1 га. При высокой агротехнике и обеспеченности удобрениями на черноземах можно получить урожай зерновых 25—30 ц и сахарной свеклы 250—350 ц с 1 га. В случае худшей обеспеченности минеральными удобрениями до посева их вносят в меньших дозах или под отдельные зерновые и яровые культуры дают только в рядки.

### Удобрение хлопчатника

Основной зоной возделывания хлопчатника являются республики Средней Азии. Посевы хлопчатника размещены также в Казахстане, Армении и Азербайджане. Большая часть орошаемых посевов хлопчатника расположена на сероземах, а также луговых и лугово-болотных почвах. Систематическое применение больших норм минеральных удобрений под хлопчатник (в среднем около 350 кг действующего вещества на 1 га) обеспечивает получение высоких устойчивых урожаев. По интенсивности удобрения и сбору хлопка-сырца с единицы площади наша страна занимает первое место в мире.

На 1 т хлопка-сырца и соответствующее количество вегетативной массы растения потребляют в среднем 50 кг N, 15 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 50 кг K<sub>2</sub>O. Вынос элементов питания хлопчатником зависит от уровня урожая и его структуры. При высоких урожаях (45—50 ц с 1 га и более) соотношение между вегетативными и репродуктивными органами более благоприятное и потребление питательных веществ на 1 т хлопка-сырца меньше, чем при относительно низких урожаях.

От всходов до бутонизации хлопчатник растет медленно — за этот период формируется всего 4—5% органического вещества от максимального его накопления растениями. За время от бутонизации до

цветения происходит наиболее интенсивный прирост сухой массы — образуется 25—30% органического вещества. Высокие темпы роста вегетативной массы сохраняются до начала созревания, а в последующем увеличение сухой массы происходит за счет образования репродуктивных органов. Потребление питательных веществ хлопчатником связано с ходом накопления сухого вещества и протекает неравномерно. Как и другие растения, хлопчатник чувствителен к недостатку фосфора и азота в первый период роста, хотя размеры потребления этих элементов питания за время от всходов до бутонизации составляют лишь 8—10% от их выноса с урожаем. Наибольшее количество питательных веществ поглощается хлопчатником в период от начала цветения до массового созревания (табл. 73).

73. Потребление питательных веществ хлопчатником в течение вегетации, % от общего выноса

Период	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
От появления всходов до бутонизации с 17/IV по 13/VI	8	8	10
От бутонизации до плодообразования с 13/VI по 16/VIII	60	56	64
От плодообразования до конца вегетации с 16/VIII по 11/X	32	36	26

Наибольшую роль в повышении урожая хлопчатника играют азотные и фосфорные удобрения, меньшее значение на богатых калием сероземах имеют калийные удобрения. Эффективность калийных удобрений повышается с ростом урожая хлопчатника на фоне высоких норм азота и фосфора, а также в севооборотах с люцерной.

Для получения урожая хлопка-сырца 35—40 ц с 1 га рекомендуются следующие примерные нормы удобрений (табл. 74).

74. Примерные нормы удобрений под хлопчатник на различных почвах, кг питательных веществ на 1 га

Почвы	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Темные сероземы	140—165	110—120	40—45
Темно-луговые	120—145	120—130	60—80
Типичные сероземы	150—175	110—120	40—45
Светлые сероземы	160—185	110—120	40—45

В районах орошаемого земледелия на почвах с высокой нитрифицирующей способностью происходит интенсивная миграция азота. Во время поливов нитраты опускаются с водой в нижележащие горизонты почвы, а при подсыхании почвы в межполивные периоды поднимаются в верхние пересыхающие слои, что ограничивает использование азота растениями. В этих условиях происходят значительные потери азота удобрений из почвы в результате вымывания нитратов и в газообразной форме вследствие процессов денитрификации. Для снижения потерь и повышения эффективности азота удобрений важное значение имеют правильные сроки и способы внесения удобрений,

соблюдение поливного режима, а также приемы, ограничивающие нитрификацию азота аммиачных удобрений и мочевины, в том числе использование ингибиторов нитрификации.

Всю норму азотных удобрений (при норме до 100 кг N на 1 га) или большую ее часть (при более высоких нормах) вносят под хлопчатник в подкормки при междурядных обработках в сочетании с поливами. До посева обычно вносят не более  $\frac{1}{3}$  общей нормы азота. Подкормки азотом проводят до фазы цветения, более позднее применение азота снижает заморозный урожай хлопка-сырца. Число подкормок и разовые дозы удобрений устанавливаются исходя из общей их нормы с учетом количества азота, внесенного до посева, и состояния растений.

Основное количество фосфорных удобрений ( $\frac{3}{4}$  общей нормы) под хлопчатник необходимо заделывать под вспашку. Глубина заделки имеет большое значение для эффективности фосфорных удобрений. В сероземах и луговых почвах фосфор интенсивно химически связывается с образованием труднорастворимых фосфатов кальция и мало подвижен. Корневая система хлопчатника уже в первые 2 недели после всходов проникает на глубину 40—50 см, а в период наибольшего потребления фосфора — от цветения до плодообразования — боковые корни в верхнем пересыхающем 10-сантиметровом слое отмирают и основная масса деятельных корней размещается в глубоких слоях почвы. Действие основного фосфорного удобрения на урожай хлопчатника может быть значительно повышено при локальном внесении лентами на дно борозды при вспашке. Важное значение при возделывании хлопчатника имеет рядковое удобрение. Применение небольших доз фосфора (10—20 кг  $P_2O_5$  на 1 га) совместно с азотом (5—10 кг на 1 га) при посеве повышает урожай хлопчатника на 2—3 ц на 1 га.

Калийные удобрения применяют при ограниченных дозах в подкормки вместе с азотными и фосфорными удобрениями в период 5—6 листьев, бутонизации и начале цветения, а при больших нормах половину калия вносят под вспашку. При внесении удобрений в подкормки

75. Схема системы удобрения в хлопково-люцерновом севообороте (по И. В. Гулякину, 1975)

Культура	До посева				При посеве		После посева		
	навоз	N	$P_2O_5$	$K_2O$	N	$P_2O_5$	N	$P_2O_5$	$K_2O$
Люцерна	—	—	100—120	50—90	—	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Хлопчатник	—	—	70—80	30—40	5	10	40—50	20—30	20—30
»	—	—	70—80	30—40	5	10	60—70	20—30	20—30
»	—	30—50	60—70	30—40	5	10	70—100	15—20	20—30
»	10	30—50	50—60	—	5	10	60—90	15—20	30—40
»	—	40—60	60—70	—	5	10	80—120	20—30	30—40
»	10	30—50	70—80	—	5	10	70—100	—	20—30
»	10	40—60	70—80	—	5	10	80—100	—	20—30

Примечание. Дозы навоза указаны в т на 1 га; N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  — в кг на 1 га.

мку следует обеспечивать возможно более глубокую их заделку во время междурядной обработки.

В хлопково-люцерновых севооборотах (2—3 года люцерна и 5—7 полей хлопчатника) в первые годы после распашки травяного пласта под хлопчатник применяют повышенные нормы фосфорных удобрений и калия. Так как люцерна способна накапливать в почве значительное количество азота, нормы его снижаются при выращивании хлопчатника по пласту и обороту пласта. По мере удаления хлопчатника от люцерны в севообороте нормы азотных удобрений возрастают, а фосфора и калия — несколько уменьшаются. Навоз (накопление его в хлопкосеющих районах ограничено) применяется в норме 10—15 т на 1 га обычно на четвертый-пятый год после распашки пласта люцерны (табл. 75).

### Удобрение лугов и пастбищ

В повышении продуктивности естественных кормовых угодий, культурных лугов и пастбищ, создании прочной кормовой базы для интенсивно развивающегося животноводства важная роль принадлежит удобрениям.

Система удобрения лугов и пастбищ разрабатывается с учетом ряда факторов, среди которых определяющими являются состав травостоя (соотношение в нем бобовых и злаковых трав), особенности питания отдельных видов трав, условия влагообеспеченности и уровень плодородия почвы, характер использования кормовых угодий.

Известкование является одним из важнейших приемов повышения продуктивности природных кормовых угодий, а также создаваемых сеяных сенокосов и пастбищ в Нечерноземной зоне. Известкование кислых почв лугов и пастбищ повышает эффективность минеральных удобрений, создает благоприятные условия для развития в травостое бобовых трав. Особенно эффективно известкование при создании лугов на осушенных кислых верховых и переходных торфяниках — прибавка урожая сена достигает в этом случае 20—25 ц на 1 га.

Содержание элементов питания в урожае сена или пастбищном корме подвержено сильным колебаниям в зависимости от ботанического состава травостоя, уровня урожая, фазы развития в период отчуждения, числа укусов или стравливаний и других условий (табл. 76).

76. Содержание азота, фосфора и калия в сене трав (в 10 ц сухого вещества сена, кг)

Растения	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Растения	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Райграс пастбищный	15	6	25	Тимофеевка	13	4	25
Ежа сборная	15	7	36	Клевер красный	27	6	38
Мятлик луговой	20	6	25	Клевер белый	33	8	57
Овсяница красная	18	6	28	Клевер розовый	30	7	46
Овсяница луговая	18	6	25				

Бобовые травы отличаются значительно большим накоплением в урожае азота и калия, чем злаковые. Темпы накопления сухого вещества

и потребления элементов питания различными травами одного вида также существенно отличаются. Для большинства злаковых луговых и пастбищных трав характерно интенсивное потребление элементов питания с начала отрастания, что и обуславливает их высокую отзывчивость на применение удобрений, особенно азотных.

Система удобрения на лугах и пастбищах с бобово-злаковым травостоем. Первоочередное значение на таких лугах и пастбищах при относительно высокой доле бобовых в травостое имеют фосфорно-калийные удобрения. Внесение фосфора и калия усиливает рост бобовых трав, приводит к увеличению их доли в травостое, повышает урожай и улучшает его качество вследствие накопления бобовыми большого количества азота из атмосферы и возрастания содержания протеина (табл. 77).

77. Влияние фосфорно-калийных удобрений на урожай и содержание сырого протеина в корме на бобово-злаковом пастбище (по А. А. Кутузову)

Удобрение	Урожай, и абсолютно сухого вещества на 1 га		Содержание сырого протеина, %	Вынос азота, кг с 1 га
	всего	в том числе бобовых		
Контроль	40,6	27,5	18,7	121
50P	45,1	30,2	18,0	130
50K	49,6	36,1	20,7	164
50P50K	50,7	36,5	20,5	166
50P100K	54,2	37,5	19,5	170

Систематическое применение повышенных норм азота на бобово-злаковых травостоях приводит к выпадению бобовых и постепенному превращению смешанного травостоя в злаковый; соответственно снижается доля участия биологического азота в формировании урожая. В то же время умеренные нормы минерального азота на фоне фосфорно-калийных удобрений, особенно на бедных азотом дерново-подзолистых почвах, обеспечивают значительное повышение продуктивности бобово-злаковых лугов и пастбищ при сохранении высокой доли участия бобовых в травостое. В условиях хорошей влагообеспеченности трав и при орошении угнетающее действие умеренных норм азотных удобрений на развитие бобовых и их азотфиксирующую способность проявляется не столь резко. На высокопродуктивных орошаемых бобово-злаковых пастбищах для сохранения достаточного высокого уровня симбиотической фиксации молекулярного азота бобовыми компонентами травостоя норма азотных удобрений должна быть в пределах 50—90 кг N на 1 га при норме фосфорно-калийных удобрений 90—120 кг действующего вещества.

В системе удобрения лугов и пастбищ с преимущественно злаковым травостоем решающее значение имеет применение азотных удобрений в сочетании с фосфорно-калийными туками.

Азоту принадлежит особая роль в ростовых процессах и формировании вегетативной массы трав, накоплении сухого вещества.

Недостаток азота задерживает деление клеток в точках роста, сокращает число пазушных и придаточных почек, приводит к понижению энергии кущения и отрастания трав. Снижение урожая трав при недостатке азота сопровождается ухудшением качества корма. При пастбищном использовании травостоя растения постоянно находятся в вегетирующем состоянии и сохраняется высокая потребность в азоте на протяжении всего летнего периода. Поэтому применение азотных удобрений является одним из основных факторов, обеспечивающих получение высоких урожаев пастбищных трав хорошего качества, особенно на почвах с низким содержанием органического вещества. Применение азотных удобрений на 1—1,5 месяца продлевает выпас скота на пастбищах благодаря раннему отрастанию трав весной и более длительному вегетированию осенью, обеспечивает более равномерный выход пастбищного корма.

Наибольшие прибавки урожая лугопастбищных трав и самая высокая оплата продукцией единицы внесенных удобрений достигаются в благоприятных условиях увлажнения и при орошении.

Имеются значительные различия в размерах оптимальных (наиболее агрономически и экономически оправданных) норм азотных удобрений на пастбищах в зависимости от почвенно-климатических условий. В центральных районах лесной зоны, по данным Всесоюзного института кормов, они равны 180—240 кг на 1 га. Внесение указанных норм азота в 3—4 раза увеличивает урожай пастбищ, в травостое которых преобладают верховые злаки, особенно ежа сборная. Повышение норм азота до 300 кг на 1 га эффективно на молодых травостоях в годы с равномерным и достаточным количеством осадков. В Прибалтийских республиках с более влажным и мягким климатом оптимальные нормы удобрений выше — 240—300 кг на 1 га, а в лесостепной зоне в сухие годы оптимальная норма азота — 120 и лишь в годы достаточного увлажнения — до 240 кг азота на 1 га.

В Нечерноземной зоне на пастбищах без регулирования водного режима оптимальные нормы азота на разных типах травостоя с преобладанием верховых злаков равны 180—240 кг на 1 га, а с преобладанием низинных злаков — 120—180 кг на 1 га. В засушливые годы эффективность применения азотных удобрений снижается в среднем на 35—40%, более экономически оправдано внесение меньших норм азота. Орошение повышает эффективность азотных удобрений и расширяет возможности их применения. На орошаемых культурных пастбищах оптимальные нормы азотных удобрений могут быть значительно выше, чем без орошения, и достигать 240—320 кг азота на 1 га. Общий за сезон урожай сухой массы трав продолжает расти при дальнейшем увеличении норм до 400—500 кг на 1 га. Однако наиболее экономически выгодными можно считать нормы до 240 кг на 1 га, при последующем увеличении суммарной нормы азотных удобрений окупаемость единицы действующего вещества резко снижается (рис. 19).

Систематическое внесение повышенных норм азотных удобрений (180—240 кг азота на 1 га) и применение орошения позволяют увеличить продуктивность молодых злаковых травостоев до 10 тыс. корм.ед.

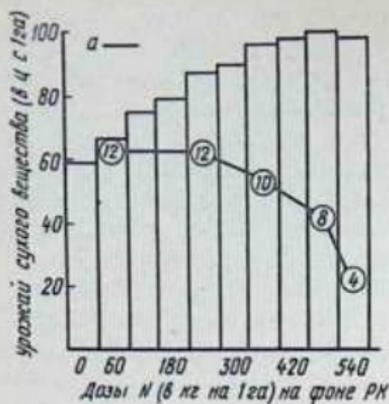


Рис. 19. Действие азотных удобрений на орошаемом культурном пастбище (по Н. Г. Андросову):

а — прибавка урожая сухого вещества (кг) на 1 кг внесенного азота.

с 1 га, а при более длительном их использовании поддерживать продуктивность на уровне 6—8 тыс. корм. ед.

Важное значение при разработке системы удобрения лугопастбищных трав имеет правильный выбор сроков внесения удобрений.

Относительно небольшие нормы азота порядка 50—90 кг на 1 га, применяемые как на преимущественно злаковых, так и бобово-злаковых травостоях, вносят в два срока — весной и в летний период. Внесение полной нормы в один срок весной приводит к неравномерному поступлению кормов, основная доля общего урожая приходится на первый укос или первые два цикла стравливания, а во второй половине лета трава быстро грубеет и плохо отрастает.

Более высокие нормы азотных удобрений на злаковых или преимущественно злаковых пастбищах применяются дробно — долями в 3—5 сроков.

Однократное внесение больших норм азотных удобрений неизбежно приводит к резкому колебанию урожаев трав по циклам стравливания, может вызывать неблагоприятное для животных кратковременное накопление в кормах повышенного содержания протеина и нитратов при одновременном снижении количества растворимых сахаров.

Эффективность азотных удобрений на неорошаемых пастбищах в значительной степени зависит от срока их внесения в течение пастбищного сезона, что обусловлено прежде всего колебаниями во влагообеспеченности трав. На орошаемых пастбищах действие азотных удобрений по циклам стравливания выравнивается и поступление пастбищного корма в течение сезона находится в прямой зависимости от величины и распределения доз азота. Чем выше доза, тем больше прибавка урожая пастбищных трав при последующем за внесением азота стравливании. При разовой дозе 60—90 кг N на 1 га последствием азотных удобрений может проявляться во втором (после внесения) цикле стравливания (либо укосе), меньшие дозы азота последствием не обладают.

Дробное в равных дозах внесение азота весной и под каждое последующее стравливание на орошаемых пастбищах обеспечивает равномерное поступление кормов, при этом стабилизируется содержание протеина в травах по циклам стравливания и по годам использования пастбища.

Кратность, сроки и нормы внесения азота имеют определяющее значение для равномерного или наиболее хозяйственно-выгодного

поступления кормов с лугопастбищных угодий, для организации зеленого конвейера в условиях производства.

По влиянию на урожай пастбищных трав различные формы азотных удобрений в большинстве проводившихся полевых опытов оказались равноценными. В отдельных случаях в зависимости от почвенно-климатических и других условий могут наблюдаться преимущественно более подвижных и быстродействующих нитратных азотных удобрений перед мочевиной и аммиачными удобрениями. При поверхностном внесении мочевины на лугах и пастбищах возможны значительные потери ее азота в форме аммиака, особенно на почвах с нейтральной или слабощелочной реакцией. Жидкие аммиачные азотные удобрения вносятся на лугах и пастбищах непосредственно в почву с разрезанием дернины специальными машинами.

Фосфорно-калийные удобрения при создании сеяных лугов и пастбищ лучше вносить под глубокую вспашку, при этом они применяются в повышенных нормах с целью длительного периода использования. При заложении и создании культурных пастбищ в дерново-подзолистой зоне целесообразно применение фосфоритной муки, обладающей длительным действием.

На существующих естественных и сеяных травостоях фосфорно-калийные удобрения при средних нормах от 40 до 90 кг действующего вещества на 1 га следует вносить весной с последующим боронованием. При использовании на пастбищах больших количеств фосфора и калия их можно вносить дробно в течение сезона вместе с азотными удобрениями.

Применение одних фосфорных и калийных удобрений обеспечивает резкое повышение продуктивности лугов на низинных и переходных осушенных болотах, как правило, бедных калием, но лучше обеспеченных азотом за счет разложения органического вещества. Сбор сена в этих условиях при внесении фосфора и калия, по данным многочисленных опытов, практически удваивается и может достигать 40 ц и более с 1 га. На суходольных и заливных лугах прибавка урожая сена от фосфора и калия значительно ниже и больший эффект дает применение полного минерального удобрения, при этом ведущая роль в повышении урожая принадлежит азоту.

#### 78. Действие азота и полного минерального удобрения на урожай сена лугов, ц с 1 га

Тип лугов	Урожай без удобрений	Прибавка урожая от азота	Число опытов	Урожай без удобрений	Прибавка урожая от NPK	Число опытов
Суходольные и долинные (сухие, влажные)	18,5	3,2	44	18,8	16,3	191
На осушенных низинных и переходных болотах	22,1	10,9	7	21,7	28,7	91
Заливные	26,6	10,8	58	30,2	12,6	117

Применение микроудобрений: медных на торфянистых почвах, молибденовых на кислых почвах, борных на известкованных дерново-

подзолистых и темноцветных почвах может оказать высокое положительное влияние на величину и качество урожая лугов и пастбищ.

Продуктивность вновь создаваемых сеяных сенокосов и пастбищ значительной степени определяется уровнем плодородия почвы и степенью ее предварительного окультуривания. В связи с этим на почвах с низким содержанием гумуса очень благоприятно применение навоза, торфа и других органических удобрений. Их заделывают глубоко почву плугом при проведении культуртехнических работ.

Применение минеральных удобрений на сенокосах и пастбищах оказывает существенное влияние на качество получаемых кормов как вследствие изменения ботанического состава травостоя, так и химического состава растений. При правильном применении азотных удобрений на фоне сбалансированного фосфорно-калийного питания сохраняется высокое качество сена и пастбищного корма, обеспечивается повышение содержания протеина, сырого жира, зольных элементов и витаминов. В то же время высокие разовые дозы азота, особенно при низком уровне фосфорно-калийного питания, могут приводить к уменьшению доли бобовых в бобово-злаковых травостоях и в преимущественно злаковых или чисто злаковых травостоях вызывать чрезмерное увеличение содержания протеина в травах, снижение содержания в кормах растворимых углеводов и менее благоприятное для животных сахаро-протеиновое соотношение. При одностороннем увеличении доз азота возможно также избыточное накопление в кормах нитратного азота, токсичного для животных в концентрациях свыше 0,22%.

При разовых дозах азота 60—80 кг на 1 га на фоне фосфорно-калийных удобрений ухудшения качества кормов не наблюдается.

#### Контрольные вопросы

1. Каковы особенности питания и удобрения важнейших сельскохозяйственных культур: озимых и яровых зерновых злаков, кукурузы; зерновых бобовых, многолетних трав, технических культур (льна, картофеля, сахарной свеклы, хлопчатника)?
2. Как размещаются органические и минеральные удобрения в севооборотах с ведущими зерновыми и техническими культурами в основных районах их возделывания?
3. Каковы основные различия в удобрении лугопастбищных угодий в зависимости от характера их использования (сенокосы, пастбища), состава травостоя и режима увлажнения?

#### ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Корректировка средних рекомендуемых норм удобрений с учетом агрохимических показателей почвы поля

Средние нормы удобрений, предусмотренные системой удобрения либо рекомендуемые на основе опытных или нормативных данных по отдельным сельскохозяйственным культурам, должны корректироваться с учетом данных агрохимического обследования почв полей хозяйства.

**Принцип метода.** По агрохимическим картограммам устанавливается класс почвы отдельных полей севооборота (согласно принятой

классификации по содержанию подвижных форм питательных веществ) и принятые средние нормы удобрений корректируются с использованием поправочных коэффициентов, разрабатываемых зональными агрохимическими учреждениями для различных сельскохозяйственных культур.

**Ход работы.** Исходя из плана размещения посевов культур на предстоящий год устанавливается класс почвы и обеспеченность возделываемых культур элементами питания для каждого отдельно обрабатываемого участка севооборотов хозяйства на основании данных агрохимических картограмм.

Пользуясь поправочными коэффициентами к средним нормам удобрений в зависимости от содержания подвижных форм питательных веществ в почве, определяют необходимые для каждого конкретного участка нормы удобрений. Записи ведут по следующей форме:

Номер отделения (бригады)	Севооборот и номер поля*	Размещаемая культура	Средние нормы удобрений, кг действующего вещества на 1 га			Содержание подвижных форм питательных веществ в почве, мг на 100 г почвы		
			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

Класс почвы согласно принятой классификации			Поправочные коэффициенты к средним нормам удобрений			Необходимая норма удобрений, кг действующего вещества на 1 га		
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

\* Номер севооборота указывают в числителе латинской цифрой, номер поля — арабской.

\*\* Обеспеченность азотом устанавливается согласно данным о содержании минерального, легкогидролизуемого азота и нитрификационной способности почвы.

**Материалы.** План размещения посевов культур по полям севооборота. Агрохимические картограммы содержания подвижных форм питательных веществ в почвах полей хозяйства. Система удобрения в севообороте или средние рекомендуемые нормы под отдельные культуры. Таблица классов почвы и поправочных коэффициентов к средним нормам удобрений применительно к зоне расположения хозяйства.

#### Определение норм удобрений на планируемую прибавку урожая сельскохозяйственных культур

Расчетный метод позволяет получить ориентировочные данные о необходимом количестве питательных веществ в виде удобрений для получения планируемой прибавки урожая. Метод применим для перспективного планирования потребности в различных видах удобрений для культур севооборота, хозяйства, района, области.

**Принцип метода.** На основе данных о расходе элементов питания на формирование единицы урожая устанавливается размер их выноса с

подзолистых и темноцветных почвах может оказать высокое положительное влияние на величину и качество урожая лугов и пастбищ.

Продуктивность вновь создаваемых сеяных сенокосов и пастбищ значительной степени определяется уровнем плодородия почвы и степенью ее предварительного окультуривания. В связи с этим на почвах с низким содержанием гумуса очень благоприятно применение навоза, торфа и других органических удобрений. Их заделывают глубоко почвой плугом при проведении культуртехнических работ.

Применение минеральных удобрений на сенокосах и пастбищах оказывает существенное влияние на качество получаемых кормов вследствие изменения ботанического состава травостоя, так и химического состава растений. При правильном применении азотных удобрений на фоне сбалансированного фосфорно-калийного питания сохраняется высокое качество сена и пастбищного корма, обеспечивается повышение содержания протеина, сырого жира, зольных элементов и витаминов. В то же время высокие разовые дозы азота, особенно при низком уровне фосфорно-калийного питания, могут приводить к уменьшению доли бобовых в бобово-злаковых травостоях, а в преимущественно злаковых или чисто злаковых травостоях вызывать чрезмерное увеличение содержания протеина в траве, снижение содержания в кормах растворимых углеводов и менее благоприятное для животных сахаро-протеиновое соотношение. При одностороннем увеличении доз азота возможно также избыточное накопление в кормах нитратного азота, токсичного для животных концентрациях свыше 0,22%.

При разовых дозах азота 60—80 кг на 1 га на фоне фосфорно-калийных удобрений ухудшения качества кормов не наблюдается.

### Контрольные вопросы

1. Каковы особенности питания и удобрений важнейших сельскохозяйственных культур: озимых и яровых зерновых злаков, кукурузы; зерновых бобовых, многолетних технических культур (льна, картофеля, сахарной свеклы, хлопчатника)?
2. Как размещаются органические и минеральные удобрения в севооборотах с ведущими зерновыми и техническими культурами в основных районах их возделывания?
3. Каковы основные различия в удобрении лугопастбищных угодий в зависимости от характера их использования (сенокосы, пастбища), состава травостоя и режима увлажнения?

### ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Корректировка средних рекомендуемых норм удобрений с учетом агрохимических показателей почвы поля

Средние нормы удобрений, предусмотренные системой удобрений либо рекомендуемые на основе опытных или нормативных данных по отдельным сельскохозяйственным культурам, должны корректироваться с учетом данных агрохимического обследования почв полей хозяйства.

**Принцип метода.** По агрохимическим картограммам устанавливается класс почвы отдельных полей севооборота (согласно принятой

классификации по содержанию подвижных форм питательных веществ) и принятые средние нормы удобрений корректируются с использованием поправочных коэффициентов, разрабатываемых зональными агрохимическими учреждениями для различных сельскохозяйственных культур.

**Ход работы.** Исходя из плана размещения посевов культур на предстоящий год устанавливается класс почвы и обеспеченность возделываемых культур элементами питания для каждого отдельно обрабатываемого участка севооборотов хозяйства на основании данных агрохимических картограмм.

Пользуясь поправочными коэффициентами к средним нормам удобрений в зависимости от содержания подвижных форм питательных веществ в почве, определяют необходимые для каждого конкретного участка нормы удобрений. Записи ведут по следующей форме:

Номер отделения (бригады)	Севооборот и номер поля*	Размещаемая культура	Средние нормы удобрений, кг действующего вещества на 1 га			Содержание подвижных форм питательных веществ в почве, мг на 100 г почвы		
			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

Класс почвы согласно принятой классификации			Поправочные коэффициенты к средним нормам удобрений			Необходимая норма удобрений, кг действующего вещества на 1 га		
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

\* Номер севооборота указывают в числителе латинской цифрой, номер поля — арабской.

\*\* Обеспеченность азотом устанавливается согласно данным о содержании минерального, легкогидролизуемого азота и нитрификационной способности почвы.

**Материалы.** План размещения посевов культур по полям севооборота. Агрохимические картограммы содержания подвижных форм питательных веществ в почвах полей хозяйства. Система удобрения в севообороте или средние рекомендуемые нормы под отдельные культуры. Таблица классов почвы и поправочных коэффициентов к средним нормам удобрений применительно к зоне расположения хозяйства.

#### Определение норм удобрений на планируемую прибавку урожая сельскохозяйственных культур

Расчетный метод позволяет получить ориентировочные данные о необходимом количестве питательных веществ в виде удобрений для получения планируемой прибавки урожая. Метод применим для перспективного планирования потребности в различных видах удобрений для культур севооборота, хозяйства, района, области.

**Принцип метода.** На основе данных о расходе элементов питания на формирование единицы урожая устанавливается размер их выноса с

планируемой прибавкой урожая. Необходимое количество питательных веществ в удобрениях для получения прибавки определяется введением поправки на плодородие почвы и с учетом коэффициента использования питательного вещества из удобрений.

Ход работы. Расчет норм удобрений на планируемую прибавку урожая ведут по формуле:

$$H = \frac{100 \cdot (U_n - U_f) \cdot B \cdot K_n}{K_u}$$

где  $H$  — норма удобрения, кг действующего вещества ( $N$ ,  $P_2O_5$  или  $K_2O$ ) на 1 га;  $U_n$  — планируемый урожай, ц с 1 га;  $U_f$  — фактический урожай за последние 3 года, ц с 1 га;  $B$  — вынос элемента питания, кг с 1 ц основной и соответствующим количеством побочной продукции (см. табл. 12 на стр. 31);  $K_n$  — поправочный коэффициент на плодородие почвы (табл. 79);  $K_u$  — коэффициент использования растением элемента питания из удобрения, % (см. табл. 54 на стр. 224).

79. Поправочные коэффициенты, на плодородие почвы к расчетным нормам удобрений на планируемую прибавку урожая

Обеспеченность почвы подвижными формами питательных веществ для заданной культуры	Поправочные коэффициенты к расчетным нормам удобрений
Очень низкая	1,5
Низкая	1,3—1,5
Средняя	1,0
Повышенная	0,5—0,7
Высокая	0,3
Очень высокая	0

Для пересчета на центнеры фактически используемого удобрения или условный стандартный тук рассчитанную норму в килограммах действующего вещества на 1 га делят на процентное содержание действующего вещества в удобрении.

Результаты выполнения работы записывают по следующей форме:

Культура	Средний урожай за 3 года, ц с 1 га	Планируемая прибавка урожая, ц на 1 га	Потребление элементов питания, кг действующего вещества на 1 ц основной продукции			Расчетная норма удобрений, кг действующего вещества на 1 га на планируемую прибавку		
			N	$P_2O_5$	$K_2O$	N	$P_2O_5$	$K_2O$

**Материалы.** Данные о фактической урожайности культуры за последние 3 года, планируемом уровне урожая, обеспеченности почвы полей севооборота хозяйства подвижными элементами питания (мг на 100 г почвы или класс почвы согласно интразональной классификации почв), выносе питательных веществ на единицу товарной продукции и коэффициентах использования питательных веществ культурой из удобрений (по справочным материалам или данным ближайшей опытной станции).

**Составление годового и календарных планов применения удобрений,  
оформление заявки на удобрения**

Система удобрения в севооборотах хозяйства разрабатывается на длительный период (обычно пятилетку или ротацию севооборота) с учетом общего уровня плодородия почвы (по средневзвешенным агрохимическим показателям). При составлении годовых планов предусмотренные системой удобрения нормы удобрений корректируются, согласно данным агрохимических картограмм для каждого поля севооборота и с учетом уровня планируемой урожайности культур на текущий год, возможных изменений в размерах накопления органических удобрений и выделяемых фондов минеральных туков и т. д. Годовой план составляется с указанием сроков внесения, видов и доз удобрений. На основании годового плана рассчитывается потребность в удобрениях по отдельным полям, на севооборот, по отделению (бригаде) и в целом по хозяйству, составляется заявка и календарный план потребности в удобрениях, определяются сроки завоза туков и принимаются организационные решения.

**Ход работы.** Годовой план применения удобрений составляется по следующей форме:

Номер отделения (бригады)	Севооборот (внесевоборотный участок)	Номер поля	Площадь, га	Почвенная разность (механический состав)	Предшественник	
					культура	площадь, га
1	2	3	4	5	6	7

Виды и нормы удобрений, внесенных под предшественник	Размещаемая культура в текущем году	Площадь, га	Планируемый урожай, ц с 1 га	Агрохимическая характеристика почвы поля		
				pH <sub>KCl</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
8	9	10	11	12	13	14

Потребность по способам применения, кг действующего вещества на 1 га

основное			припосевное			подкормка		
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
15	16	17	18	19	20	21	22	23

## План внесения удобрений

основное			припосевное			подкормка		
вид удобрения	доза, ц на 1 га	на всю площадь, ц	вид удобрения	доза, ц на 1 га	на всю площадь, ц	вид удобрения	доза, ц на 1 га	на всю площадь, ц
24	25	26	27	28	29	30	31	32

План известкования			Примечание
площадь, нуждающаяся в известковании, га	норма известк., т на 1 га	требуется на всю площадь, т	
33	34	35	36

Графы 1—4 заполняются согласно плану землепользования, графа 5 — по почвенной карте хозяйства, графы 6—8 — по книге истории полей севооборота, 9—11 — по плану размещения посевов и планируемой урожайности, графы 12—14 — по данным агрохимических картограмм. В графы 15—23 вносят дозы удобрений, уточненные на текущий год для конкретных полей в килограммах действующего вещества, а в графы 24—36 — в физических туках.

Форма записи применения удобрений в годовом плане аналогична форме составления системы удобрения в севообороте, что позволяет сопоставить запланированное и фактическое внесение удобрений.

В примечании отмечают причины и характер корректив системы удобрения в текущем году.

Общая потребность хозяйства в минеральных удобрениях определяется на основании данных системы удобрения во всех севооборотах, лугопастбищных и других угодьях. Полученные данные используются для оформления заявки на поставку туков. Расчет потребности хозяйства в минеральных удобрениях составляется по следующей форме:

№ п/п	Севообороты	Площадь, га	Удобрямая площадь		Норма удобрений кг действующего вещества на 1 га			Требуется на всю удобряемую площадь в условных стандартных туках						
			га	%	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	азотные	фосфорные	калийные	фосфоритная мука	микроудобрения	всего	

**Материалы.** Разработанная для севооборота хозяйства система применения удобрений. Годовой план хозяйства. Журнал истории полей. Агрохимические картограммы и почвенные карты полей хозяйства. Данные, необходимые для корректировки норм удобрений с учетом почвенного плодородия и уровня урожайности. Нормативные материалы. Таблицы для пересчета количества минеральных удобрений в условные туки. Микрокалькуляторы.

---

**МЕТОДЫ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

---

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

Биологические методы включают полевой опыт, вегетационный и лизиметрический методы.

*Полевой опыт* является методом исследования, проводимого в природной (полевой) обстановке на специально выделенном участке, с целью определения воздействия условий или приемов возделывания (отдельно взятых или в сочетании) на урожай сельскохозяйственных растений. В полевых опытах с удобрениями определяется действие удобрения на величину урожая и его качество, плодородие почвы. Полевой опыт — основной метод изучения эффективности удобрений (отдельных их видов и сочетаний, форм, доз и т. д.) в различных почвенно-климатических условиях в зависимости от агротехнических и других факторов.

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

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

*Лабораторные методы* агрохимического анализа растений, почв и удобрений включают биохимические, микробиологические методы, а также метод изотопных индикаторов (стабильные и

радиоактивные изотопы). Ведущая роль среди лабораторных методов принадлежит химическому анализу агрохимических объектов.

Для оценки точности опытов и достоверности полученных результатов, выявления зависимости между удобрениями и урожаем, моделирования процессов поглощения растениями, превращения в почве и потерь питательных веществ из почвы и удобрений в агрохимических исследованиях используются математические методы.

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

### Полевой опыт

#### Виды полевого опыта

В зависимости от места и условий проведения, цели опыта, длительности проведения и количества изучаемых факторов различают несколько видов полевых опытов с удобрениями.

*Стационарные опыты* проводятся на постоянных специально приспособленных участках и, как правило, сопровождаются дополнительными наблюдениями и лабораторными исследованиями для объяснения наблюдаемых различий в действии удобрений и других факторов. В стационарных опытах изучается систематическое внесение удобрений в севообороте или на бессменной культуре в течение ряда лет, чаще всего они бывают многолетними. Результаты стационарных опытов служат надежной основой для разработки рекомендаций по применению удобрений в зоне их проведения.

*Производственные опыты*, закладываемые непосредственно в колхозах и совхозах, дают возможность установить действие удобрений на урожай и его качество в производственных условиях. Они служат для проверки и уточнения результатов, полученных в стационарных опытах, применительно к конкретным условиям хозяйства и используются для определения не только агрономической, но и экономической эффективности удобрений.

В *однофакторных опытах* изучается действие одного какого-либо приема (виды или формы или нормы удобрений при неизменном агротехническом фоне, либо действие одного агротехнического фактора при прочих равных условиях).

В *многофакторных* опытах одновременно изучается действие нескольких факторов и их сочетаний (например, вида и нормы удобрений в зависимости от орошения и т. п.).

В зависимости от длительности проведения различаются опыты *кратковременные* и *многолетние*. В кратковременных опытах действие удобрений или приемов возделывания в аналогичных почвенных условиях по одной схеме изучаются в течение 2—3 лет, а в многолетних — более 3 лет. Однолетние опыты проводятся только в течение одного вегетационного сезона. Если же такой опыт в последующие годы проводится на новом участке в аналогичных условиях и вновь учитывается только прямое действие изучаемого фактора, он также считается однолетним.

Достоверность и ценность результатов опыта возрастают при длительном их проведении, так как в этом случае исключается действие случайных погодных факторов на эффективность изучаемых удобрений или приемов. Стационарные полевые опыты, как правило, являются многолетними (за исключением вспомогательных предварительных, так называемых *рекогносцировочных*, опытов). Только многолетние опыты позволяют выявить последствие органических и минеральных удобрений, приемов химической мелиорации, влияние систематического применения удобрений на продуктивность севооборота, свойства почвы и т. д.

*Единичные полевые опыты* закладываются независимо друг от друга в отдельных пунктах по различным схемам и имеют самостоятельную программу наблюдений и исследований.

*Массовые полевые опыты* проводятся по единой тематике и схемам одновременно во многих пунктах. Для выявления закономерностей в действии удобрений и других агроприемов в зависимости от почвенно-климатических условий массовые полевые опыты проводят по географическому принципу как в пределах территории всей страны, так и по природно-экономическим областям.

*Коллективные массовые опыты* проводятся одновременно во многих точках по единой схеме и методике для изучения влияния агротехники, степени окультуренности почв, других природных и хозяйственных условий на эффективность удобрений. Такие опыты в широких масштабах проводятся зональными агрохимическими лабораториями в колхозах и совхозах, имеющих типичные в пределах зоны обслуживания природные и хозяйственные условия.

#### Основные методические требования при проведении полевого опыта

*Типичность опыта*, т. е. соответствие условий проведения полевого опыта почвенно-климатическим, организационно-хозяйственным и агротехническим условиям того ареала, применительно к которому будут использоваться результаты опыта. Это означает, что полевой опыт должен проводиться на наиболее распространенных, имеющих наибольшее сельскохозяйственное значение, типичных для зоны проведения опыта почвах, при использовании типичной агротехники, с типичной для данной зоны или района культурой районированных сортов по лучшим и типичным предшественникам и т. д.

Требование типичности обуславливает также длительность проведения опыта, поскольку в отдельные годы могут складываться нехарактерные погодные условия.

*Наличие сравнимости и соблюдения принципа единственного различия.* Полевой опыт должен проводиться так, чтобы путем сравнения урожаев и различных наблюдений за ростом и развитием культур можно было сделать вполне определенный вывод о действии изучаемых факторов. Схема полевого опыта, включающая стандартный (или контрольный) вариант и варианты с изучаемыми удобрениями или приемами должна быть составлена так, чтобы сравниваемые

варианты различались только по одному фактору при равных прочих условиях. Применительно к полевому опыту с удобрениями это означает, что разные формы удобрений должны обязательно сравниваться при равных нормах (наряду с большими или меньшими нормами того удобрения, по сравнению с которым оценивается действие испытываемой формы), а при изучении эффективности разных норм удобрений они должны вноситься в одной форме. Однако требование соблюдения принципа единственного различия не должно приводить к ограничению условий, при которых изучаемые удобрения или приемы могут проявить свое максимальное действие.

*Точность и достоверность опыта.* Полученные в полевом опыте количественные результаты (величина урожая, показатели его качества, размер выноса питательных веществ и т. д.) могут иметь расхождения с истинными величинами вследствие различных погрешностей. Ошибки в величине урожая могут быть связаны с неточностью измерений площади делянки, взвешивания и зависят от точности применяемых измерительных инструментов и приборов. Такие ошибки возрастают с уменьшением площади делянок. Ошибки могут быть вызваны пестротой почвы на опытном участке, наличием микрорельефных воздействий, неодинаковой предшествующей историей участка. Ошибка опыта вследствие исходной пестроты в уровне почвенного плодородия может быть снижена правильным выбором числа повторностей вариантов опыта, формы и размеров делянки, их расположения на опытном участке. Не исключены случайные ошибки при проведении различных работ на опыте (например, просевы на делянках опыта, вымочки или другие повреждения посевов). В этом случае проводят выключку частей делянки при учете урожая или полную выбраковку отдельных делянок.

Достоверность опыта по существу оценивается путем проверки соответствия принятой методики исследований поставленной задаче. Достоверность (или существенность) различий количественных показателей, полученных в опыте, как и точность опыта, устанавливается математической обработкой результатов методами вариационной статистики.

*Наличие и тщательное оформление необходимой документации по полевому опыту.* Основным документом является журнал полевого опыта, в котором по установленной форме фиксируются все данные по схеме опыта и программе работ, характеристике опытного участка, все работы и наблюдения, материалы учетов и измерений. Эти данные записываются в журнал полевого опыта непосредственно при их выполнении либо на основании дневника полевых опытов, в котором обязательно фиксируются все первичные данные в момент производства работ.

#### **Выбор и подготовка участка, размещение на нем полевого опыта**

Для проведения полевого опыта подбирают выровненный (без уклона и замкнутых понижений) участок с типичной для данного хозяйства (района) однообразной по генетическим характеристикам и

свойствам почвой и хорошо известной предшествующей историей. Степень пестроты участка оценивается по почвенной карте, имеющимся результатам агрохимического обследования почв или по специально проводимым химическим анализам почвы. Перед закладкой стационарных опытов для изучения пестроты участка предварительно проводят рекогносцировочные посевы. Для такого посева используют культуры, чувствительные к изменению плодородия почвы и более устойчивые к неблагоприятным погодным условиям: овес, ячмень, яровую пшеницу. Для выявления пестроты опытного участка проводят дробный учет урожая рекогносцировочного посева, разбив его на отдельные площадки. Размер такой площадки не должен превышать планируемой площади делянок полевого опыта.

Во избежание случайных ошибок опытный участок должен располагаться на необходимом удалении от леса или отдельных деревьев, дорог, водоемов, животноводческих помещений и т. д.

Выбранный участок равного уровня плодородия делится на опытные делянки — прямоугольные участки одинаковой площади и формы. Количество делянок должно быть равно произведению числа вариантов на повторность. Размер и форма опытных делянок выбираются в зависимости от пестроты участка, цели опыта и требований точности, вида культуры и применяемой агротехники. Величина и форма делянки должны обеспечивать соблюдение принятой агротехники возделываемой культуры с использованием необходимых сельскохозяйственных машин. Обычно площадь опытной делянки для культуры сплошного сева 100 м<sup>2</sup>, для пропашных — до 200 м<sup>2</sup>. Наиболее распространенная форма делянки — вытянутая, она обеспечивает большую точность опыта, так как полнее охватывает пестроту участка. При ограниченной площади опытных делянок предпочтительнее их форма, близкая к квадратной. Форма делянки зависит также и от размеров защитных полос.

Для устранения краевого влияния растений (растущие на краях делянки растения находятся в условиях, отличающихся от внутренней части делянки), снижения ошибки опыта (из-за переноса почвы при ее обработках, сноса удобрений при внесении на делянки и перемещения их с почвой) вдоль периметра опытных делянок выделяют защитные полосы. В краткосрочных опытах с удобрениями ширина защиток с каждой стороны делянок должна быть не менее 0,75 м (сдвоенной для смежных делянок — 1,5 м), а в многолетних — не менее 1 м (сдвоенная — 2 м). Для пропашных культур с каждой стороны делянки выделяется защитка шириной два междурядья (два ряда растений с соответствующей площадью питания). При посеве или посадке вдоль длинной стороны делянки ее ширина должна быть кратной ширине посевного агрегата. Внесение удобрений и посев культур проводятся на всей площади опытной делянки, т. е. защитные полосы удобряют, обрабатывают и засевают вместе со всей опытной делянкой. Растения с защитных полос убирают непосредственно перед учетом урожая, и, следовательно, площадь учетной делянки равна общей площади за вычетом площади защитных полос. Чем более вытянута форма

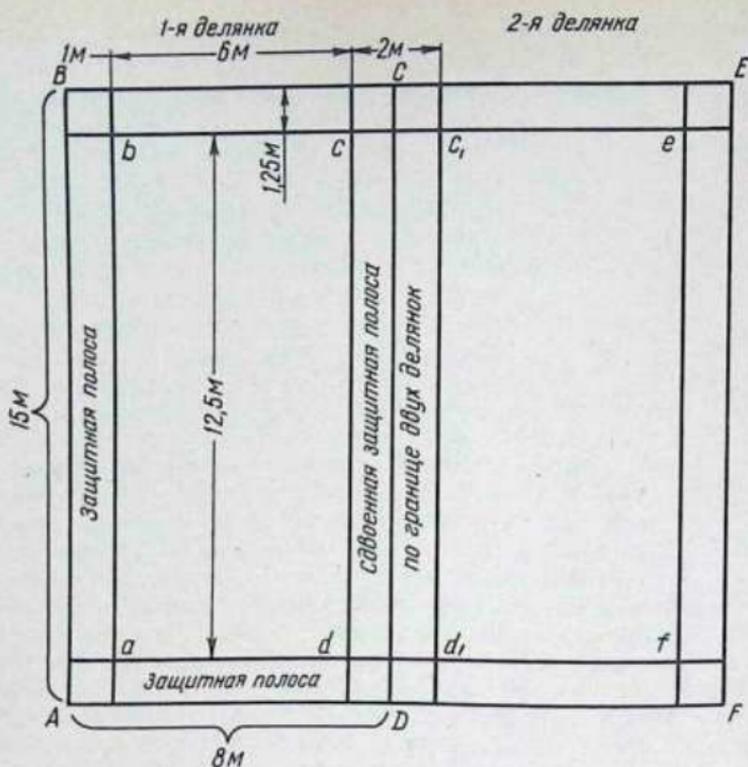


Рис. 20. Опытная и учетная площадь делянки и защитные полосы:  
*ABCD* и *DCEF* — опытные делянки; *abcd* и *d<sub>1</sub>c<sub>1</sub>ef* — учетные делянки.

делянки, тем больше площадь защиток и меньше учетная площадь. Методически правильно, если на защитные площади приходится около 25% площади опытного участка (рис. 20).

Вне площади опытных делянок для разворота машин и орудий с обоих концов делянок предусматривают защитные полосы не менее 10 м при тракторной и 6 м при конной тяге. Эти защитки засевают и обрабатывают вместе со всей площадью опытных делянок.

Точность опыта в большой степени зависит от его повторности в пространстве — размещения каждого варианта опыта на нескольких одноименных делянках. Полевые опыты с удобрениями при площади делянок до 200 м<sup>2</sup> обычно проводятся в четырехкратной (а с овощными культурами и в шестикратной) повторности, что позволяет получить точность опыта 2—4%. Двух-трехкратная повторность допускается в предварительных, рекогносцировочных и демонстрационных опытах, а также производственных опытах при площади делянок более 1000 м<sup>2</sup>. Стационарные опыты всегда проводятся не менее чем в четырехкратной повторности. При ограниченной площади делянки повторность опыта должна быть больше (на делянках 10—20 м<sup>2</sup> и тем более в мелкоделя-

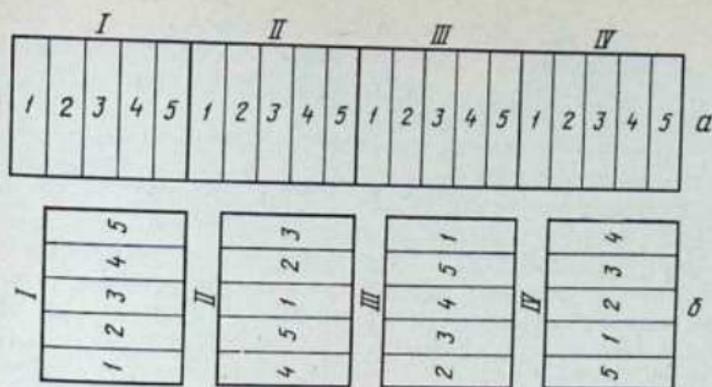


Рис. 21. Примерные схемы систематического размещения вариантов полевого опыта:  
 а — однорядное последовательное; б — многорядное ступенчатое, (1—5 — различные варианты схемы опыта; I—IV — повторение опыта).

ночных опытах с площадью менее  $10 \text{ м}^2$  число повторностей повышают до 6—8). Принято считать, что разницы менее 5% полевым опытом не улавливаются. Точность опыта может быть повышена увеличением площади и числа повторностей.

Расположение повторностей и вариантов опыта должно обеспечивать наиболее полный охват пестроты почвенного плодородия на участке и наилучшие условия для сравнения вариантов. В полевых опытах с удобрениями чаще всего повторения располагают компактно-сплошным методом — при этом отдельные повторности имеют общие границы (рис. 21). Повторности опыта могут размещаться в один, два или более рядов.

Внутри повторностей делянки вариантов могут располагаться систематически (в определенном порядке чередования) либо рендомизированно (случайно, беспорядочно).

В опытах с удобрениями в севообороте должно обеспечиваться чередование не только в пространстве, но и во времени.

#### Схемы полевых опытов с удобрениями

**Изучение видов удобрений.** Изучение трех видов удобрений проводится по восьмерной схеме: 1) без удобрения (контроль); 2) азотное удобрение (N); 3) фосфорное удобрение (P); 4) калийное удобрение (K); 5) NP; 6) NK; 7) PK; 8) NPK. По такому же принципу может строиться схема полевого опыта по изучению действия любых трех факторов, например удобрений, полива и сорта: 1) районированный сорт без удобрений и без полива; 2) районированный сорт + удобрение; 3) районированный сорт + полив; 4) районированный сорт + удобрение + полив; 5) новый сорт без удобрений и без полива; 6) новый сорт + удобрение; 7) новый сорт + полив; 8) новый сорт + удобрение + полив.

Если имеется информация, что почва хорошо обеспечена каким-либо одним из трех основных элементов питания, например калием, восьмерная схема может быть без ущерба сокращена до пяти вариантов: 1) контроль; 2) N; 3) P; 4) NP; 5) NPK.

Если ставится задача изучить действие какого-либо одного вида удобрений, например фосфора, восьмерная схема сокращается до четырех вариантов: 1) контроль; 2) P; 3) NK; 4) NPK.

**Изучение форм удобрений.** Различия в действии отдельных форм одного вида удобрений обычно невелики, что повышает требования к точности опыта. Сравнение форм одного из видов удобрений, например азотных, должно проводиться при равной норме азота на фоне внесения двух других основных видов удобрений (т. е. фосфорных и калийных): 1) контроль; 2) PK (фон); 3) фон + аммиачная селитра; 4) фон + мочевины; 5) фон + безводный аммиак.

Для сравнения эффективности простых и концентрированных (сложных и комплексных удобрений, например нитрофоски, содержащей в своем составе азот, фосфор и калий) может быть принята такая схема: 1) контроль; 2) NPK (смесь простых удобрений — аммиачной селитры, суперфосфата и хлористого калия); 3) NPK (нитрофоска в эквивалентных нормах по NPK варианта 2).

В схемах по изучению новых форм удобрений взятые в качестве стандарта хорошо изученные ранее удобрения следует брать в нескольких нормах.

**Изучение норм и соотношений удобрений.** С увеличением норм удобрений урожай растет только до определенного предела. Максимальный уровень урожая сохраняется при дальнейшем увеличении норм также в определенном интервале, дальнейшее повышение норм может вызывать снижение урожая. Поэтому при изучении действия разных норм одного вида удобрений на фоне других двух основных видов нужно испытывать по крайней мере три нормы. Наименьшая — на уровне, обеспечивающем примерно половину максимальной прибавки урожая, средняя — на уровне, необходимом для максимального урожая, а высшая — примерно на  $\frac{1}{3}$  выше предыдущей. Например, максимальная прибавка урожая от внесения азота ожидается при его норме 90 кг на 1 га на фоне фосфорно-калийных удобрений. Схема для изучения доз азота для этого случая может выглядеть так: 1) контроль; 2) PK (фон); 3) фон + N<sub>45</sub>; 4) фон + N<sub>90</sub>; 5) фон + N<sub>120</sub>.

Однако действие возрастающих норм любого вида удобрений на урожай зависит от уровня снабжения другими элементами питания, и важно обеспечить наиболее благоприятное соотношение между всеми удобрениями. Например, одна из схем полевого опыта Географической сети полевых опытов выглядит так:

1. Контроль (без удобрений)
2. P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>
3. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>
4. N<sub>60</sub>K<sub>60</sub>
5. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>
6. N<sub>60</sub>P<sub>30</sub>K<sub>60</sub>

7. N<sub>60</sub>P<sub>90</sub>K<sub>60</sub>
8. N<sub>60</sub>P<sub>120</sub>K<sub>60</sub>
9. N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>
10. N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>
11. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>
12. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub>

**Изучение сроков и способов внесения удобрений.** Изменение сроков внесения удобрений обычно вызывает необходимость в изменении и способа их заделки, что обусловлено агрохимическими условиями. Схема по изучению способов внесения полного минерального удобрения может быть следующей:

Вариант опыта	Основное удобрение (до посева)	При посеве	Подкормка
1	—	—	—
2	N <sub>70</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	—	—
3	N <sub>70</sub> P <sub>70</sub> K <sub>80</sub>	P <sub>10</sub>	—
4	N <sub>40</sub> P <sub>70</sub> K <sub>80</sub>	P <sub>10</sub>	N <sub>30</sub>
5	N <sub>40</sub> P <sub>70</sub> K <sub>50</sub>	P <sub>10</sub>	N <sub>30</sub> K <sub>30</sub>

В многофакторных полевых опытах, где уровни каждого фактора сочетаются со всеми уровнями остальных изучаемых факторов, число вариантов значительно увеличивается.

Во всех опытах с удобрениями контрольным служит вариант без удобрений. В опытах с видами и нормами удобрений контрольным является также вариант с другими удобрениями, на фоне которого изучается действие исследуемого тука. В опытах по изучению форм удобрений контролем служит вариант со стандартной формой удобрения, а при исследовании сроков и способов внесения удобрений контрольным является вариант с обычным стандартным способом применения удобрений. Во всех случаях при разработке схем полевых опытов с удобрениями необходимо строгое соблюдение принципа единственного различия.

#### Программа полевого опыта

Программа полевого опыта включает детальное описание сроков, условия и методики проведения опытов, сопутствующих наблюдений, учетов и аналитических работ в период вегетации, метода и элементов учета урожая, оценки точности и достоверности урожая, показателей выноса элементов питания и качества урожая и изменений в уровне плодородия почв.

Важное место в программе занимает описание агротехнических условий и приемов, которые выполняются в опыте (оценка плодородия и история поля, предшественники, система обработки почв, сроки и способы проведения всех агротехнических работ и т. д.). Кроме обязательной программы наблюдений и аналитических исследований (фенологические, метеорологические, фитопатологические и энтомологические наблюдения, анализ почвы опытного участка перед закладкой опыта, определение размеров выноса азота, фосфора и калия с урожаем, основных показателей качества урожая), должно планироваться проведение дополнительных работ, которые позволят раскрыть суть действия изучаемого фактора. Например, наблюдения за динамикой содержания доступных форм питательных веществ в опытах с удобрениями и т. п.

а опыта должна предусматривать способ учета урожая (методом или по пробному снопу), технику уборки, структуры урожая, методику отбора растительных проб и способа их анализа. В программу входит методика статистической обработки урожайных данных, биометрии и аналитической и агроэкономическая оценка изучавшегося фактора. Испытания при закладке, проведении, составлении программы опытов и удобрений в системе Государственной агрохимической службы регламентированы Отраслевым стандартом С-02 46-23-74.

#### Производственные опыты и учет действия удобрений в хозяйственных условиях

Производственные опыты с удобрениями в производственных условиях проводятся на больших площадях с применением обычно используемых методов агротехники и сельскохозяйственных машин. Производственные опыты должны проводиться с соблюдением всех основных требований полевого опыта: природной и хозяйственной типичности, принципа единственного различия, точности и достоверности, наличия документации. При ограниченном числе вариантов (2—4) необходимой точностью достигается прежде всего путем увеличения площади делянок. Повторность производственных опытов — не менее 4-кратной, только при площади делянок свыше 0,5 га допустима 2-кратная повторность. Делянки производственного опыта обычно выкладывают вдоль всей длины и ширины поля. Ширина самой делянки должна быть кратной ширине захвата туковых сеялок (не менее ширины проходов для выделения защиток) и ширине захвата (двух или трех) комбайна или других уборочных машин. Учет урожая должен проводиться только сплошной механизированный, он ведется на делянках производственных опытов путем прокосов вдоль всей делянки, т. е. по всей его площади. Учетная площадь делянки при одном проходе комбайна будет равна произведению ширины его захвата на длину делянки.

Программа производственного опыта включает обязательно минимум сопутствующих наблюдений и учетов, математическую обработку данных об урожае, агрономическую и экономическую оценку эффективности удобрений.

Методы оценки экономической эффективности удобрений в условиях производства излагаются в специальных руководствах. Чаще всего экономической оценкой удобрений проводится на основании сопоставления двух показателей — дополнительных производственных затрат при применении удобрений (стоимость удобрений и всех работ по их применению, затраты на уборку и переработку дополнительной продукции) и стоимости полученной прибавки урожая (по закупочным ценам). Разность между стоимостью прибавки урожая и дополнительных производственных затратами в денежном выражении является чистым доходом от применения удобрений, а отношение стоимости прибавки к дополнительным затратам — окупаемость затрат на применение удобрений. Отношение величины дополнительного чи-

дохода  
бельно  
Дл  
удобр  
или к  
площ  
лее у  
шир  
вдо  
тро  
ло  
ту  
уб  
к  
у

дополнительным затратам (в процентах) выражает рентабельности применения удобрений.

учета агрономической и экономической эффективности хозяйственных посевах оставляют неудобренные участки контрольные полосы. Для культур сплошного сева неудобренная полоса должна быть не менее 0,25 га, а пропашных — 0,1 га. Наиболее удобен способ выделения контрольных полос (не менее двух) поперек, кратных захвату туковых сеялок (не менее двух проходов) всего поля. Перед уборкой восстанавливают границы контрольных полос и по обе стороны от них выделяют аналогичные полосы на удобренных посевах. Учет на полосах с зерновыми культурами проводят сплошным или выборочным методом после уборки на полосах защитных рядков растений. Учет корнеплодов производят только взвешиванием урожая со всей площади полосы после выкопки защитных (обычно двух) рядков с каждой ее стороны.

Все агротехнические мероприятия, работы по уходу за растениями и учет урожая должны проводиться на контрольных полосах и остальных удобренном участке одновременно и одинаковым способом. В течение вегетации следует проводить наблюдения за ростом и развитием растений и записывать их в дневнике.

### Лизиметрический метод

Используемые в агрохимических исследованиях лизиметры различаются по конструктивным характеристикам и устройству приспособлений для изучения просачивания воды (и растворенных в ней веществ) сквозь толщу почвы под влиянием атмосферных осадков либо изучаемого режима орошения.

Лизиметры могут сооружаться из бетона, кирпича, металла (оцинкованное железо) или пластмассы. Они должны иметь трубопроводы для отвода и емкости для сбора просачивающейся из почвы вод, обеспечивающие необходимую достоверность и ровность наблюдений. Слой почвы (с сохранением естественного строения или насыпной) может быть от 20—25 см до 1 метра. Наиболее распространены лизиметры с толщиной слоя 1 м.

В лизиметрах с парующей почвой или с растениями поддерживаются условия, близкие к моделируемым природным.

Лизиметры вкапывают в грунт (или заполняют грунтом) так, чтобы уровень почвы в них совпадал с поверхностью прилегающей почвы. Плотность насыпных лизиметров должна соответствовать естественной, а насыпка ведется по генетическим горизонтам. Необходимо обеспечить нормальное освещение, обработки, защиты лизиметра от повреждений и т. д.

Лизиметры устанавливают обычно вблизи лаборатории, чтобы обеспечить своевременную и без потерь доставку лизиметров (нередко в больших объемах) и химический анализ их содержимого (по 10 и более штук, число определяется

..программой исследований) располагают на небольшом расстоянии друг от друга. Вблизи лизиметрических площадок устанавливают дождемер для учета выпадающих осадков и прочую аппаратуру для наблюдений за метеорологическими условиями.

Как и при проведении почвенных опытов, в лизиметрических исследованиях должны соблюдаться условия типичности, сопоставимости и принципа единственного различия, точности и достоверности, ведения документации.

### Вегетационный метод

В агрохимических исследованиях «задачей вегетационного метода является вскрытие существа процессов и уяснение значения отдельных факторов, прежде всего роли растения, почвы и удобрения в условиях, наиболее благоприятных для выявления этой роли» (Д. Н. Прянишников). Вегетационный метод является необходимым этапом исследований по вопросам питания растений и применения удобрений (выяснение физиологической роли отдельных элементов питания растений, включая микроэлементы, изучение новых форм удобрений, действие отдельных факторов на эффективность удобрений и т. д.). В зависимости от цели исследования вегетационный метод может иметь самостоятельное значение или являться дополнением

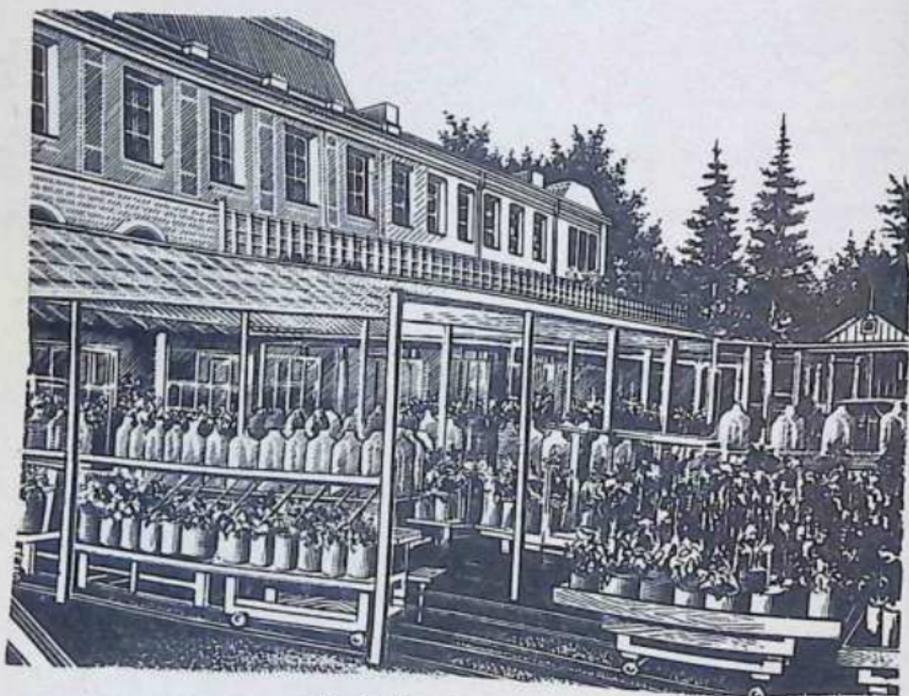


Рис. 22. Вегетационный домик.

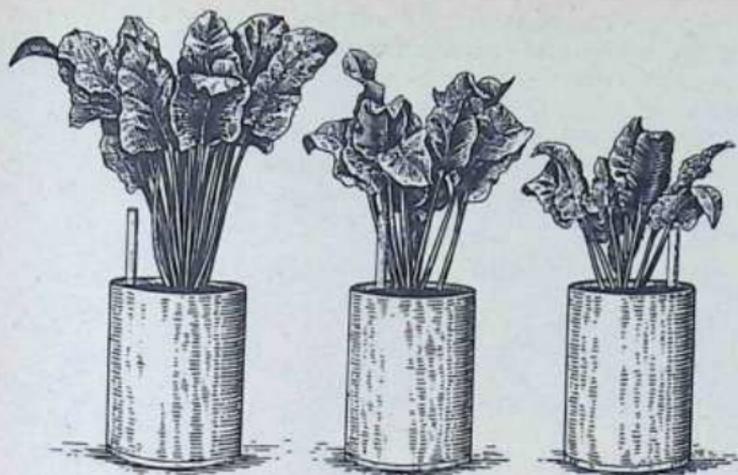


Рис. 23. Вегетационный опыт с сахарной свеклой.  
Почвенная культура в стеклянных сосудах. Слева направо — убывающая  
доза калия.

к полевым опытам. Вегетационный метод имеет ряд модификаций (почвенные, песчаные, водные культуры, метод текучих растворов, изолированного питания, стерильные культуры), выбор которых определяется целями исследований и характером действия изучаемого фактора. Основные требования к проведению полевого опыта, разработке схемы и программы сохраняют свою силу применительно и к вегетационным опытам.

**Почвенные культуры.** Для проведения вегетационных опытов в почвенных культурах используется только верхний пахотный горизонт почвы, просеянный через грохот с размером ячеек 3 мм. В сосудах емкостью 1—10 кг почвы (чаще 5—8 кг, объем сосуда зависит прежде всего от биологических особенностей опытных растений) с естественным или искусственным дренажем (рис. 23) поддерживаются оптимальные условия увлажнения (обычно 60% от полной полевой влагоемкости почвы). Средние нормы удобрений (г на 1 кг почвы) составляют: азота 0,05—0,2; фосфора (в расчете на  $P_2O_5$ ) 0,05—0,15, калия (в расчете на  $K_2O$ ) 0,05—0,2. Это значительно выше норм, используемых обычно в полевых условиях (при диаметре сосуда 20 см норма 0,5 г азота на сосуд соответствует около 150 кг на 1 га) и эффект от удобрений в вегетационных опытах проявляется более четко, чем в полевых. Повторность при проведении вегетационных опытов с зерновыми четырехкратная, а для культур, выращиваемых по одному растению на сосуд, повторность увеличивается до 6—8. Выбор почвы диктуется целями эксперимента, часто для вегетационных опытов используется почва с делянок полевых опытов с удобрениями.

**Водные и песчаные культуры.** В условиях водных и песчаных культур, т. е. при выращивании растений на питательных растворах с

использованием бесплодных сред (чистого кварцевого песка и дистиллированной воды), имеется возможность строго контролировать питание растений. Это позволяет изучать влияние состава и концентрации питательного раствора, реакции и буферности среды на рост и развитие растений, требования культур к режиму питания (уровню и соотношению питательных веществ) по периодам роста и другие важные вопросы агрохимии. Питательные смеси для водных и песчаных культур отличаются по содержанию питательных веществ, формам минеральных солей, характеру и степени изменения реакции среды по мере потребления питательных веществ растениями и другим свойствам. Состав наиболее употребительных питательных смесей приведен в таблице 80.

80. Питательные смеси для водных и песчаных культур, г на 1 л воды или 1 кг песка

Состав смеси*	Гельригеля	Кнопа	Приципникова
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ безводная	0,482	1,0	—
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	—	—	0,24
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0,136	0,25	—
$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	—	0,172
$\text{MgSO}_4$ безводная	0,060	0,25	0,060
KCl	0,075	0,12	0,16
$\text{FeCl}_3$	0,025	Следы	0,025
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	—	0,344
pH в начале опыта	3,6	5,5	6,5
pH в конце опыта	7,0	7,2	5,8

\* В питательные смеси вносят также определенный набор микроэлементов (бор, молибден, медь, цинк, марганец и др.)

Состав питательных растворов по вариантам опытов в соответствии с их схемой регулируется изменением доз, формы отдельных солей, смесей с обязательным выравниванием ионного состава и концентрации растворов всех вариантов по всем другим элементам питания, кроме изучаемого.

Для проведения опытов в песчаных культурах используют такие же сосуды, как и в почвенных культурах. Питательные вещества (в виде растворов, а нерастворимые соли — в сухом виде) вносят при набивке сосудов из расчета на 1 кг песка.

Опыты с водными культурами проводят в широкогорлых банках (рис. 24) емкостью 4—8 л, закрываемых пробками с отверстиями (в которых закрепляются с помощью ватных тампонов проростки опытных культур, крешится каркас и пропускаются трубки для продува питательных растворов воздухом, чтобы обеспечить нормальное снабжение корней кислородом). Проростки предварительно выращивают в кюветах с песком, опилками или на фильтровальной бумаге. При высадке в сосуды растения должны иметь высоту ростка 5—7 см и корневую систему длиной 6—7 см. Во всех сосудах при проведении вегетационных опытов выращивается одинаковое количество растений, в случае необходимости проводят прореживание. Сосуды снабжаются



Рис. 24. Водные культуры. Вегетационный опыт с томатами. У первого сорта слева чехол спущен, видна корневая система растения.

двойными — темными внутренними и светлыми наружными — чехлами для защиты корней от света, устранения перегрева и попадания пыли. За вегетационный период в водных культурах 3—4 раза производится полная смена питательных растворов по всем вариантам опыта. В случае необходимости поддержания стабильной реакции среды через 1—2 дня проводят измерение рН и корректировку реакции питательных смесей разбавленными растворами NaOH или HCl.

Для поддержания постоянной в течение сезона не только реакции, но и состава и концентрации питательных веществ используют модификации метода водных культур — сменные водные культуры (при частой замене растворов) или текучие культуры (при постоянном протекании питательных растворов через сосуды с растениями со скоростью около 4 л в день).

#### Контрольные вопросы

1. Каковы задачи, решаемые отдельными биологическими и лабораторными методами в общей системе агрохимических исследований?
2. Каково значение отдельных видов полевого опыта в обосновании производственных вопросов химизации сельского хозяйства?
3. Какие основные методические требования предъявляются к качеству полевого опыта?
4. Как осуществляется выбор элементов методики полевого опыта: величины и формы делянок, повторности, системы расположения делянок на опытном участке, способы учета урожая?
5. Как составляют схемы полевых опытов с удобрениями?
6. Что включает программа полевого опыта с удобрениями?

7. Как оценивается агрономическая и экономическая эффективность удобрений в условиях производства?

8. Какие основные требования предъявляются при устройстве и выборе расположения лизиметров?

9. Какое значение имеют отдельные виды вегетационных опытов в изучении питания растений, свойств почв и удобрений?

10. С какой целью проводится статистическая обработка результатов опытов?

## ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ

### Методы качественного и количественного анализа в агрохимии

Качественный химический анализ в аналитической химии используется для определения (открытия) элементов или ионов, входящих в состав исследуемого вещества. Открытие элементов или ионов проводится обычно путем перевода их в соединения, обладающие какими-либо характерными свойствами. Качественные реакции могут выполняться «сухим» и «мокрым» способами.

Большинство реакций при качественном анализе выполняется «мокрым» способом, когда исследуемое вещество предварительно растворяют (в воде либо в кислотах, если вещество в воде не растворимо), а для открытия элементов или ионов применяют растворы соответствующих реактивов. В «мокром» качественном анализе используют такие реакции, которые сопровождаются внешними изменениями, легко обнаруживаемыми визуально, — выпадением осадка, изменением окраски раствора или выделением газа.

При «сухом» способе исследуемое вещество анализируют в сухом нерастворенном виде. Примером «сухого» способа могут быть пирохимические реакции окрашивания пламени некоторыми металлами, а также разложение соединений при нагревании (с выделением газов, появлением специфического запаха).

В зависимости от того, с какими количествами веществ проводится качественный анализ, его подразделяют на макро-, микро- и полумикроанализ.

При макроанализе исследуют относительно большие количества вещества (обычно исчисляемые граммами), которое растворяют в объеме до 20—30 мл, и реакции обычно проводят в пробирках. Этот метод называют иногда «пробирочным» анализом.

Микроанализ проводится с небольшими количествами исследуемого вещества (примерно в 100 раз меньшими, чем при макроанализе, т. е. количество вещества исчисляется миллиграммами), растворенного в небольшом объеме. В этом случае пользуются высокочувствительными реакциями, позволяющими обнаружить наличие элементов или ионов даже при очень малом их содержании в исследуемом веществе. При микроанализе качественные реакции чаще всего выполняют капельным методом: на фильтровальную бумагу, предметное или часовое стекло либо специальную белую фарфоровую пластинку с углублениями помещают 1—2 капли исследуемого раствора и в определенном порядке прибавляют микроколичества сухих реактивов или

1—2 капли их растворов, вызывающих изменение окраски раствора или образование окрашенных растворов при наличии соответствующих ионов.

Полумикроанализ занимает промежуточное положение между макро- и микроанализом.

Наличие отдельных ионов в растворе может быть установлено с помощью специфических реакций (т. е. таких реакций, которые позволяют открывать этот ион в присутствии любых других ионов). Так, например, ион аммония открывают (действием на исследуемое вещество раствором щелочи) по выделению аммиака, имеющего резкий характерный запах. Открытие ионов посредством проведения специфических реакций с отдельными порциями испытуемого раствора в произвольной последовательности называется *дробным анализом*. Однако специфических реакций не так много, поэтому чаще приходится иметь дело с реакциями, дающими одинаковый или сходный эффект. Чем меньше число различных ионов дает сходный эффект в результате реакции, тем выше ее избирательность, или селективность.

Специфические реактивы позволяют открывать один определенный ион в сложных растворах при наличии других различных ионов, а селективные реактивы дают сходные реакции с ограниченным числом ионов.

Наличие в растворе большого числа ионов, дающих сходный эффект в результате одной реакции, затрудняет открытие состава исследуемого вещества. Для устранения посторонних ионов, мешающих открытию конкретного иона, используются так называемые маскирующие средства, с помощью которых посторонние ионы переводят в малодиссоциируемые соединения либо изменяют их заряд. Если используемые качественные реакции малоспецифичны и мешающее влияние посторонних ионов устранить не удастся, то дробный метод применять нельзя и приходится прибегать к систематическому ходу анализа.

При *систематическом анализе* качественные реакции проводят в такой последовательности, чтобы открытие каждого иона было лишь после идентификации и удаления всех других ионов, мешающих этому открытию. Из сложной смеси в растворе целые группы ионов могут быть последовательно выделены с помощью так называемых групповых реактивов. Действие таких реактивов заключается либо в осаждении определенной группы ионов в виде труднорастворимых соединений (затем после отделения осадка они вновь могут быть переведены в раствор), либо, наоборот, в растворении тех или иных частей твердой смеси (осадка), в то время как другие ее составные части в этом реактиве не растворяются.

Аналитические группы катионов выделяются, согласно кислотно-щелочной классификации, на основании растворимости соединений, образующихся при взаимодействии катионов с кислотами и щелочами, а по сульфидной классификации — на основании различий в растворимости их хлористых и углекислых солей, сульфидов и гидроокисей.

Анионы также классифицируются на группы по растворимости соединений, образующихся при взаимодействии с  $BaCl_2$  и  $AgNO_3$ , а

также на основании окислительно-восстановительных свойств анионов.

Применение групповых реактивов позволяет сложную задачу качественного анализа смеси разнообразных ионов разделить на ряд более простых. После выделения групп ионов из раствора отдельные входящие в них катионы или анионы открывают с помощью специфических реакций.

Качественный анализ в агрохимии используется для изучения состава местных и промышленных удобрений, быстрого распознавания последних при отсутствии необходимой документации, определения состава почвенного раствора при оценке характера засоления, а также для проверки полноты проведения тех или иных операций в ходе количественного анализа (например, отмывание осадков или отгон аммиака). Модификации капельного метода, основанные на реакциях с образованием окрашенных продуктов, применяются для диагностики минерального питания растений экспресс-методами В. В. Церлинг и К. П. Магницкого. Поскольку интенсивность развивающейся окраски при избытке реагента зависит от концентрации определяемого иона, капельный метод позволяет проводить полуколичественный анализ сока растений на содержание минеральных соединений азота, фосфора, калия и других элементов (см. стр. 311).

Количественный химический анализ проводится для определения количественного содержания отдельных элементов либо их соединений (как неорганических, так и органических) в исследуемых веществах.

В количественном анализе обычно используются те же реакции, которые применяются в качественном анализе для открытия элементов (ионов) или индивидуальных химических соединений. Химические методы количественного анализа подразделяются на весовой, объемный и газовый.

Если количественное содержание элемента или соединения определяется по массе продукта химической реакции, мы имеем дело с весовым анализом (гравиметрическим). Метод анализа, основанный на измерении объема, затрачиваемого на реакцию раствора реагента точно известной концентрации, называется объемным. Если количественный анализ базируется на определении объема газа, образующегося при реакции или поглощаемого из газовой смеси тем или иным реагентом, он называется газовым.

Количественный анализ может также проводиться различными физико-химическими и физическими методами с использованием специальных приборов и оборудования.

Метод анализа, основанный на использовании цветных реакций (т. е. сопровождающийся изменением окраски или образованием окрашенных растворов) и сравнении интенсивности окраски испытуемых растворов с окраской образцовых растворов точно известной концентрации, называется колориметрическим. Если о содержании определяемого элемента (иона или соединения) судят по интенсивности помутнения раствора в результате реакции с образованием труднорастворимых веществ, то метод называется нефелометрическим.

Сравнение окраски либо степени мутности испытуемых и образцовых растворов может проводиться визуально, а также с использованием специальных приборов — колориметров (фотоэлектроколориметров) и нефелометров.

Количественный анализ может проводиться и другими оптическими методами на основе измерения коэффициента преломления света в растворе исследуемого вещества (рефрактометрический метод), оптической плотности растворов или светопоглощения испытуемых растворов, полученными в результате реакции окрашенными соединениями (фотометрический метод). При количественном анализе используются различные спектральные методы, основанные на измерении интенсивности спектров поглощения при пропускании света через испытуемые растворы, спектров испускания при возбуждении атомов в пламени, электрической дуге или искровом разряде (спектрофотометрия, пламенная фотометрия, спектрография).

Методы количественного анализа, связанные с применением электролиза, измерением электрохимических свойств анализируемых веществ или продуктов их взаимодействия в ходе химических реакций (электропроводности растворов, их электрохимического потенциала и т. д.), называются электрохимическими. К ним относятся также потенциометрический метод (основанный на измерении разности потенциалов между стандартным электродом сравнения с постоянным потенциалом и измерительным электродом, потенциал которого зависит от концентрации определяемого иона) и полярографический метод (базирующийся на явлении поляризации на ртутном капельном электроде).

Хроматографический анализ основан на неодинаковой способности различных химических соединений даже одного класса адсорбироваться (поглощаться) поверхностно-активными веществами — целлюлозой, ионообменными смолами — и десорбироваться из поглощенного состояния. Количественные характеристики этих процессов определяются различными методами.

Для измерения соответствующих параметров при использовании физико-химических и физических методов количественного анализа применяются разнообразные приборы и оборудование.

Агрохимический количественный анализ растений, почв и удобрений опирается на указанные методы общехимического количественного анализа, однако имеет и свою специфику вследствие существующих особенностей объектов исследований. Исключительно широкий набор элементов, химических неорганических и органических соединений в составе растений, почв, а также отдельных удобрений создает значительные трудности при проведении их количественного анализа. В агрохимических исследованиях применяются все существующие методы количественного анализа, но особенно распространено в системе агрохимического обслуживания сельского хозяйства использование наряду с химическими методами фотометрии и потенциометрии.

*Агрохимический анализ растений* необходим для: оценки качества урожая сельскохозяйственных культур и его

изменений в зависимости от условий выращивания, в том числе от применения удобрений;

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

диагностики питания растений и определения потребности в удобрениях;

изучения использования культурами питательных элементов из удобрений.

*Агрохимический анализ почв* проводится с целью:

установления обеспеченности растений элементами питания и, следовательно, потребности в удобрениях;

изучения тех свойств почв, которые определяют принципиальные вопросы применения удобрений и проведения химической мелиорации почв, таких, как поглотительная способность, реакция почвы и буферность (т. е. способность противостоять изменению реакции), засоленность и т. д.;

наблюдения за изменением содержания питательных веществ в почве и их доступности растениям в зависимости от приемов агротехники и применения удобрений;

изучения процессов взаимодействия удобрений с почвой.

*Агрохимический анализ удобрений* используется для:

оценки качества местных органических удобрений и его изменения в зависимости от условий накопления, хранения и применения;

определения содержания действующего вещества в промышленных минеральных удобрениях и мелиорирующих материалах для проверки их соответствия установленным стандартам;

определения доступности питательных веществ из удобрений и при изучении процессов их превращения в почве.

Агрохимический анализ растений, почв и удобрений позволяет изучить состояние баланса питательных веществ в земледелии и научно обоснованно осуществлять регулирование питания сельскохозяйственных культур с помощью удобрений.

### **Общие приемы количественного анализа**

При проведении любого количественного анализа выделяются следующие этапы работы: подготовка анализируемого материала к анализу и отбор аналитической пробы; взятие точной навески анализируемого вещества или материала; подготовка посуды и необходимых растворов химических реактивов; собственно количественный анализ испытуемого вещества или его раствора; вычисление результатов анализа.

Подготовка образцов к химическому анализу. Отбор представительной пробы, правильно отражающей состав анализируемого вещества или материала, является одним из наиболее ответственных этапов работы. Неправильно отобранная проба сводит на нет всю последующую, даже тщательно выполненную аналитическую работу, может привести к искажению истинной картины.

При анализе однородного материала, тем более какого-либо химического вещества в его чистом состоянии, любая индивидуальная проба, лишь немного превышающая количество, необходимое для анализа, будет достаточно объективно отражать состав анализируемого материала или вещества. Тем более этому требованию будет удовлетворять средняя проба, отобранная из нескольких индивидуальных проб после их тщательного перемешивания.

При анализе химического состава большой массы материала или вещества, представляющего более или менее неоднородную смесь как по размерам частиц, так и составу (как мы это имеем при анализе агро-руд, удобрений и почвы, больших партий различной сельскохозяйственной продукции), необходимо отобрать среднюю пробу, наиболее правильно соответствующую среднему составу всей массы анализируемого материала. Средняя проба должна состояться из большого числа небольших индивидуальных проб, взятых из разных мест анализируемой продукции. Для каждого вида анализируемого материала разработаны специальные инструкции по отбору средних проб, основные положения которых (масса или объем анализируемой партии продукции, число, методика и техника отбора индивидуальных проб для составления среднего образца, его масса), закреплены в соответствующих отраслевых и государственных стандартах.

Из различных частей средней пробы после ее измельчения и тщательного перемешивания отбирают лабораторную пробу, из состава которой также взятием небольших порций из разных мест формируют аналитическую пробу.

Из аналитической пробы берут навески на химический анализ.

При агрохимическом анализе почв, растений и удобрений используются специальные методы подготовки отобранных смещанных образцов.

Если анализируют материалы при естественном увлажнении, то параллельно с отбором аналитической пробы обязательно проводят определение влажности лабораторной пробы. Результаты химического анализа с учетом фактического содержания влаги исходного образца вычисляют в расчете на абсолютно сухое вещество или стандартную влажность (например, 14% для зерна злаков).

Обычно средние пробы растений, почв и удобрений предварительно высушивают до воздушно-сухого состояния.

Высушивание грубо измельченных растительных образцов проводят в сушильных шкафах (при температуре 70—80°C, в случае необходимости сначала растения «фиксируют» для прекращения деятельности ферментов путем непродолжительного выдерживания при температуре 105—110°C либо обработкой горячим паром) или специальных сушильных камерах, а затем на воздухе. Высушенные до воздушно-сухого состояния образцы тонко размалывают на лабораторных мельницах или (при небольшой массе образцов) на электрических кофемолках. Одновременно с отбором аналитической пробы в лабораторной пробе определяют гигроскопическую влажность (обусловленная поглощением влаги из воздуха) растительного материала для

вычисления результатов анализа в расчете на абсолютно сухое вещество.

Высушивание средних проб почвы проводят в тени на открытом воздухе или в хорошо проветриваемых помещениях, расстилая почву тонким слоем (до 2 см) на плотной бумаге или в специальных коробочках при периодическом перемешивании. После высушивания образцы размалывают вручную в фарфоровых или металлических ступках с помощью пестика или на специальных почвенных мельницах. Размолотые образцы почвы должны полностью просеиваться через сито с отверстиями 2 мм. При массовых агрохимических анализах результаты выражаются в расчете на воздушно-сухую массу почвы.

На всем протяжении подготовительных работ каждый анализируемый образец должен иметь соответствующую этикетку с указанием номера регистрации в журнале и исходных данных (место, срок отбора и т. д.). Очень удобно использовать при этом специальные коробочки с индивидуальным номером.

**Ведение лабораторного журнала.** При выполнении любого химического анализа, в том числе на учебных занятиях, следует особое внимание обращать на ведение записей в лабораторном журнале. Перед началом аналитической работы необходимо составить конспект с указанием принципа метода, основных этапов анализа и перечнем отдельных операций в порядке их выполнения. Подробное описание работ с указанием техники выполнения анализа имеется в учебнике, и нет необходимости в конспекте приводить эти сведения. Каждая работа рактикума должна выполняться осмысленно, после тщательного изучения теоретической части программного материала в соответствующих разделах учебного пособия. Записи необходимых данных (характер и номер анализируемого образца, результаты взвешиваний и измерений объемов, все промежуточные и конечные данные анализа) и вычислений результатов анализа должны вестись аккуратно, так, чтобы в них мог разобраться не только сам аналитик, но и любой проверяющий.

Все необходимые данные должны заноситься в журнал непосредственно после их получения.

Конечные результаты анализа должны быть вычислены и осмыслены, при наличии аналитических повторностей следует оценить воспроизводимость полученных данных и достигнутую точность проведения анализа.

**Весы и взвешивание.** При проведении любого количественного анализа взвешивание исходной навески исследуемого вещества, реактивов для приготовления растворов, а в ходе весового (гравиметрического) анализа — определение массы осадка или выделяемого компонента производится с необходимой точностью на соответствующих весах.

*Технохимические весы* служат для взвешивания с точностью 0,1—0,01 г. В лабораториях для взятия навесок до 200 г с точностью до 0,01 г чаще всего используют технохимические весы второго класса марки Т-200. Как и другие весы этого типа, они состоят из коромысла,

опирающегося на призму, на которое с обеих сторон подвешены чашки. На левую чашку помещается взвешиваемый предмет, а на правую вручную накладываются гири. Весы снабжены арретиром — специальным устройством, благодаря которому призмы находятся под нагрузкой только в момент взвешивания.



Рис. 25. Весы квадратные ВЛК-500 г/10:

1 — экран оптической шкалы; 2 — грузовая чашка; 3 — ручка для установки нулевой точки; 4 — рукоятка для наложения дополнительных гирь; 5 — регулируемые ножки.

Наиболее удобны для взятия навесок до 500 г с точностью 0,05—0,1 г технические квадратные электрические весы марок ВТК-500, ВЛК-500 г/10, работающие от сети переменного тока (рис. 25). Это одночашечные весы. Наружная чашка их взвешиваемым предметом уравновешивается встроенным в корпус маятниковым противовесом — квадрантом. Масса взвешиваемого предмета в пределах 100 г устанавливается по показанию подвижной шкалы на правой части светящегося экрана через 10 с после включения весов с помощью тумблера на передней части корпуса. Цена деления подвижной шкалы 0,05 г. Если взвешиваемая масса свыше 100 г, то маятниковый противовес с помощью добавочных разновесов может нагружаться последовательно до 200, 300, 400 и 500 г. Добавочная нагрузка противовеса производится поворотом специальной ручки, расположенной на правой боковой стороне корпуса весов. Каждый поворот этой ручки по часовой стрелке соответствует добавочной нагрузке на маятниковый противовес в 100 г. Общая масса противовеса в 200, 300, 400 и 500 г фиксируется соответственно цифрами 1, 2, 3 и 4 в левой неподвижной части светящегося экрана весов. При добавочной нагрузке в 100 г возможно взвешивание массы в пределах 100—200 г, если добавочная нагрузка равна 200 г, то в пределах 200—300 г и т. д. до 500 г.

Регулировка весов по уровню производится подъемными винтами на ножках, а установка нуля — с помощью специальной ручки.

Регулировочный винт установки нуля позволяет не учитывать небольшую массу лоточка из кальки, применяемого для взятия навесок почвы, растений и других исследуемых веществ при проведении массовых анализов. В этом случае нулевое значение шкалы устанавливается после того как на чашку весов поместят кальку. При взятии определенной навески до 100 г исследуемый материал постепенно сыпают на лоточек из кальки, помещенный на чашку включенных весов, до тех пор, пока стрелка нуля не совпадет с необходимой цифрой, соответствующей массе навески, на подвижной шкале светящегося экрана. После окончательного приведения взвешиваемой массы на чашке в соответствие с необходимым количеством весы выключают, содержимое кальки путем легкого встряхивания полностью высыпают в

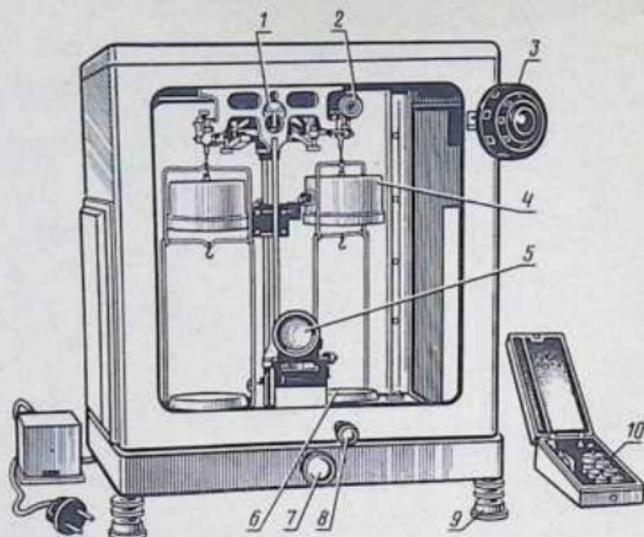


Рис. 26. Весы аналитические ВЛА-200г-М:

1 — коромысло, 2 — миллиграммовые кольцевые гири, 3 — рукоятка для наладывания гири, 4 — демпфер (воздушный успокоитель), 5 — экран оптический шкалы, 6 — грузовая чашка, 7 — рукоятка арретира, 8 — ручка установки нулевой точки, 9 — регулируемые ножки, 10 — граммовый разновес.

соответствующую посуду, а кальку вновь можно использовать для взятия очередной навески. Аналогичным образом берут навески свыше 100 г после наложения дополнительных грузов на маятниковый противовес.

Технохимические весы всех марок устанавливаются на специальных или лабораторных столах. В случае необходимости их можно аккуратно переносить с места на место с обязательной последующей регулировкой по отвесу либо уровню для установки в строго горизонтальном положении.

Весы аналитические (рис. 26) позволяют производить взвешивание с высокой точностью — до десятитысячных долей грамма. Хотя принципиальное устройство технохимических и аналитических весов одинаково, аналитические весы обладают значительно большей чувствительностью. В нерабочем состоянии весы должны быть всегда арретированы (заперты). Аналитические весы монтируются в специальных застекленных шкафчиках (предохраняющих малейшее колебание коромысла от движения воздуха) на подставках из зеркального стекла. Весы устанавливаются строго горизонтально на постоянных специальных столиках, снабженных массивными плитами на песчаных подушках или закрепленных на неподвижных кронштейнах у капитальных стен.

К аналитическим весам прилагается набор гирек и миллиграммовый разновес, изготовленные с высокой точностью. Тысячные и десятитысячные доли грамма при взвешивании на аналитических весах определяют путем создания нагрузки на верхнюю часть коромысла с

помощью «рейтера» — 10-миллиграммовой гирьки, передвигаемой по рейтерной шкале. Каждое крупное деление этой шкалы соответствует третьему, а мелкое — четвертому десятичному знаку грамма.

Для ускорения взвешивания в отдельных типах аналитических весов используются специальные воздушные успокоители — демпферы, миллиграммовые разновесы в виде колец накладывают с помощью системы рычагов путем поворотных устройств, вынесенных на наружную часть витрины весов, а для отсчета миллиграммов и их десятых долей применяется специальная оптическая система со световым экраном.

При взвешивании на технических и тем более на аналитических весах следует строго соблюдать следующие основные правила.

С весами необходимо обращаться очень осторожно, не допуская резких колебаний и толчков. Следует тщательно следить за чистотой весов; если чашки запылились или случайно оказались загрязнены, надо немедленно протереть их мягкой щеточкой или гусиным пером.

Перед взвешиванием следует проверить правильность установки весов по уровню или отвесу, проверить и установить нулевую точку, поместить взвешиваемый предмет слева, а открытый набор разновесов спинцетом — справа от весов. Взвешивание следует производить, сидя строго против весов (но не сбоку).

Помещать сыпучие взвешиваемые вещества непосредственно на чашку весов нельзя. Поэтому необходимо сначала подготовить и взвесить тару: кальку или гляцевую бумагу соответствующего размера при взвешивании на теххимических весах, чистое и сухое часовое стекло, пробирку или специальный стеклянный весовой стаканчик с пришлифованной крышкой (бюкс) — при взвешивании на аналитических весах.

Нельзя помещать на чашку весов нагретые или сильно охлажденные предметы. Для выравнивания температуры взвешиваемого предмета и весов он выдерживается 20—30 мин при комнатной температуре (а при взвешивании на аналитических весах охлаждение горячих предметов проводят в эксикаторах).

Ставить на чашку взвешиваемый предмет и гири, а также снимать их можно только в арретированном — нерабочем состоянии весов. Рукоятка или винт арретира должны поворачиваться плавно до упора по часовой стрелке — при переводе в нерабочее состояние и в обратном направлении — при снятии с арретира. Арретировать весы следует в момент, когда стрелка находится в середине шкалы.

При взвешивании пользуются боковыми дверцами шкафа — сначала на левую чашку весов ставят взвешиваемый предмет, а затем на правую чашку весов — гирьки. Груз и гирьки следует помещать на середину чашек. Гирьки и разновески накладывают только пинцетом последовательно в порядке уменьшения их массы (только в арретированном состоянии весов!). При взвешивании на аналитических весах рейтером или световой шкалой начинают пользоваться только после наложения необходимых разновесок массой 10 мг, обязательно при всех закрытых дверцах шкафа.

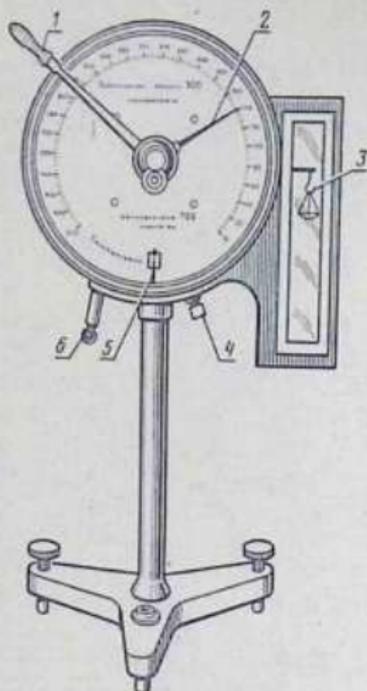


Рис. 27 Торсионные весы:  
 1 — рычаг натяжения, 2 — стрелка, 3 — коромысло с чашечкой, 4 — тарировочный винт, 5 — указатель равновесия, 6 — ручка арретира

По окончании взвешивания весы арретируют, массу взвешиваемого предмета подсчитывают путем суммирования веса использованных гирек и разновесов (а также показаний рейтера или световой шкалы). Проверку веса производят повторно по пустым гнездам в наборе разновесов или при раскладке использованных разновесов в соответствующие гнезда. Результат взвешивания сразу же записывают в журнал.

После полного освобождения чашек весов дверцы шкафа закрывают, проверяют полноту арретирования весов, весы с оптической шкалой отключают от сети.

*Торсионные весы* служат для взятия навесок от 0 до 50, 100 или 500 мг с точностью взвешивания 0,1 или 1 мг (рис. 27). Они устроены на принципе закручивания пружины под действием взвешиваемой массы. Взвешивание на торсионных весах производится очень быстро следующим образом. Весы с помощью регулировочных винтов на ножках устанавливают по уровню. Освобождают коромысло весов поворотом закрепительного рычага (арретира) вправо и

с помощью рычага натяжения стрелку весов устанавливают на нулевое деление. В случае необходимости тарировочным винтом совмещают указатель равновесия с нанесенной на циферблате чертой равновесия.

При закрытом арретире открывают крышку витрины и в чашку на крюке коромысла помещают навеску анализируемого материала. Закрывают крышку витрины, освобождают коромысло и перемещением рычага по кругу натяжения совмещают указатель равновесия с чертой равновесия. Стрелка весов при этом укажет массу взвешиваемого материала.

**Подготовка химической посуды.** Химическая посуда должна быть совершенно чистой. При выборе способа мытья следует учитывать характер загрязнения. Посуду, загрязненную растворимыми веществами, моют теплой водопроводной водой, для удаления механических загрязнений используют ерши и щетки, органические вещества и жирную грязь смывают содовым или мыльным раствором, после чего тщательно моют водопроводной водой, а затем 2—3 раза ополаскивают дистиллированной водой. При сильном жировом загрязнении пользуются специальными растворами: хромовой смесью (смесь двуххромовокислого калия или натрия с концентрированной серной кислотой, 5%-ный раствор в  $H_2SO_4$  плотностью 1,84), растворами

щелочей (20—40%-ной концентрации) и марганцовокислого калия (5%-ный раствор). Загрязненную внутреннюю поверхность посуды общего назначения смачивают этими растворами и оставляют на несколько часов. Мерную посуду, пипетки и бюретки полностью заполняют моющим раствором. Затем моющий раствор сливают (его можно использовать повторно), а обезжиренную посуду хорошо промывают водопроводной, а затем ополаскивают дистиллированной водой.

При употреблении сильных моющих средств необходимо соблюдать правила техники безопасности.

Если на стенках посуды после ополаскивания водой не остается отдельных капель, а вода стекает ровным слоем, то посуду можно считать чистой. Сушат вымытую посуду на колышках специальных сушилок, досок, в сушильных шкафах в опрокинутом положении.

Надписи на химической посуде, не подвергающейся нагреванию в ходе анализа, удобно делать восковым карандашом (поверхность должна быть сухой!). Надписи на бюксах, колбах Кьельдаля и другой посуде можно делать на шлифованных поверхностях простым карандашом, фарфоровые тигли подписывают 5%-ным раствором хлорного железа и для закрепления надписи прокаливают в муфельной печи.

На посуду многократного пользования вместо надписи можно наклеивать или помещать на горлышко колб, склянок, бутылок бумажные этикетки (с указанием номера образца, вида анализа, даты и фамилии аналитика), а при выполнении одного определенного вида анализа достаточно указать номер образца согласно регистрации в лабораторном журнале.

**Приготовление испытуемых растворов.** При количественном анализе определяемые элементы или соединения обычно переводятся в раствор. Испытуемый раствор получают путем полного растворения исследуемого вещества в соответствующих реактивах, если это возможно, либо путем извлечения его из анализируемого материала в различные вытяжки.

В агрохимических исследованиях при анализе растений на содержание органических соединений широко используется метод экстракции — многократная обработка растительного материала соответствующим растворителем до полного извлечения определяемого вещества. Таким способом определяют, например, содержание жира в семенах (для экстракции, производимой в специальных аппаратах, применяют бензин или серный эфир, в которых хорошо растворяются растительные масла), изучают фракционный состав белка (при этом проводится последовательная экстракция водой, солевым раствором, спиртом и щелочами для извлечения отдельных фракций). Количество водорастворимых органических соединений в составе растений (например, сахаров, органических кислот, небелковых соединений азота) определяют в водных вытяжках, а крахмал извлекают из тонкоизмельченного растительного материала горячей водой (избегая, однако, его клейстеризации при нагревании свыше определенного предела).

Содержание минеральных элементов в растениях определяют после

сжигания входящих в их состав органических соединений на огне и в муфельных печах («сухое озоление») или с помощью концентрированных кислот («мокрое озоление»).

При агрохимических анализах почвы в зависимости от цели и метода исследования используются водные, различные солевые и кислотные вытяжки, получаемые обработкой тонко размолотой почвы соответствующим раствором при взбалтывании на специальных встряхивающих устройствах или ротаторах.

Количественный анализ промышленных минеральных удобрений на общее содержание отдельных элементов питания растений проводят после полного перевода их в раствор (азота и калия — в водных растворах, а фосфора — в крепких минеральных кислотах). Для оценки содержания доступных растениям водорастворимых и лимоннорастворимых фосфатов при анализе фосфорных туков используют соответственно водные вытяжки и растворы удобрений в 2%-ной лимонной кислоте или ее аммонийной соли.

Для очистки приготовленных для анализа растворов от механических примесей и отделения раствора от твердой фазы при получении вытяжек из растений, почв и удобрений применяют фильтрование. Разделение твердых и жидких компонентов растворов, вытяжек, суспензий достигается пропусканием их через мелкопористые материалы — фильтры. Прозрачная жидкость, прошедшая через фильтр, называется фильтратом, а твердый остаток на фильтре — осадком.

Для фильтрования в химических лабораториях обычно пользуются гладкими (рис. 28) или складчатыми (рис. 29) бумажными фильтрами различной плотности, помещаемыми в стеклянные воронки. Для сбора фильтрата под воронку помещают соответствующую емкость. Фильтр должен плотно прилегать к стенкам воронки, для чего их предварительно смачивают; при фильтровании растворов, предварительно доведенных до точного объема, пользуются сухим фильтром, тщательно подогнанным по форме и размеру воронки. Бумажные фильтры имеют круглую форму различного диаметра, при помещении в воронку они должны не доходить до ее края по 0,5—1 см. Осадок при фильтровании должен занимать не более половины объема фильтра.

Фильтруемый раствор следует наливать осторожно, по стеклянной палочке, при этом уровень его должен быть на 0,5—1 см ниже верхнего края фильтра.

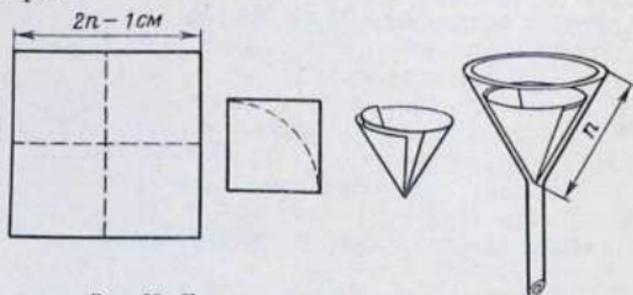


Рис 28 Приготовление простого фильтра

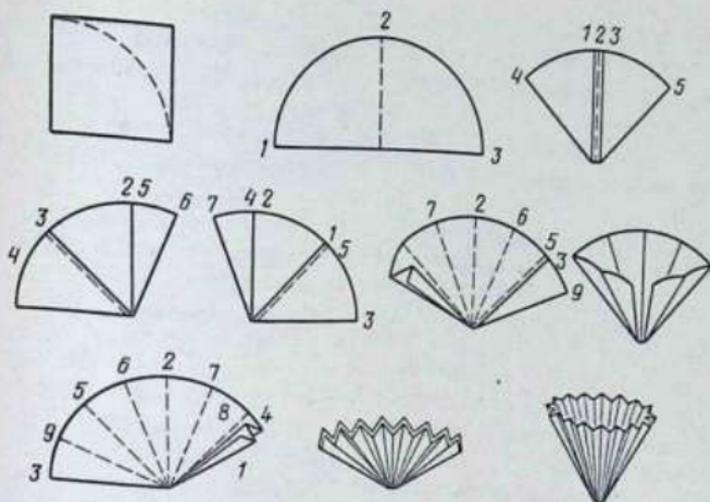


Рис. 29. Изготовление складчатого фильтра.

Водные почвенные вытяжки обычно фильтруют через фильтры высокой плотности (готовые фильтры в пачках с синей лентой), кислотные и солевые — через фильтры средней плотности (пачки с белой лентой), а прозрачные водные растворы реактивов и используемых веществ — через быстрофильтрующие фильтры наименьшей плотности (пачки с красной лентой).

В определенных случаях вместо бумажных фильтров для фильтрования применяют специальные стеклянные или фарфоровые тигли с пористым дном или колонки, заполненные асбестом.

При количественном анализе взятой аналитической навески вещества должен соответствовать строго определенный объем испытуемого раствора независимо от способа его получения. Это достигается доведением объема полученного испытуемого раствора до метки в мерных колбах или использованием строго определенного объема раствора реагента для приготовления вытяжки. Непосредственно для анализа чаще всего берется не весь испытуемый раствор, а его строго определенная часть (аликвота), отбираемая пипетками. В случае необходимости исходный испытуемый раствор может быть разбавлен с использованием мерной посуды в определенное количество раз. Данные о первоначальном объеме испытуемого раствора, проведенных разбавлений и объеме раствора, взятого непосредственно на анализ, сразу же надо записать в лабораторный журнал.

**Приготовление растворов реактивов.** Химические реактивы при качественном и количественном анализе используются в виде водных растворов (приготавливаемых на дистиллированной воде) различной концентрации. В зависимости от точности приготовления и, следовательно, назначения они подразделяются на приблизительные и точные.

Приблизительные растворы используют при каче-

ственном анализе, а также при проведении отдельных работ количественного анализа, когда не требуется очень строгого учета расхода реактива. Концентрация таких растворов выражается в процентах, показывающих, какое количество граммов растворенного вещества содержится в 100 г раствора (массовые или весовые процентные растворы) или в 100 мл раствора (объемные процентные растворы).

При приготовлении массовых (весовых) процентных растворов за 100% принимается суммарная масса в граммах растворителя и растворенного вещества. В массовых процентах обычно выражается концентрация приблизительных растворов кислот, щелочей и аммиака. Приготовление процентных растворов этих реактивов чаще всего производится путем необходимого разбавления дистиллированной водой концентрированных их растворов с уже известной плотностью.

Необходимо помнить, что при разбавлении концентрированных растворов минеральных кислот происходит сильное разогревание раствора и необходимо приливать кислоту в воду, а не наоборот. Мерную колбу на 1 л следует заполнить на  $\frac{2}{3}$  объема водой и только после этого осторожно при перемешивании приливать крепкую кислоту.

Если плотность концентрированных кислот, щелочей или раствора аммиака неизвестна, то ее сначала определяют с помощью ареометров, а затем по таблицам приложения находят концентрацию в процентах.

При приготовлении объемных процентных растворов за 100% принимается весь объем раствора, включая растворенное вещество. Такие растворы обычно готовят из твердых реактивов. Например, для приготовления 5%-ного раствора NaCl необходимо растворить 5 г NaCl в дистиллированной воде и общий объем раствора довести до 100 мл. При использовании солей, содержащих кристаллизационную влагу (например,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — медный купорос), расчет исходной навески для приготовления растворов ведется на безводную соль (т. е.  $\text{CuSO}_4$  в случае медного купороса).

**Точные растворы.** В количественном анализе используются точные, так называемые титрованные, растворы со строго определенным количеством граммов вещества в каждом миллилитре раствора. Концентрация точных растворов может выражаться числом грамм-молекул растворенного вещества на 1 л раствора или 1 кг растворителя (так называемые молярные растворы). При количественном анализе объемным методом широко применяют титрованные растворы, концентрация которых выражается *нормальностью* — числом грамм-эквивалентов растворенного вещества в 1 л раствора.

Нормальность раствора обозначается русской строчной буквой *n* или заглавной латинской буквой *N*. Однонормальный раствор содержит 1 г-экв. вещества в 1 л раствора и обозначается 1,0 *n*. или 1,0 *N*; а растворы, содержащие 0,5; 0,2; 0,1; 0,01 г-экв. вещества в 1 л раствора, обозначаются и называются соответственно как 0,5 *n*. или полунормальные; 0,2 *n*. или двудецинормальные; 0,1 *n*. или децинормальные; 0,01 *n*. или сантинормальные.

Нормальные растворы, следовательно, готовятся на основе

эквивалентной массы веществ, являющейся мерой химического взаимодействия, выраженной в граммах.

**Грамм-эквивалентом** вещества называется количество граммов вещества, вступающее в реакцию или замещающее в реакции один грамм-эквивалент водорода.

Грамм-эквивалент кислоты или щелочи равен грамм-молекулярной массе, деленной на основность (на число ионов водорода в кислоте или число гидроксильных групп в молекуле щелочи). Так, грамм-эквивалент одноосновной кислоты  $\text{HCl}$  и щелочи  $\text{NaOH}$  совпадает с их грамм-молекулярной массой (для  $\text{HCl} = 1,008 + 35,457 = 36,465$  г и  $\text{NaOH} = 22,99 + 16,00 + 1,008 = 39,998$  г). Для двухосновных соединений грамм-эквивалент равен грамм-молекулярной массе, деленной на 2. Например,

$$\begin{aligned} \text{г-экв. H}_2\text{SO}_4 &= \frac{\text{гМ H}_2\text{SO}_4}{2} = \frac{98,082}{2} = 49,041 \text{ г}, \\ \text{а г-экв. Ca(OH)}_2 &= \frac{\text{гМ Ca(OH)}_2}{2} = \frac{74,096}{2} = 37,048 \text{ г}. \end{aligned}$$

Грамм-эквивалент соли рассчитывается путем деления ее грамм-молекулярной массы на произведение числа атомов металла и их валентности. Например,

$$\text{г-экв. AlCl}_3 = \frac{133,351}{1 \cdot 3} = 44,44 \text{ г}, \text{ а г-экв. Al}_2(\text{SO}_4)_3 = \frac{342,158}{2 \cdot 3} = 57,026 \text{ г}$$

Приготовление растворов точной нормальности связано со значительными сложностями и не всегда удается даже при использовании веществ химической чистоты, тщательном взвешивании на аналитических весах и выполнении всех других операций. Приведение фактической концентрации приготовленных титрованных растворов к точно заданной нормальности производится путем установления поправочных коэффициентов, обозначаемых буквой  $K$  или  $T$ .

В химических лабораториях для ускорения и повышения точности аналитических работ используется способ приготовления титрованных растворов необходимой нормальности из фиксаналов. Фиксаналы — это запаянные в стеклянные ампулы точные навески или относительно концентрированные растворы реактивов, необходимые для приготовления наиболее употребительных в объемном количественном анализе нормальных растворов. После тщательного количественного переноса содержимого ампул в мерные колбы емкостью 1 л и доведения водой до метки получают точные титрованные растворы соответствующей нормальности. Приготовленные из фиксаналов нормальные растворы не требуют дополнительной проверки и используются без поправочных коэффициентов. Фиксаналы выпускают в виде наборов по 10 ампул, рассчитанных обычно на приготовление 0,1 н. и 0,01 н. растворов.

При использовании разнообразных инструментальных методов количественного анализа применяются специальные титрованные растворы с точно известным, удобным для проведения последующих расчетов и сравнений содержанием определяемого элемента или вещества (например, 1 или 10 мг в 1 мл раствора). Они используются в качестве эталонов и образцовых растворов.

## Весовой и объемный количественный метод анализа

### Весовой (гравиметрический) метод

В весовом анализе количество определяемого компонента (вещества, соединения или элемента) устанавливается путем точного взвешивания. Масса определяемого компонента может быть найдена:

непосредственным его взвешиванием после удаления всех других веществ из состава анализируемого материала;

по массе остатка после удаления или извлечения определяемого компонента из анализируемого материала;

по массе осадка известного химического состава, образующегося при осаждении определяемого соединения (элемента или иона) из испытуемого раствора в результате химического взаимодействия.

В агрохимических исследованиях используются все эти формы весового анализа.

Так, определение количества золы в растениях, торфе производится путем прямого ее взвешивания после «сухого» сжигания органических веществ и прокаливания остатка. Содержание клетчатки в кормах определяют по массе сухого остатка (за вычетом массы золы) после удаления всех других органических соединений из исходной навески.

Определение влаги в растениях, почвах и удобрениях проводят путем взвешивания материала, высушенного до постоянной массы, т. е. после удаления определяемого вещества — воды. Количество жира в семенах масличных культур определяют по разнице между массой исходной навески и массой остатка после извлечения жира экстракцией органическими растворителями.

Классическая форма весового химического анализа — когда определяемый элемент или ион из раствора переводится в состав осадка точно известного химического состава и устанавливается его масса — применяется при количественном анализе минеральных удобрений.

Фосфор, например, из растворов фосфорных удобрений осаждается щелочной магниезальной смесью в виде магнийаммонийфосфата —  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4$ , который после прокаливания переходит в пиррофосфат магния  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ , с точно известным содержанием фосфора. По массе этого осадка рассчитывают количество фосфора в удобрении.

Калий из растворов калийных удобрений можно осадить кобальтнитритом натрия в форме кобальтнитрита калия и натрия —  $\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ . Сера из растворов сульфата калия или сульфата аммония может быть переведена при взаимодействии с раствором бария в состав осадка сульфата бария  $\text{BaSO}_4$ . Эти реакции лежат в основе существующих весовых методов количественного определения этих элементов в удобрениях.

Важнейшими операциями весового анализа являются: 1) осаждение; 2) фильтрование и отмывание осадка от примесей; 3) высушивание и прокаливание осадка; 4) взвешивание осадка.

Для осаждения определяемого вещества используют специфические или достаточно селективные реактивы (осадители) в значительно большем (обычно в 1,5 раза) количестве, чем требуется по расчету.

Осаждение проводят (в определенной части испытуемого раствора с учетом величины навески анализируемого вещества) в химических стаканчиках, медленно приливая раствор осадителя к испытуемому раствору при перемешивании стеклянной палочкой. Должны строго соблюдаться общие и предусмотренные конкретными указаниями условия осаждения.

В весовом анализе для фильтрования используют так называемые «беззольные» бумажные фильтры необходимой плотности. При сторании «беззольных» фильтров образуется столь незначительное количество золы ( $< 0,0002$  г), что ее массой можно пренебречь.

Поскольку задачей фильтрования на этом этапе анализа является не очистка раствора, а наиболее полное отделение осадка и его отмывка от примеси, используются специальные приемы и соблюдается особая аккуратность. Чтобы поры фильтра не забивались, жидкость быстро фильтровалась, а осадок лучше отмывался от примесей, применяют декантацию — надосадочную жидкость после отстаивания осадка осторожно сливают на фильтр по стеклянной палочке, стараясь не взмучивать осадка. Декантацию проводят 3—4 раза, после чего взмученный с небольшими порциями промывной жидкости осадок количественно (без потерь) переносится на фильтр. Промывание осадка в зависимости от его свойств проводят (дистиллированной водой либо сначала разбавленным раствором осадителя, а затем водой) до тех пор, пока качественная реакция на удаляемый ион в очередной порции фильтра не будет отрицательной.

Фильтр с промытым осадком в воронке подсушивают сначала в сушильном шкафу, а затем переносят из воронки в предварительно прокаленный и взвешенный тигель. Тигель с осадком в фильтре помещают на фарфоровый треугольник и выдерживают над пламенем горелки до полного озоления фильтра, после чего тигель с осадком прокаливают в муфельной печи при необходимой температуре до установления постоянной массы. Перед взвешиванием тигли охлаждают в эксикаторах.

В весовом анализе различают две формы осадка — «осаждаемую» и «весовую». В «осаждаемой» форме осадок находится непосредственно после выпадения из испытуемого раствора при добавлении осадителя. В процессе последующего хода анализа, особенно при прокаливании, состав осадка может изменяться. «Весовой» формой осадка является та, в которой определяется его масса в конце анализа. В «весовой» форме состав осадка должен быть достаточно устойчивым и строго соответствовать определенной химической формуле, согласно которой и рассчитывают результаты анализа.

Очень важно выдерживать предусмотренный методикой режим высушивания и прокаливании осадков.

Многие осадки во избежание необходимой «весовой» формы прокаливать вообще нельзя. В этом случае для фильтрования и промывания осадка пользуются специальными фарфоровыми и стеклянными фильтрующими тиглями с пористым дном. Осадок отделяется и промывается в тигле путем фильтрования при разрежении.

Масса осадка определяется по разнице между высушенным или прокаленным до постоянной массы тиглем с осадком и пустым тиглем.

Располагая данными о точной массе осадка и химическом составе осадка в «весовой» форме, можно рассчитать содержание определяемого вещества или элемента в анализируемом материале.

Например, при уже упоминавшемся выше весовом определении количества фосфора в фосфорных удобрениях устанавливается масса осадка пирофосфата магния  $Mg_2P_2O_7$ . Содержание действующего вещества в фосфорных удобрениях исчисляется в расчете на пятиокись фосфора  $P_2O_5$ . Количество фосфора в составе пирофосфата магния исходя из его химической формулы в расчете на  $P_2O_5$  составляет 63,79%. Процентное содержание  $P_2O_5$  в удобрении вычисляют по формуле:

$$\% P_2O_5 \text{ в удобрении} = \frac{a \cdot 0,6379 \cdot 100}{n},$$

где  $a$  — масса  $Mg_2P_2O_7$ , г;  $n$  — навеска удобрения, отвечающая взятому для осаждения фосфора объему вытяжки, г; 0,6379 — коэффициент для пересчета с  $Mg_2P_2O_7$  в  $P_2O_5$ .

#### Объемный метод

Объемный метод количественного анализа основан на измерении объема раствора реактива точно известной концентрации (т. е. титрованного раствора), затраченного в химической реакции с определяемым веществом. В объемном анализе очень важно определить момент окончания химического взаимодействия между реактивом и исследуемым веществом, называемый точкой эквивалентности. Поэтому в объемном количественном анализе используют необратимые реакции, имеющие хорошо заметное окончание (например, изменение окраски самих реагирующих веществ), или применяют индикаторы. В качестве индикаторов служат вещества, предварительно вводимые в анализируемый раствор в небольших количествах, которые изменяют свою окраску в момент окончания реакции, т. е. при достижении точки эквивалентности.

При объемном анализе пользуются приемом титрования — когда титрованный раствор реактива добавляют из бюретки сначала небольшими порциями, а затем по каплям при постоянном перемешивании к анализируемому раствору с индикатором до установления точки эквивалентности.

Расход реактива на реакцию ( $m$  в граммах) определяется по формуле  $m = V \cdot T$ , где  $V$  — миллилитры реактива, затраченного на титрование;  $T$  — титр (см. стр. 294). Количество определяемого вещества (элемента) в анализируемом растворе может быть рассчитано по уравнению химической реакции.

При объемном анализе удобнее пользоваться титрованными растворами, приготовленными на основе грамм-эквивалентной массы вещества, т. е. нормальными растворами. Их преимущество перед другими видами титрованных растворов заключается в том, что

растворы реактивов одинаковой нормальности реагируют между собой в равных объемах. Например, на титрование 25 мл 0,1 н. щелочи пойдет 25 мл раствора кислоты той же нормальности, так как в 1 мл любого 0,1 н. раствора всегда содержится 0,1 м.-экв. вещества, а все химические вещества реагируют в эквивалентных количествах. Когда в реакцию вступают растворы неодинаковой нормальности, то их концентрации будут обратно пропорциональны прореагировавшим объемам.

На титрование определенного объема раствора большей концентрации пойдет во столько раз больший объем раствора меньшей концентрации, во сколько раз нормальность последнего меньше нормальности взятого для титрования раствора. Например, на титрование 25 мл 0,1 н. раствора щелочи будет израсходован в 2 раза больший объем 0,05 н. раствора кислоты, т. е. 50 мл.

Если объем и нормальность двух реагирующих растворов обозначить соответственно через  $V_0$  и  $N_0$ ,  $V_1$  и  $N_1$ , то

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{N_1}{N_0} \text{ или } V_1 \cdot N_1 = V_0 \cdot N_0.$$

Если же  $V_1$  — объем раствора реактива известной нормальности  $N_1$ , пошедший на титрование определенного объема  $V_0$  испытуемого раствора, то нормальность последнего  $N_0$  будет:

$$N_0 = \frac{V_1 \cdot N_1}{V_0}$$

Произведение объема раствора, затраченного на титрование, на его нормальность является величиной постоянной для обоих прореагировавших растворов. Именно на этой зависимости построены все расчеты в объемном анализе при использовании для титрования раствора реактива известной нормальности.

Содержание определяемого вещества в процентах от массы анализируемого материала ( $x$ ) может быть определено по формуле:

$$x = \frac{V_1 \cdot N_1 \cdot \mathcal{E}_0 \cdot 100}{1000 \cdot n}$$

где  $V_1$  — объем раствора реактива, пошедшего на титрование определенного объема испытуемого раствора, мл;  $N_1$  — нормальность раствора реактива, в случае необходимости приведенная к заданной путем умножения на поправку к титру « $K$ »;  $\mathcal{E}_0$  — грамм-эквивалент определяемого вещества;  $n$  — навеска анализируемого материала, соответствующая взятому на титрование объему раствора или вытяжки.

Входящие в состав формулы  $\frac{N_1 \cdot \mathcal{E}_0}{1000}$  есть не что иное, как «титр раствора реактива на определяемое вещество» —  $T_0$ . Он показывает, какому количеству определяемого вещества в граммах соответствует 1 мл раствора реактива известной нормальности, пошедшего на титрование.

Например, для связывания аммиака при определении азота в растениях используется 0,1 н. раствор кислоты. Нужно найти, какому количеству граммов азота будет соответствовать 1 мл кислоты такой

нормальности. Эквивалентная масса азота 14, поэтому

$$T_0 = \frac{0,1 \cdot 14}{1000} = 0,0014 \text{ г азота.}$$

При использовании титра на определяемое вещество и введении поправки к титру  $x = \frac{V_1 \cdot K \cdot T \cdot 100}{n}$

В ряде агрохимических анализов почвы конечный результат выражается в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы и тогда

$$x = \frac{V_1 \cdot K \cdot N_1 \cdot 100}{n},$$

где  $N_1$  — нормальность раствора реактива, пошедшего на титрование.

В зависимости от типа химической реакции, положенной в основу объемного анализа, различают несколько его методов.

Метод нейтрализации основан на взаимодействии кислот и щелочей. В этих реакциях нейтрализации ионы  $H^+$ , входящие в состав кислот, реагируют с ионами  $OH^-$  щелочей с образованием воды, а анион кислоты с катионом щелочи образуют соли. Например:  $HCl + KOH = KCl + H_2O$ ;  $H_2SO_4 + 2NaOH = Na_2SO_4 + H_2O$ .

Для определения количества щелочей (а также солей, показывающих резко щелочную реакцию при гидролизе) пользуются титрованными растворами кислот (чаще всего  $H_2SO_4$  и  $HCl$ ), а для определения количества минеральных и органических кислот — титрованными растворами щелочей (обычно  $NaOH$  и  $KOH$ ).

При образовании нейтральных солей в реакциях нейтрализации точка эквивалентности совпадает с нейтральным значением реакции среды (рН 7,0). Если же образуются гидролитически кислые или щелочные соли, то титрование необходимо заканчивать при значениях рН, соответствующих реакции раствора образующейся соли. Поэтому индикатор для определения окончания реакции следует выбирать в зависимости от свойств титруемых кислот и щелочей, а также их концентрации.

Каждый индикатор изменяет свою окраску не при строго определенном значении рН, а имеет так называемую область перехода окраски в довольно широком диапазоне рН. Заканчивают титрование в присутствии индикаторов при появлении необходимой окраски, не исчезающей в течение 1 мин. Это происходит при определенном для каждого индикатора значении рН, лежащем внутри области перехода окраски, являющемся показателем титрования для данного индикатора (табл. 81).

81. Наиболее употребительные индикаторы

Индикатор	Область перехода окраски (рН)	Изменение окраски	Показатель титрования (рН)
Метилоранж	3,1—4,4	Розовая — желтая	4,0
Метилрот	4,4—6,1	Красная — желтая	5,5
Лакмус	5,0—8,0	Красная — синяя	7,0
Фенолфталеин	8,0—10,0	Бесцветная — красная	8,0

Метод нейтрализации широко используется в агрохимических исследованиях при количественном анализе почв, растений и удобрений. Этот метод, в частности, используется при определении содержания азота по методу Кьельдаля, когда азот анализируемых объектов сначала переводится в аммонийную форму, а затем отгоняемый с паром в щелочной среде аммиак улавливается титрованным раствором кислоты определенной нормальности. Количество азота в растворе оценивается по объему титрованного раствора кислоты, пошедшему на связывание аммиака.

Метод окисления — восстановления (оксидометрия). В основе этого метода лежат окислительно-восстановительные реакции, при которых изменяется валентность (степень окисления) участвующих в них элементов. Потеря электронов одним атомом в таких реакциях всегда сопровождается присоединением этих электронов к другим атомам. Атом, теряющий электроны (или соединение, в состав которого он входит), является восстановителем и в ходе реакции окисляется, а атом, приобретающий электроны, является окислителем, и сам при этом восстанавливается. Следовательно, когда атомы теряют электроны, происходит процесс окисления, а когда атомы приобретают электроны, идет процесс восстановления.

Оксидометрический метод объемного анализа, в свою очередь, подразделяется в зависимости от вида применяемых реактивов. Если в качестве реактива используются титрованные растворы марганцовокислого калия ( $KMnO_4$ ), являющегося сильным окислителем, то метод называется перманганатометрическим. Окончание реакции при этом устанавливается по изменению окраски самого реагента (пока в титруемом растворе будет оставаться окисляемое вещество, прибавляемый  $KMnO_4$  будет обесцвечиваться, при появлении избытка  $KMnO_4$  раствор сразу же приобретет красно-фиолетовую окраску).

Метод объемного анализа, в котором окислителем служит  $I_2$  (готовится титрованный раствор иода в иодистом калии), называется иодометрическим. Специфическим индикатором на появление и исчезновение  $I_2$  является крахмал, дающий с  $I_2$  синее окрашивание.

Соответственно методы, в которых используются титрованные растворы  $K_2Cr_2O_7$  и  $KBrO_3$ , называются хроматометрическим и броматометрическим.

Комплексометрический метод основан на образовании устойчивых комплексов при взаимодействии ряда ионов с органическими комплексообразующими веществами, а для установления точки эквивалентности в процессе титрования используют специальные металл-индикаторы. Такой метод применяется в агрохимических лабораториях для определения  $Ca$  и  $Mg$  в растениях, почве и орошаемых водах. Титрование проводят обычно 0,1 н. раствором трилона Б — двуназатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты и присутствии индикаторов мурексида и эриохрома (или хромогена) черного.

Метод осаждения. При этом методе в результате взаимодействия с титрованным раствором реактива определяемый ион

осаждается в виде труднорастворимого соединения. Момент полного осаждения и, следовательно, окончания титрования устанавливается введением индикаторов на избыток реактива. Например, количество  $\text{Cl}^-$  определяют титрованием раствором  $\text{AgNO}_3$  в присутствии  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . После полного осаждения хлора в виде  $\text{AgCl}$  добавление даже небольшого избытка  $\text{AgNO}_3$  приводит к образованию осадка  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  кирпично-красного цвета.

## Инструментальные методы количественного анализа

### Колориметрический метод

Колориметрический анализ основан на сравнении окраски испытуемых растворов (получаемых в результате реакций, сопровождающихся изменением окраски или образованием окрашенных продуктов) с окраской образцовых растворов с точно известной концентрацией определяемого вещества.

Ослабление интенсивности светового потока при пропускании его через окрашенный раствор зависит от оптических свойств и концентрации вещества, а также толщины окрашенного слоя.

Отношение интенсивности светового потока, прошедшего через раствор ( $I_1$ ), к интенсивности падающего светового потока ( $I_0$ ) называется светопропусканием и обозначается  $T$ :

$$T = \frac{I_1}{I_0}$$

Логарифм величины, обратной светопропусканию, называется оптической плотностью (светопоглощением или экстинкцией) и обозначается  $E$ :

$$E = \lg \frac{1}{T} = \lg \frac{I_0}{I_1}$$

Согласно закону Бугера — Ламберта — Беера, оптическая плотность раствора пропорциональна произведению коэффициента поглощения ( $\epsilon$ ), зависящего от свойств вещества, на концентрацию ( $C$ ) и толщину ( $d$ ) окрашенного слоя раствора:

$$E = \epsilon \lg \frac{I_0}{I_1} = \epsilon \cdot C \cdot d,$$

где  $E$  — оптическая плотность сантиметрового слоя окрашенного раствора одномолярной концентрации, или так называемый молярный коэффициент поглощения.

Если два окрашенных раствора одного вещества имеют одинаковую оптическую плотность, то произведения концентраций этих растворов на толщину окрашенного слоя будут равны, т. е. если  $E_1 = E_2$ , то  $E_1 \cdot C_1 \cdot d_1 = E_1 \cdot C_2 \cdot d_2$  или  $C_1 \cdot d_1 = C_2 \cdot d_2$ .

Это позволяет на основании определения толщины слоя двух растворов с равной оптической плотностью найти концентрацию одного раствора, если известна концентрация другого:

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot d_1}{d_2}$$

На этом принципе основано определение концентрации испытуемого раствора при сравнении его с образцовыми растворами в колориметрах Дюбоска.

Если измерение оптической плотности растворов одного вещества известной ( $C_1$ ) и неизвестной ( $C_2$ ) концентрации проводится при одинаковой толщине окрашенного слоя (в одной кювете или в кюветах одинакового размера), то произведение коэффициента поглощения на толщину слоя будет величиной постоянной. Отсюда, если  $E_1$  и  $E_2$  соответственно оптические плотности образцового и испытуемого растворов, то  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{C_1}{C_2}$  или  $C_2 = \frac{C_1 \cdot E_2}{E_1}$ .

На этом соотношении основано фотометрическое определение концентрации окрашенного вещества по оптической плотности растворов с помощью электрофотоколориметров.

Поскольку оптическая плотность окрашенного раствора прямо пропорциональна его концентрации, эта зависимость для образцовых растворов известной концентрации может быть выражена графическим способом, а концентрация испытуемого раствора — найдена по графику по значению его оптической плотности.

В колориметре Дюбоска (рис. 30) световой поток пропускается через специальные стаканчики-кюветы (с образцовым и испытуемым раствором), толщина окрашенного слоя раствора в которых регулируется с помощью оптических цилиндрических погружателей. Толщину слоя образцового раствора выбирают произвольную (но вполне определенную по имеющейся шкале) и путем изменения толщины слоя испытуемого раствора добиваются установления одинаковой освещенности поля в окуляре прибора, что соответствует равной оптической плотности образцового и испытуемого растворов.

Техника работы на колориметре Дюбоска следующая.

1. Колориметр устанавливают зеркалами против источника света и с их помощью добиваются установления равной освещенности левой и правой частей экрана в окуляре.

2. Левый стаканчик примерно на  $\frac{3}{4}$  объема заполняют образцовым, а правый — испытуемым раствором и вставляют в соответствующие гнезда прибора.

3. С помощью левого винта оптический погружатель опускают в образцовый раствор, устанавливают определенную толщину слоя (20, 30 или 40 мм) образцового раствора.

4. С помощью правого винта опускают правый оптический погружатель в исследуе-

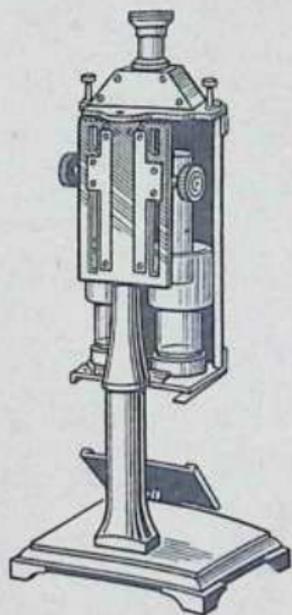


Рис. 30. Колориметр Дюбоска

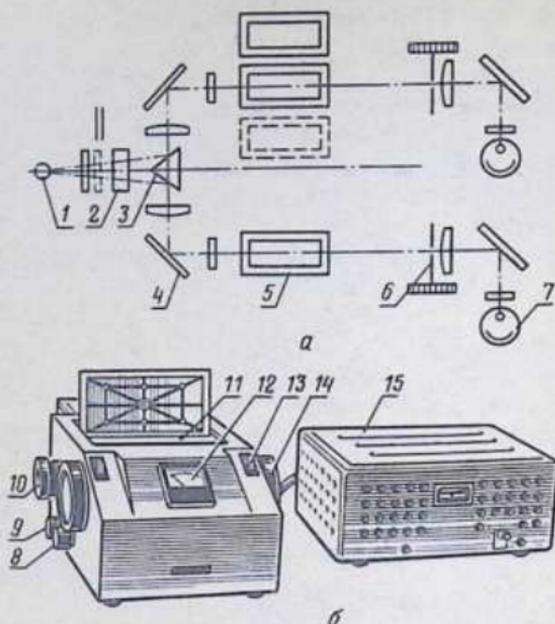


Рис. 31. Схема (а) и общий вид (б) фотоэлектроколориметра ФЭК-56М:

1 — источник света, 2 — светофильтр, 3 — призма, 4 — зеркало, 5 — кювета, 6 — диафрагма, 7 — фотоэлемент, 8 — рукоятка установки чувствительности, 9 — рукоятка установки «электрического нуля», 10 — переключатель светофильтров, 11 — кюветная камера, 12 — микроамперметр, 13 — шкала оптической плотности, 14 — отсчетный барабан, 15 — блок питания (стабилизатор).

мый раствор и наблюдают окраску полей зрения через окуляр прибора. Вращением правого винта добиваются положения, при котором обе половины поля будут иметь равную освещенность. По шкале прибора с помощью нониуса (с точностью до 0,1 мм) определяют толщину слоя, через который проходил свет в стаканчике, и записывают значение высоты окрашенного столба в левой и правой кювете в журнал.

Произвольно сдвинув винт правой шкалы, производят повторное выравнивание окраски полей зрения в окуляре и устанавливают вновь толщину слоя. Еще раз проводят измерения, после чего из трех полученных данных выводят среднюю.

Расчет концентрации исследуемого раствора производится по формуле, приведенной на странице 302.

Перед началом и после окончания работы на приборе стаканчики нужно промыть и затем сполоснуть дистиллированной водой, а оптическую систему осторожно протереть сухой фильтровальной бумагой или мягкой тканью.

*Электрофотокolorиметры* служат для непосредственного измерения оптической плотности растворов. Их схема (рис. 31) построена на принципе выравнивания интенсивности двух световых потоков, прошедших через кюветы с раствором и окрашенным раствором, с помощью измерительной щелевой диафрагмы. Световой поток,

прошедший через кюветы, попадает на фотозлементы, а разность возникающих фотопотоков регистрируется гальванометром. При равенстве световых потоков и, следовательно, фототоков стрелка гальванометра устанавливается на нуле.

Питание фотозлектроколориметра от сети осуществляется через стабилизатор. Световой поток от нити лампы накаливания через систему линз-концентраторов, теплозащитных стекол и зеркал проходит через светофильтры. У ФЭК-М четыре парных светофильтра, устанавливаемых с помощью рукоятки 2: желтый, зеленый, синий и красный. Светофильтр подбирают таким образом, чтобы максимум его пропускания совпадал с максимумом светопоглощения окрашенного раствора. Для защиты фотозлементов во время кратких перерывов между измерениями в приборе имеется специальная шторка.

Стеклокюветы с растворами устанавливают на пути прохождения световых пучков, во вращающиеся держатели, которые имеют гнезда на три кюветы и фиксируются соответственно в трех положениях. Рабочая длина кювет в наборах от 1 до 50 мм. Кюветы с малой рабочей длиной используются для темноокрашенных, а с большой — для слабоокрашенных растворов. Для измерения используются кюветы с равной длиной, при которых оптическая плотность окрашенного раствора не более 0,8.

Щелевая диафрагма, изменяющая интенсивность правого светового потока, связана с правым и левым отсчетными барабанами на одной оси. Красным цветом на барабанах нанесена шкала оптической плотности (экстинкции), а черным — коэффициент светопропускания (в %). На левом барабане шкала светопропускания равномерная — от 0 при полном закрытии диафрагмы до 100% при максимальном ее открытии. На правом барабане 100%-ное светопропускание соответствует минимальному, а 30%-ное — максимальному раскрытию диафрагмы. Шкала оптической плотности на левом барабане имеет пределы от 0,00 до 2,00, а правом — от 0,00 до 0,52. Точность отсчета при величине оптической плотности от 0,15 до 0,52 выше на правом барабане. Поэтому при экстинкции до 0,5 работают с правым, а выше 0,5 — с левым отсчетным барабаном.

Для ослабления падающего на левый фотозлемент светового потока служат фотометрические нейтральные круговые клинья, не связанные с отсчетными барабанами. Круговые клинья приводятся во вращение специальными рукоятками — соответственно для грубой и точной настройки.

Измерение проводится только при закрытой откидывающейся верхней крышке прибора.

После включения в сеть прибор прогревается 15—20 мин, затем с помощью рукоятки корректора стрелку гальванометра устанавливают на нуль. Переключатель гальванометра имеет три положения: 0 — гальванометр включен, 1 и 2 — включение соответственно на малую и высокую чувствительность.

При работе на фотозлектроколориметре с использованием правого барабана его устанавливают на нуль по шкале оптической

плотности и в оба световых пучка с необходимыми светофильтрами сначала помещают одинаковой толщины кюветы с растворителем. Включают гальванометр сначала в положение 1, а затем 2 и с помощью клиньев грубой и точной настройки устанавливают стрелку на нуле, после чего гальванометр отключают.

В правый пучок света помещают кювету с окрашенным раствором и затем снова при малой и высокой чувствительности гальванометра устанавливают его стрелку на нуле, но уже путем вращения барабана, связанного с диафрагмой. Отсчет оптической плотности раствора по красной шкале правого барабана повторяют три раза, подводя стрелку гальванометра к нулю то справа, то слева. Результаты записывают в рабочую тетрадь и выводят среднее значение.

При работе на левом барабане его устанавливают на нулевое деление красной шкалы, в левый пучок света помещают кювету с растворителем, а в правый — с окрашенным раствором. Вращением клиньев грубой и точной настройки устанавливают стрелку гальванометра на нуле (сначала при малой, а затем высокой чувствительности) и выключают гальванометр.

В правый пучок света помещают кювету с растворителем и, включив гальванометр сначала в положение малой, а затем высокой чувствительности, вращением барабана вновь устанавливают равенство фототоков (т. е. нулевое положение стрелки гальванометра). Значение оптической плотности окрашенного раствора берется по красной шкале левого барабана после выключения гальванометра.

После окончания измерений гальванометр прибора арретируют, прибор отключают от сети. Кюветы промывают и вытирают насухо фильтровальной бумагой или мягкой тканью.

Калибровочный график строится по результатам определения оптической плотности нескольких (не менее 4—5) окрашенных образцовых растворов известной концентрации. По оси абсцисс откладывают значения концентраций вещества, а по оси ординат — соответствующие им показатели оптической плотности (рис. 32). Пользуясь полученным графиком, по значению оптической плотности окрашенного испытуемого раствора находят его концентрацию.

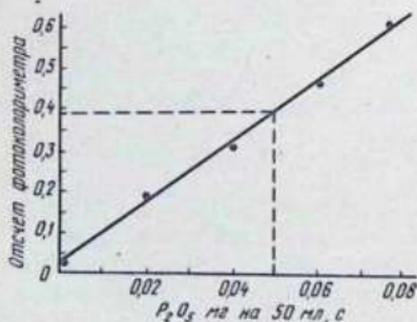


Рис. 32. Калибровочный график для фотометрического определения фосфора.

В агрохимических лабораториях используются фотоэлектроколориметры (и нефелометры) различных марок. Фотометрический метод широко применяется при количественном определении минеральных и органических соединений азота, фосфора в растениях, почвах и удобрениях.

Для массовых определений удобно пользоваться более производительными фотоколориметрами с проточной кюветой (при смене

окрашенных растворов кювета не вынимается, а жидкость из нее сливается и кювета споласкивается несколькими порциями следующего раствора через клапан с ножным управлением).

#### Пламенно-фотометрический метод

Пламенная фотометрия — один из методов эмиссионного спектрального анализа, основанный на измерении с помощью фотоэлемента интенсивности излучения, возникающего при возбуждении атомов в пламени. В относительно низкотемпературном пламени (при сгорании пропан-бутановой смеси 1800°C, ацетилена 2300°C) может возникать излучение элементов с невысокой энергией возбуждения, таких, как Na, K, Ca, Li, Mg. Анализируемый раствор с помощью сжатого воздуха вводится в пламя горелки в виде аэрозоля. Наиболее характерная линия спектра излучения определяемого элемента выделяется из общего спектра пламени с помощью интерференционных светофильтров и направляется на фотоэлемент. Сила возникающего фототока пропорциональна концентрации определяемого элемента и измеряется гальванометром.

Концентрация определяемого элемента в испытуемом растворе устанавливается по показанию прибора путем сравнения с данными силы фототока при введении в пламя стандартных растворов с известной концентрацией. Для построения калибровочного графика готовят серию образцовых растворов с возрастающими концентрациями определяемого элемента в интервале измеряемых концентраций испытуемых растворов.

Измерение образцовых и испытуемых растворов должно проводиться в одинаковом режиме работы прибора.

Шкала прибора может быть предварительно отградуирована непосредственно на измеряемую величину (например, на содержание определяемого элемента в расчете на 100 г почвы).

Конструкция различных марок пламенных фотометров, используемых в агрохимических лабораториях, может различаться, но все они имеют следующие основные узлы.

1. Блок питания, включающий стабилизатор напряжения.
2. Воздушный компрессор.
3. Система подачи газовой смеси от сети или баллонов (с редуктором). Рабочее давление для пропан-бутана 15—80 мм, ацетилен — 100—180 мм водного столба.
4. Распылитель, состоящий из всасывающего устройства, камеры распыления и камеры смешения.
5. Узел горелки с регуляторами пламени.
6. Оптическая система с интерференционным светофильтром на определяемые элементы с максимумом светопропускания для K — 766, Na — 589, Li — 671 и Ca — 620 нм ( $10^{-9}$  м).
7. Фотоэлемент с усилителем фототока.
8. Микроамперметр с регулятором чувствительности.

На рисунке 33 приведены схема и общий вид пламенного фотометра ФПЛ-1.

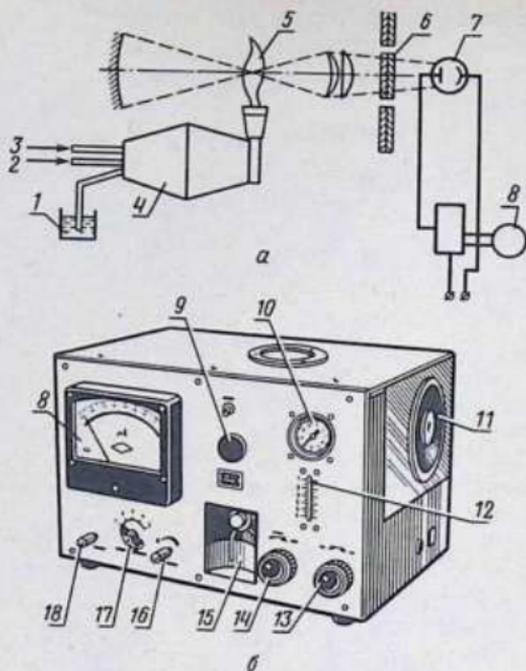


Рис. 33. Схема (а) и общий вид (б) пламенного фотометра ФПЛ-1:

1 — исследуемый раствор; 2 — подача газа; 3 — подача воздуха; 4 — смеситель; 5 — пламя газовой горелки; 6 — светофильтр; 7 — фотоэлемент; 8 — микроамперметр; 9 — смотровое окошко для наблюдения за пламенем; 10 — манометр воздуха; 11 — переключатель светофильтра; 12 — манометр газа; 13 — вентиль газа; 14 — вентиль воздуха; 15 — окошко для подачи анализируемого раствора; 16 — ручка переключателя чувствительности; 17 — переключатель диапазонов; 18 — ручка установки нуля

К работе на пламенном фотометре допускаются лица, прошедшие специальное обучение и имеющие допуск к работе с газовыми баллонами.

Подробное описание метода пламенной фотометрии и техники работы на приборах наиболее распространенных марок содержится в специальных руководствах.

#### Потенциометрический метод

Потенциометрический метод основан на измерении потенциала электродов, чувствительных к изменению концентрации (точнее, активности) определенных ионов в растворе. Существуют электроды, обладающие достаточно высокой чувствительностью и селективностью по отношению к ионам водорода, натрия, калия, кальция и нитрат-иону.

Для измерения потенциала этих электродов они соединяются с электродами сравнения (потенциал которых постоянен и заранее известен). Возникающая разность потенциалов или электродвижущая

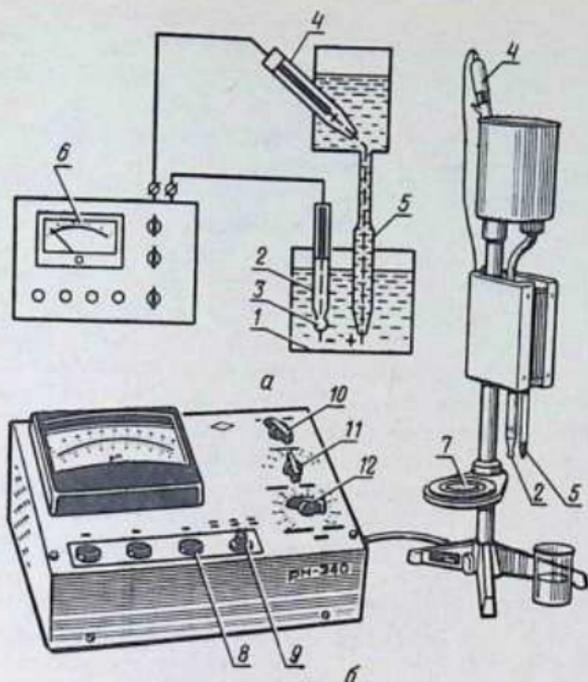


Рис 34 Схема (а) и общий вид (б) рН-метра рН-340:

1 — исследуемый раствор; 2 — стеклянный электрод; 3 — шарообразное расширение из стекла, избирательно чувствительного к ионам водорода; 4 — электрод сравнения; 5 — электролитический ключ; 6 — рН-метр; 7 — стойки для установки стаканчика с исследуемым раствором; 8 — выключатель сети; 9 — переключатель размаха шкалы; 10 — переключатель рода работ; 11 — переключатель пределов измерения; 12 — переключатель термокомпенсатора

сила (ЭДС) в полученной гальванической цепи усиливается и определяется компенсационным методом путем сравнения с точно известной ЭДС другого источника постоянного тока.

В качестве измерительных электродов чаще всего применяют чувствительные к отдельным ионам стеклянные электроды. В них металлический электрод находится внутри заполненного буферным раствором шарика из специального стекла.

Как электроды сравнения используются насыщенный каломельный (ртуть в контакте с насыщенным раствором хлористого калия и каломели —  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ) и насыщенный хлор-серебряный (металлическое серебро с покрытием из хлористого серебра, погруженное в насыщенный раствор хлоридов калия и серебра) электроды.

Потенциометры, служащие для измерения активности водородных ионов (рН), называются рН-метрами. Они широко используются в агрохимических исследованиях для определения рН водной и солевой вытяжки из почвы, гидролитической кислотности с потенциометрическим окончанием. Потенциометрический метод применяется для установления точки эквивалентности при титровании, в том числе в автоматическом режиме.

В агрохимических лабораториях используются рН-метры различных марок, обеспечивающие точность измерения не менее  $+0,1$  рН. В зональных агрохимлабораториях применяются десятипозиционные рН-метры.

Измерение рН растворов или суспензий на приборе «рН-340» (рис. 34) проводят следующим образом.

1. Включают вилку прибора в сеть и тумблер включения на панели прибора, прогревают рН-метр 20—30 минут.

2. Переключатель «род работ» устанавливают в положение «рН», переключатель «температура раствора» — против деления с цифрой, соответствующей предварительно измеренной температуре раствора в стаканчике.

3. Переключатель «размах» устанавливают в положение «15 рН».

4. Вместо стаканчика с водой, в которую погружены электроды прибора в нерабочем состоянии, под электроды помещают стаканчик, примерно наполовину наполненный измеряемым раствором или суспензией. Для смены стаканчика его приподнимают, отводят платформу столика вбок и убирают стаканчик. Новый стаканчик с раствором помещают под электроды, поднимают, подводят под него платформу столика.

5. После установления стрелки прибора в постоянном положении (примерно через 1 мин) снимают показание рН по нижней шкале, имеющей интервал от  $-1$  до 14 единиц рН.

6. Переключатель «размах» устанавливают в положение «3 рН», а переключатель «предел измерения» — в положение 1—2, 2—5, 5—8, 8—11 или 11—14, в зависимости от результата измерения раствора по нижней шкале.

7. После установления стрелки прибора снимают показание рН по верхней шкале, растянутой на диапазон 3 рН в соответствующем интервале.

8. Стаканчик с раствором или суспензией убирают, электроды (над пустым стаканчиком) промывают, пользуясь промывалкой, дистиллированной водой и приступают к измерению рН следующего раствора. Если определение рН проводят в том же стаканчике, его споласкивают порцией следующего используемого раствора или суспензии.

9. После окончания измерений прибор на панели выключают и отсоединяют вилку от сети. Электроды промывают дистиллятом и помещают в стаканчик, наполненный наполовину дистиллированной водой.

Перед работой рН-метр проверяют и настраивают по буферным растворам с рН 4,0; 6,9; 9,2.

#### Контрольные вопросы

1. Какие реакции используются в качественном анализе и с какой целью используются качественный анализ в агрохимии?

2. Перечислите основные цели использования количественного анализа растений, почв и удобрений в агрохимии.

3. В чем заключается подготовка образцов к химическому анализу? Что такое средняя, лабораторная и аналитическая проба анализируемого материала?

4. Как устроены теххимические, технические квадрантные и аналитические весы?

Перечислите основные правила при взвешивании на технических и аналитических весах.

5. Как приготавливаются испытуемые растворы и растворы реактивов при проведении количественного анализа?

6. В чем заключается весовой метод количественного анализа? Перечислите основные операции весового анализа.

7. На чем основан объемный количественный анализ? Как рассчитать количество определяемого вещества (элемента) в испытуемом материале по результатам титрования? Перечислите методы объемного анализа по типу химических реакций, положенных в основу метода. С какой целью применяются индикаторы?

8. В чем заключается принцип определения концентрации испытуемых окрашенных растворов на колориметре Дюбоска? Определение оптической плотности окрашенных растворов на фотозлектроколориметре.

9. В чем суть пламенно-фотометрического метода? Перечислите основные узлы пламенного фотометра и укажите их назначение. Как производится построение калибровочных графиков при фотометрическом анализе?

10. На чем основан потенциометрический метод анализа? Как производится проверка, установка рН-метра и измерение рН испытуемого раствора или суспензии?

#### ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

**Практические занятия по теме «Методы агрохимических исследований»** (они включают знакомство с методикой и техникой проведения полевых опытов для учета хозяйственной эффективности удобрений, другими биологическими методами, знакомство с содержанием и организацией работ зональных агрохимических лабораторий, методикой полевого агрохимического обследования почв, современным высокопроизводительным оборудованием для поточного анализа агрохимических объектов) проводятся в соответствии с действующей программой предмета во время учебной практики.

Теоретические представления о методах качественного, весового и объемного количественного анализа, техника выполнения аналитических операций и инструментальных измерений изучаются при проведении соответствующих работ лабораторного практикума.

В период летней практики учащиеся знакомятся с методами растительной — визуальной и химической — диагностики корневого питания сельскохозяйственных культур в полевых условиях.

#### Химическая диагностика питания растений (экспресс-метод В. В. Церлинг)

Растения поглощают элементы питания в виде ионов минеральных солей из почвенного раствора и обменно-поглощенного почвой состояния.

Поступивший в растения нитратный азот ( $\text{NO}_3^-$ ) восстанавливается до  $\text{NH}_4^+$  уже в корневой системе, а аммонийный азот быстро используется на синтез органических азотистых соединений. Значительные количества нитратов обнаруживаются в надземных органах растений обычно лишь при повышенном уровне снабжения азотом. Поглощенный корнями фосфор (в виде  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) также интенсивно включается в состав органических соединений и накапливается в тканях растений в минеральной форме только при обильном питании. Концентрация других минеральных ионов в растительных тканях ( $\text{K}^+$ ,

Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> и др.) также отражает степень обеспеченности растений соответствующими элементами питания.

Следует указать, что повышенное содержание минеральных соединений отдельных элементов в растениях может наблюдаться и при ограничении синтеза органических веществ вследствие недостатка других элементов питания, прочих неблагоприятных условиях для роста и развития растений (недостаточная освещенность, низкие температуры и т. д.), поражении их болезнями и вредителями.

Содержание элементов питания в отдельных органах растений сильно различается, поэтому для диагностики питания сельскохозяйственных культур на основе химического анализа их тканей, сока или срезов используются вполне определенные — так называемые «индикаторные» — органы растений или их части в строго установленные периоды вегетации или фенофазы.

Использование экспресс-методов химической диагностики питания растений (по анализу сока или срезов тканей растений на содержание неорганических соединений элементов питания) позволяет оперативно оценить уровень обеспеченности сельскохозяйственных культур питательными веществами и принять возможные меры для устранения их недостатка. Важное практическое значение методы растительной диагностики имеют в овощеводстве, особенно в защищенном грунте (где имеется возможность корректировки питания культур в течение вегетации проведением подкормок соответствующими видами удобрений) и в плодоводстве (для корректировки системы удобрения многолетних культур в последующие годы).

**Принцип метода.** Определение содержания в соке растений нитратов, минерального фосфора и калия основано на использовании цветных реакций. Ионы NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> и K<sup>+</sup> дают с определенными реактивами окрашенные растворы или осадки. Полученная окраска среза сравнивается с имеющейся шкалой цветных пятен, и содержание минеральных соединений азота, фосфора и калия оценивается по системе баллов или выражается в процентах на сырую массу растений. Для приготовления срезов берут индикаторные органы растений в определенные фазы их развития. Оптимальный уровень содержания минеральных соединений азота, фосфора и калия в индикаторных органах установлен В. В. Церлинг в многочисленных исследованиях различных полевых, овощных и плодовых культур. Отбор растительных проб для анализа проводится согласно специальной инструкции, прилагаемой к прибору, аналогично отбору средней пробы для химического анализа растений в полевых опытах.

**Ход работы.** Сначала необходимо ознакомиться с прибором В. В. Церлинг, включающим все необходимые материалы, реактивы и оборудование для анализа. Химические реакции проводят на тонких поперечных срезах индикаторных органов растений (стеблей, черешков листьев, краев листовых пластинок), приготавливаемых с помощью бритвы или ручного микротомы (приспособления для получения срезов равной толщины).

**О п р е д е л е н и е н и т р а т о в.** На предметное матовое стекло

помещают срезы растений и наносят на них по одной капле 1%-ного раствора дифениламина (в крепкой серной кислоте). Интенсивность развивающейся синей окраски среза сравнивают со шкалой цветных пятен. Если нитратов очень мало, то сначала бесцветный срез постепенно приобретает коричневый и черный цвет.

**О п р е д е л е н и е ф о с ф о р а.** На предметное стекло помещают кружки фильтровальной бумаги и наносят на них 1—2 капли раствора молибдата аммония. В центр образовавшегося пятна помещают срез растения и придавливают его стеклянным пестиком. Срез отодвигают, а на пятно сока на фильтровальной бумаге наносят одну каплю раствора бензидина и одну каплю водного раствора уксуснокислого натрия. Интенсивность быстро развивающейся синей окраски сравнивают со шкалой цветных пятен.

**О п р е д е л е н и е к а л и я.** На предметное стекло помещают кружок фильтровальной бумаги, а на него — срезы индикаторных органов. С помощью стеклянного пестика выдавливают сок из каждого среза, а затем сдвигают их в сторону. На выжатый срез и на пятно сока на фильтровальной бумаге наносят по одной капле дипикриламиновой магнезии и по одной капле соляной кислоты. Полученную окраску пятна на бумаге и среза сравнивают со шкалой цветных пятен. Образующийся при наличии калия нерастворимый в HCl дипикрилат калия имеет красно-желтую окраску.

**Оценка результатов анализа.** При оценке содержания нитратов, минерального фосфора и калия по шкале В. В. Церлинг в 3—4 балла растения обычно имеют среднюю нуждаемость в соответствующих

82. Оптимальное содержание нитратов, минеральных фосфатов и калия (в баллах шкалы В. В. Церлинг) на срезах растений

Культура	Фаза развития	Индикаторный орган	Нитраты	Фосфаты	Калий
Огурцы	4 листа	Край нижнего листа	3—4	3—4	3
	Начало цветения	Черешок среднего листа	6	4,5	4,5
	Начало плодоношения	Черешок среднего листа	5—6	4	3,5
Капуста	До завязывания кочана	Главная жилка и черешок взрослых листьев	6	3,5	4
	Образование кочана		4	3	3,5—4
Картофель	6—7 листьев	Край пластинки нижних листьев	4—4,5	2,5	3
	Бутонизация, начало цветения	Черешки средних и верхних листьев	6	4	5
	Начало образования клубней	Черешки средних листьев	5—6	2—2,5	4—5

элементах питания; при оценке в 0—2 балла нуждаемость сильная, а в 4—6 баллов — слабая либо полностью отсутствует. С возрастом растений уровень средней нуждаемости, как и оптимальной обеспеченности, может изменяться и соответствовать другому баллу (табл. 82).

Результаты химической диагностики питания всеми тремя основными элементами должны сопоставляться с показателями роста и развития растений, трактоваться с учетом внешних и внутренних факторов, среди которых важное место занимают свойства почвы, погодные условия и агротехника.

Форма записи результатов анализа в журнале

Культура	Условия выращивания (хозяйство, номер поля, почва или вариант полевого опыта)	Содержание в баллах по В. В. Церлинг			Степень нуждаемости растений в		
		нитратов	фосфора	калия	азоте	фосфоре	калии

**Материалы и оборудование.** Свежие растения, выращенные при различных условиях минерального питания. Прибор В. В. Церлинг (ОП-2, Церлинг), в комплект которого входят растворы всех необходимых реактивов для анализа в капельницах и сухие запасные реактивы, предметные стекла, стеклянный пестик, бритва, фильтровальная бумага, микро-

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

**1. Коэффициенты пересчета количества минеральных удобрений на условные стандартные туки**

Удобрения	Содержание основного питательного вещества, %	Коэффициент пересчета в условные туки
<b>Азотные удобрения</b>	20,5	
Сульфат аммония	20,5	1,00
Аммиачная селитра	34,9	1,70
Натриевая селитра	15,6	0,76
Кальциевая селитра	16,6	0,81
Мочевина	46,0	2,20
Хлористый аммоний	26,0	1,27
Сульфат аммония-натрия	18,0	0,88
Аммиачная вода	20,5	1,00
Нитрофоска	11,0	0,54
Нитрофос	25,0	1,22
Аммофос из фосфоритной муки	10,7	0,52
Аммофос из апатитового концентрата	12,9	0,63
Аммонизированный суперфосфат	1,7	0,08
<b>Фосфорные удобрения</b>	18,7	
Суперфосфат простой порошковидный	18,7	1,00
Суперфосфат простой гранулированный	19,5	1,04
Суперфосфат простой из фосфоритной муки	14,0	0,75
Суперфосфат гранулированный из фосфоритной муки	14,4	0,77
Суперфосфат двойной	45,8	2,45
Аммонизированный суперфосфат	14,0	0,75
Аммофос из фосфоритной муки	47,0	2,51
Аммофос из апатитового концентрата	50,8	2,72
Обесфторенный фосфат	32,0	1,71
Нитрофоска	11,0	0,59
Нитрофос	10,4	0,56
Фосфатшлак	12,0	0,64
<b>Калийные удобрения</b>	41,6	
Хлористый калий	60,0	1,44
40%-ная калийная соль	40,0	0,96
Хлористый калий-электролит	41,6	1,00
Сульфат калия	52,0	1,25
Каннит	10,0	0,24
Сильвинит	13,9	0,33
Калимагнезия	28,0—30,0	0,67—0,72
Калимаг	18,0	0,43

## 2. Масса 1 м³ и объем 1 т различных удобрений

Удобрение	Масса 1 м³, т	Объем 1 т, м³
Суперфосфат простой	1,1	0,9
Фосфоритная мука	1,7	0,6
Преципитат	0,8	1,2
Томашлак	2,0	0,5
Термофосфат	1,7	0,6
Сульфат аммония	0,8	1,2
Аммиачная селитра	0,8	1,2
Натриевая селитра	1,1—1,4	0,7—0,9
Сернокислый калий	1,3	0,8
Хлористый калий	0,95	1,1
Навоз коровий свежий	0,4—0,7	1,4
» коровий и конский перепревший	0,9—1,0	1,0
» полуразложившийся	0,7—0,8	—
Навозная жижа	1,0	1,0
Торф разложившийся, при 60% влаги	0,6	1,6
Зола древесная	0,4	2,5
Помет птичий	0,3	3,3
Известь молотая	1,7	0,6
Гипс	0,75	1,3

## 3. Процентное содержание едкого натра при различной плотности растворов

Плотность при 20°C	%	Граммов в 1 л	Плотность при 20°C	%	Граммов в 1 л
1,0095	1	10,10	1,2411	22	273,0
1,0207	2	20,41	1,2629	24	303,1
1,0318	3	30,95	1,2848	26	334,0
1,0428	4	41,71	1,3064	28	365,8
1,0538	5	52,69	1,3279	30	398,4
1,0648	6	63,89	1,3490	32	431,7
1,0758	7	75,31	1,3696	34	465,7
1,0869	8	86,95	1,3900	36	500,4
1,0979	9	98,81	1,4101	38	535,8
1,1089	10	110,9	1,4300	40	572,0
1,1309	12	135,7	1,4494	42	608,7
1,1530	14	161,4	1,4685	44	646,1
1,1751	16	188,0	1,4875	46	684,2
1,1972	18	215,5	1,5065	48	723,1
1,2191	20	243,8	1,5253	50	762,7

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Предмет и методы агрохимии	3
Краткие сведения из истории развития агрохимии	5
Значение удобрений, развитие их производства и применения в СССР	8
Агрохимическая служба	12
<b>Глава I. Химический состав и питание растений</b>	<b>15</b>
Химический состав растений и качество урожая	15
Роль отдельных элементов в жизни растений. Вынос питательных веществ с урожаем сельскохозяйственных культур	24
Питание растений	33
Воздушное питание	33
Корневое питание	34
Влияние условий внешней среды на поглощение питательных веществ растением	41
Роль микроорганизмов в питании растений	43
Отношение растений к условиям питания в разные периоды роста	44
<i>Лабораторно-практические занятия</i>	48
<b>Глава II. Агрохимические свойства почвы</b>	<b>60</b>
Состав почвы	60
Поглотительная способность почвы	69
Кислотность и буферность почвы	75
Агрохимическая характеристика основных типов почв СССР	78
<i>Лабораторно-практические занятия</i>	83
<b>Глава III. Химическая мелiorация почв</b>	<b>91</b>
Известкование кислых почв	91
Отношение различных растений к реакции почвы и известкованию	91
Взаимодействие извести с почвой. Влияние ее на свойства почвы	94
Эффективность известкования	95
Известковые удобрения	97
Определение нуждемости почв в известковании и нормы извести	98
Сроки и способы внесения извести	101
Гипсование солонцов	103
<i>Лабораторно-практические занятия</i>	106
<b>Глава IV. Минеральные удобрения</b>	<b>111</b>
Азотные удобрения	111
Значение азота для растений, содержание и превращение его в почве	111
	111
	317

Круговорот азота в земледелии . . . . .	116
Нитратные удобрения . . . . .	119
Аммиачные удобрения . . . . .	120
Твердые аммонийные удобрения . . . . .	121
Жидкие азотные удобрения . . . . .	123
Аммиачно-нитратные удобрения . . . . .	124
Мочевина . . . . .	126
Использование азота удобрений растениями и его превращение в почве . . . . .	127
Фосфорные удобрения . . . . .	129
Значение фосфора для растений, содержание и формы его в почве . . . . .	129
<b>И.</b> Суперфосфат . . . . .	133
Преципитат, томасшлак, термофосфаты, обесфторенный фосфат . . . . .	136
Фосфоритная мука . . . . .	138
Калийные удобрения . . . . .	141
Значение калия для растений и содержание его в почве . . . . .	141
Сырые калийные соли . . . . .	144
Концентрированные калийные удобрения . . . . .	145
Отходы промышленности . . . . .	146
Применение калийных удобрений . . . . .	147
Микроудобрения . . . . .	149
Борные удобрения . . . . .	150
Молибденовые удобрения . . . . .	151
Медные удобрения . . . . .	153
Марганцевые удобрения . . . . .	154
Цинковые удобрения . . . . .	155
Комплексные удобрения . . . . .	157
Сложные удобрения . . . . .	159
Сложно-смешанные, или комбинированные, удобрения . . . . .	159
Смешанные удобрения . . . . .	163
Хранение, транспортировка и внесение минеральных удобрений . . . . .	166
Техника безопасности и охрана труда при работе с минеральными удобрениями . . . . .	170
<i>Лабораторно-практические занятия . . . . .</i>	<i>172</i>
<b>Глава V. Органические удобрения . . . . .</b>	<b>180</b>
Навоз . . . . .	180
Состав подстилочного навоза . . . . .	181
Хранение подстилочного навоза . . . . .	184
Действие навоза на почву и растения . . . . .	188
Эффективность навоза и особенности его применения в различных почвенно-климатических условиях . . . . .	190
Бесподстилочный (жидкий) навоз . . . . .	192
Навозная жижа . . . . .	197
Птичий помет . . . . .	198
Торф . . . . .	199
Типы торфа и их агрохимическая характеристика . . . . .	199
Заготовка торфа на удобрение . . . . .	200
Торфяные компосты . . . . .	201
Применение удобрений на осушенных торфяниках . . . . .	203
Зеленое удобрение . . . . .	204
<i>Лабораторно-практические занятия . . . . .</i>	<i>207</i>

Глава VI. Система удобрения	211
Основные принципы построения системы удобрения	211
Климатические условия и применение удобрений	212
Свойства почвы и применение удобрений	213
Агротехнические условия и применение удобрений	214
Значение особенностей питания отдельных культур и характера севооборота при разработке системы удобрения	215
Сочетание применения навоза и минеральных удобрений	217
Планирование применения и установление норм минеральных удобрений	218
Способы внесения удобрений	228
Удобрение важнейших сельскохозяйственных культур и размещение удобрений в севообороте	231
Удобрение озимой пшеницы и озимой ржи	231
Удобрение яровой пшеницы, ячменя и овса	235
Удобрение кукурузы	237
Удобрение зерновых бобовых культур	239
Удобрение многолетних трав	241
Удобрение льна-долгунца	242
Удобрение картофеля	245
Удобрение сахарной свеклы	249
Удобрение хлопчатника	252
Удобрение лугов и пастбищ	255
Лабораторно-практические занятия	260
Глава VII. Методы агрохимических исследований	265
Биологические методы	266
Полевой опыт	266
Виды полевого опыта	266
Основные методические требования при проведении полевого опыта	267
Выбор и подготовка участка, размещение на нем полевого опыта	268
Схемы полевых опытов с удобрениями	271
Программа полевого опыта	273
Производственные опыты и учет действия удобрений в хозяйственных условиях	274
Лизиметрический метод	275
Вегетационный метод	276
Лабораторные методы	280
Методы качественного и количественного анализа в агрохимии	280
Общие приемы количественного анализа	284
Весовой и объемный количественный метод анализа	296
Весовой (гравиметрический) метод	296
Объемный метод	298
Инструментальные методы количественного анализа	302
Колориметрический метод	302
Пламенно-фотометрический метод	307
Потенциометрический метод	308
Лабораторно-практические занятия	311
Приложения	315

Петр Михайлович Смирнов

Эрист Аркадьевич Муравин

### АГРОХИМИЯ

Редактор *Ю. Г. Чельикин*

Художник *М. И. Гозенпут*

Художественный редактор *Н. Ф. Шлезингер*

Технический редактор *Н. В. Суржева*

Корректоры *М. И. Бытеев, М. В. Черниковская*

**ИБ № 2156**

Сдано в набор 27.05.80. Подписано к печати 21.11.80. Т-19840. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага тип. № 2. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 20+2 шл. вкл. Уч.-изд. л. 23,17. Изд. № 140. Тираж 75 000 экз. Заказ 500.  
Цена 85 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос»,  
107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государствен-  
ном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.  
150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

