

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Пермская государственная сельскохозяйственная академия
имени академика Д.Н. Прянишникова»

Л.А. Михайлова

АГРОХИМИЯ

Часть 1

Удобрения: виды, свойства, химический состав

Курс лекций

*Пермь
ИПЦ «Прокростъ»
2015*

УДК 631.8
ББК 40.4
М 69

Рецензенты:

С.Л. Елисеев, заведующий кафедрой растениеводства Пермской государственной сельскохозяйственной академии, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

А.И. Косолапова, заведующая отделом земледелия и агрохимии ГНУ Пермского НИИИСХ Россельхозакадемии, доктор сельскохозяйственных наук;

Э.Д. Акманаев, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства Пермской государственной сельскохозяйственной академии;

Т.В. Соромотина, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры плодовоовощеводства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции Пермской государственной сельскохозяйственной академии.

М 69 Михайлова Л.А.

Агрохимия: курс лекций. В 3 ч. Ч 1. Удобрения: виды, свойства, химический состав / Л.А. Михайлова; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образоват. учреждение высшего. образов. «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2015. – 426 с.

ISBN 978-5-94279-283-1

ISBN 978-5-94279-284-8

Часть 1. Удобрения: виды, свойства, химический состав.

Часть 2. Научные основы применения удобрений под основные полевые культуры.

Часть 3. Научные основы применения удобрений под основные садовые культуры.

В пособии освещены вопросы питания, ассортимент минеральных и органических удобрений. Рассмотрены факторы, влияющие на эффективность удобрений.

Цель пособия – облегчить освоение вопросов, связанных с питанием растений и рациональным применением удобрений.

Главная задача пособия – ознакомить студентов с ассортиментом органических и минеральных удобрений, особенностями их применения.

Курс лекций предназначен для студентов, аспирантов по направлениям «Агрономия», «Садоводство» «Агрохимия и агропочвоведение».

При написании курса лекций использовано учебное пособие: «Эколого-агрохимические основы применения удобрений в Среднем Предуралье».

**УДК 631.8
ББК 40.4**

Печатается по решению методической комиссии факультета почвоведения, агрохимии, экологии и товароведения.

ISBN 978-5-94279-283-1

ISBN 978-5-94279-284-8

© Михайлова Л.А., 2015

© ИПЦ «Прокрость», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
I. ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ И ПРИЁМЫ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	7
Лекция 1. Агрохимия - научная основа интенсификации земледелия.....	7
Предмет, объекты, методы и задачи агрохимии.....	7
Понятие химизации земледелия.....	12
Классификация, состояние и перспективы применения минеральных удобрений в Российской Федерации.....	15
Эффективность применения удобрений в различных зонах РФ.....	22
Лекция 2. Основы питания растений в связи с применением удобрений.....	24
Химический состав растений. Содержание и роль макро- и микроэлементов в питании растений.....	24
Современные представления о поступлении питательных элементов в растения.....	32
Влияние условий выращивания сельскохозяйственных культур на поступление элементов питания.....	39
Биологический и хозяйственный вынос питательных веществ сельскохозяйственными культурами, понятие о круговороте и балансе веществ в земледелии.....	53
Требования растений к условиям питания в различные периоды их роста. Динамика потребления питательных веществ в онтогенезе.....	59
Способы внесения удобрений. Создание оптимальных условий питания растений посредством использования различных способов внесения удобрений.....	63
Диагностика минерального питания растений.....	64
II. АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ПИТАНИЕМ И ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ. ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ.....	68
Лекция 1. Состав почвы.....	68
Состав почвы. Минеральная и органическая части почвы как источник элементов питания растений.....	68
Виды поглотительной способности почвы, их роль во взаимодействии почвы с удобрениями и в питании растений.....	81
Буферность почвы.....	93
Агрохимическое обследование и оценка актуального плодородия почв.....	95
Лекция 2. Химическая мелиорация почв.....	100
Понятие, значение химической мелиорации почв.....	100
Виды почвенной кислотности, их значение при применении удобрений.....	102
Отношение различных сельскохозяйственных культур к кислотности почв и известкованию.....	105
Действие известкования на развитие сельскохозяйственных культур и свойства почвы.....	108
Известковые удобрения.....	114
Установление степени нуждаемости почв в известковании и расчёт доз извести.....	119
Способы и сроки внесения известковых удобрений в почву.....	129
Место внесения извести в севооборотах. Особенности известкования в различных севооборотах.....	131
Эффективность известкования почв.....	133

Гипсование солонцовых почв.....	138
Технологические схемы применения мелиорантов.....	143
III. МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ.....	145
Лекция 1. Азот в почвах, растениях, удобрениях.....	145
Агрохимические и физиологические основы применения азотных удобрений.....	145
Ассортимент и классификация азотных удобрений, состав, свойства, применение.....	167
Пути повышения эффективности азотных удобрений.....	184
Лекция 2. Фосфор в почвах, растениях, удобрениях.....	187
Агрохимические и физиологические основы применения фосфорных удобрений.....	187
Получение, состав и свойства, превращение в почве и особенности применения фосфорных удобрений.....	196
Условия эффективного применения фосфоритной муки	206
Пути повышения эффективности фосфорных удобрений.....	211
Лекция 3. Калийные удобрения.....	216
Содержание и роль калия в растениях.....	216
Калий в почвах.....	221
Калийные удобрения.....	227
Эффективность калийных удобрений.....	233
Лекция 4. Магниевые удобрения.....	236
Содержание и роль магния в растениях.....	236
Содержание магния в почвах	238
Магниевые удобрения и их применение.....	239
Лекция 5. Микроэлементы в растениях, почвах и применение микроудобрений.....	247
Роль и содержание бора в растениях, почвах и применение борных микроудобрений.....	249
Роль и содержание молибдена в растениях, почвах и применение молибденовых микроудобрений.....	258
Роль и содержание кобальта в растениях, почвах и применение кобальтовых микроудобрений.....	268
Роль и содержание меди в растениях, почвах и применение медных микроудобрений	274
Роль и содержание цинка в растениях, почвах и применение цинковых микроудобрений	282
Роль и содержание марганца в растениях, почвах и применение марганцевых микроудобрений.....	289
Лекция 6. Комплексные удобрения, состав, свойства, условия эффективного применения.....	296
Понятие о комплексных удобрениях. Факторы, обуславливающие необходимость их применения.....	296
Классификация комплексных удобрений.....	297
Характеристика комплексных удобрений.....	300
IV. ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ.....	318
Лекция 1. Подстилочный навоз.....	318
Понятие об органических удобрениях, их роль.....	318

Подстилочный навоз, его состав и свойства в зависимости от вида животных и условий их содержания.....	322
Основные способы хранения подстилочного навоза.....	329
Время внесения и глубина заделки навоза в почву.....	336
Эффективность навоза и особенности его применения в различных почвенно-климатических условиях.....	340
Лекция 2. Бесподстилочный навоз, навозная жижа, птичий помёт, торф, их состав, свойства, применение.....	344
Состав и выход бесподстилочного навоза.....	344
Хранение бесподстилочного навоза.....	347
Применение бесподстилочного навоза.....	349
Навозная жижа.....	357
Птичий помёт.....	361
Торф, состав и свойства.....	365
Компосты на основе торфа, способы их приготовления и применение.....	372
Дозы, сроки, способы эффективного применения торфа, торфяных компостов.....	382
Лекция 3. Зелёное и другие виды органических удобрений.....	387
Характеристика основных сидератов.....	387
Условия, определяющие эффективность зелёного удобрения.....	394
Солома зерновых злаковых культур.....	396
Сапропель.....	402
Древесные отходы в качестве удобрения.....	403
Биогумус.....	405
Гуматы	411
Предметный указатель.....	413
Словарь терминов и персоналий (глоссарий).....	415
Использованная литература.....	424
Список рекомендуемой литературы.....	426

ВВЕДЕНИЕ

Одно из важнейших мест в системе агротехнических мероприятий, обеспечивающих получение стабильных урожаев сельскохозяйственных культур и повышение плодородия почв, принадлежит применению органических и минеральных удобрений. Органические и минеральные удобрения представляют сильное средство воздействия на почву (её химические, физические и биологические свойства) и растения – их питание, рост и развитие, устойчивость к неблагоприятным условиям, урожай и его качество. В совокупности органические и минеральные удобрения, пестициды составляют основу химизации земледелия.

Разнообразие почв, большинство из которых имеют низкий уровень естественного плодородия, предполагает необходимость разработки систем земледелия, в максимальной степени учитывающих почвенно-экологические условия конкретного региона, то есть отвечающих требованиям адаптивного земледелия. Ключевым звеном этой системы является сбалансированное применение удобрений, базирующееся на знании закономерностей действия всего комплекса почвенно-агрохимических, агроэкологических и агротехнических факторов, определяющих уровень корневого питания и продуктивность растений.

Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами контролирует многочисленные процессы обмена веществ и играет ключевую роль в формировании урожая и его качества. К настоящему времени накоплен значительный практический опыт, свидетельствующий о реальной возможности целенаправленного регулирования условий минерального питания растений для получения продукции заданного количества и качественного состава.

I. ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ И ПРИЁМЫ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Лекция 1. Агрохимия – основа химизации земледелия

- Предмет, объекты, методы и задачи агрохимии.
- Понятие химизации земледелия.
- Состояние и перспективы применения минеральных удобрений в Российской Федерации. Эффективность применения удобрений в различных зонах РФ.

Предмет, объекты, методы и задачи агрохимии

Агрохимия – это наука, изучающая взаимоотношение между растением, почвой и удобрениями в процессе минерального питания сельскохозяйственных культур. Агрохимия – наука биологическая и сельскохозяйственная. Центральное место занимают три проблемы: питание растений, плодородие почвы и применение удобрений.

Цель агрохимии – создание оптимальных условий питания растений. Изучение питания сельскохозяйственных растений всегда было одной из важнейших задач агрохимии. Она исследует также обмен веществ в растениях в связи с условиями питания, которые определяют не только величину, но и качество урожая. Изучение этих вопросов связывает агрохимию с физиологией и биохимией растений.

Агрохимия тесно взаимодействует с земледелием, растениеводством и агроэкологией в достижении общих целей – обеспечении устойчивого производства качественной сельскохозяйственной продукции, рациональном использовании природного биоэнергетического потенциала агроэкосистем, сохранении и воспроизводстве основного природного ресурса аграрного сектора – почвенного плодородия, исключении

или минимизации негативного воздействия средств химизации на окружающую среду. С этих позиций агроном с высоким уровнем агрохимической подготовки является важнейшим участником решения всего комплекса экологических проблем, возникающих при использовании органических, минеральных удобрений, химических мелиорантов почв и других средств химизации сельского хозяйства.

Основным объектом исследования в агрохимии является растение. При изучении питания растений и разработке способов его регулирования с помощью удобрений необходимо учитывать также особенности биологии и технологии возделывания отдельных культур. Здесь прослеживается связь агрохимии с растениеводством, овощеводством.

Второй объект исследования агрохимии – почва. Изучение содержания питательных веществ в почве, их доступности растениям, разнообразных процессов превращений удобрений, их действия на свойства и плодородие почвы – важный раздел агрохимии. По этому направлению исследований агрохимия связана с почвоведением и почвенной микробиологией, земледелием.

Третьим объектом исследований в агрохимии – удобрения и средства химической мелиорации почв. Изучая их состав, свойства и эффективность, агрохимия связана не только с сельскохозяйственным производством, но и с химической промышленностью, так как в задачу агрохимии входит обоснование потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях и оптимального их ассортимента, а также оценка новых видов и форм выпускаемых удобрений.

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

Диалектическую систему связей, которые изучает агрохимия, Д.Н. Прянишников изобразил в виде треугольника, три вершины которого обозначают растение, почву и удобрение, а двойные стрелки – взаимное влияние каждого из этих объектов на остальные (рис. 1). З.И. Журбицким был введён четвёртый фактор – климат (рис 2).

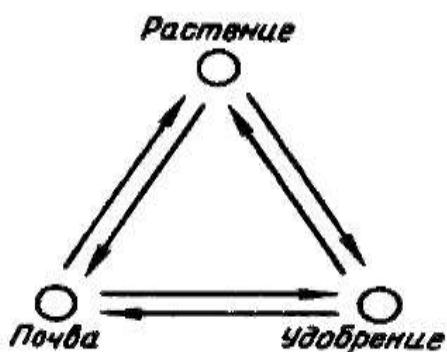


Рис. 1.
Схема взаимодействия объектов,
изучаемых агрохимией
(треугольник Д.Н. Прянишникова)



Рис. 2.
Схема взаимодействия объектов,
изучаемых агрохимией, с учётом
климата

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

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.

Лабораторные методы агрохимического анализа растений, почв и удобрений. Включают химические, биохимические и микробиологические методы, а также метод изотопных индикаторов (стабильные и радиоактивные изотопы). Ведущая роль среди лабораторных методов принадлежит химическому анализу агрономических объектов.

Агрохимический анализ растений проводят в целях:

- оценки качества урожая сельскохозяйственных культур, сертификации продукции растениеводства и кормов;
- оценки изменений химического состава, питательной, кормовой и технологической ценности растениеводческой продукции в зависимости от условий выращивания, в том числе применения удобрений;
- определения величины выноса элементов питания с урожаем и динамики их потребления в течение вегетации;
- диагностики обеспеченности элементами питания растений и определения потребности в удобрениях;
- изучения использования культурами питательных элементов из удобрений.

Агрохимический анализ почв позволяет:

- оценить обеспеченность растений элементами питания и потребность в удобрениях;
- осуществить мониторинг плодородия и сертификацию почв земельных участков и грунтов;
- изучить изменение агрохимических, агрофизических и биологических свойств почвы при применении удобрений и мелиорантов;
- выявлять изменения содержания питательных веществ в почве и их доступность растениям в зависимости от приемов возделывания и применения удобрений;
- изучать взаимодействие удобрений с почвой.

Агрохимический анализ удобрений даёт возможность:

- оценить качество местных органических удобрений и его изменение в зависимости от условий накопления, хранения и применения;
- определить содержание действующего вещества в минеральных удобрениях и мелиорирующих материалах для проверки их соответствия установленным стандартам и требованиям;
- установить агроэкологическую безопасность органических удобрений;
- производить сертификацию минеральных удобрений.

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

В агрохимических исследованиях широко используют математические методы для оценки точности опытов и достоверности полученных результатов, выявления зависимости между удобрениями и урожаем, моделирования процессов поглощения растениями, превращения в почве и потерь питательных веществ из почвы и удобрений, прогнозирования изменений почвенного плодородия и потребности в удобрениях, для энергетической и экономической оценки применения удобрений с использованием современной вычислительной техники.

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

По определению Д.Н. Прянишникова, главная задача агрохимии состоит в изучении круговорота питательных веществ в земледелии и выявлении тех мер воздействия на химические процессы, протекающие в почве и растениях, которые могут изменять урожай и качество сельскохозяйственной продукции. В задачи агрохимии также входит:

1. Создание новых форм удобрений, их экономическая оценка;
2. Создание малотоннажной агрохимии по производству микроудобрений;
3. Повышение эффективности химизации за счёт:
 - совершенствования диагностики минерального питания;
 - разработки принципов определения потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях;
 - разработки надёжных методов прогнозирования эффективности удобрений;
 - совершенствования методов определения доступных питательных веществ в почве и научно-обоснованных градаций обеспеченности почв элементами питания;
4. Установление предельно допустимых концентраций содержания макро- и микроэлементов в почвах и растениях;
5. Совершенствование методов диагностики минерального питания растений;
6. Изучение баланса питательных веществ в земледелии;
7. Разработка мероприятий по воспроизводству плодородия почв;
8. Формирование количества и качества продукции.

Понятие химизации земледелия

Химизация – широкое применение удобрительных средств. В настоящее время на основе новых экономических отношений развивается производственная инфраструктура химизации земледелия, разрабатываются и внедряются при-

емы наиболее эффективного и экологически безопасного применения органических и минеральных удобрений, химической мелиорации и других средств химизации.

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

Вся история развития мирового сельского хозяйства свидетельствует о том, что применение минеральных удобрений является решающим фактором интенсификации земледелия и обеспечения продовольствием постоянно растущего населения нашей планеты. Число землян возрастает ежедневно на 250 тыс. человек. Это равноценно появлению в течение года новой страны с населением почти 100 млн., которое необходимо накормить. После 1970 г. для увеличения численности землян на 1 млрд. требовалось одно десятилетие, и к 2020 г., по имеющимся прогнозам, население Земли возрастет до 8,3 млрд. человек.

В странах Западной Европы до конца XVIII в. урожайность пшеницы составляла 0,7-0,8 т/га и увеличилась за последующее столетие за счёт введения плодосмена и клеверо-

сеяния вдвое – до 1,6-1,7 т/га. В первой половине XX в. урожайность поднялась до 2,5-3,0 т/га прежде всего благодаря росту применения удобрений, а во второй половине века – до 4,0-6,0 т/га благодаря использованию новых сортов и комплекса средств химизации – удобрений и пестицидов (рис. 3). Возросла также продуктивность других продовольственных и технических культур: картофеля – до 40-45 т/га, сахарной свеклы – 50-60 т/га [3].

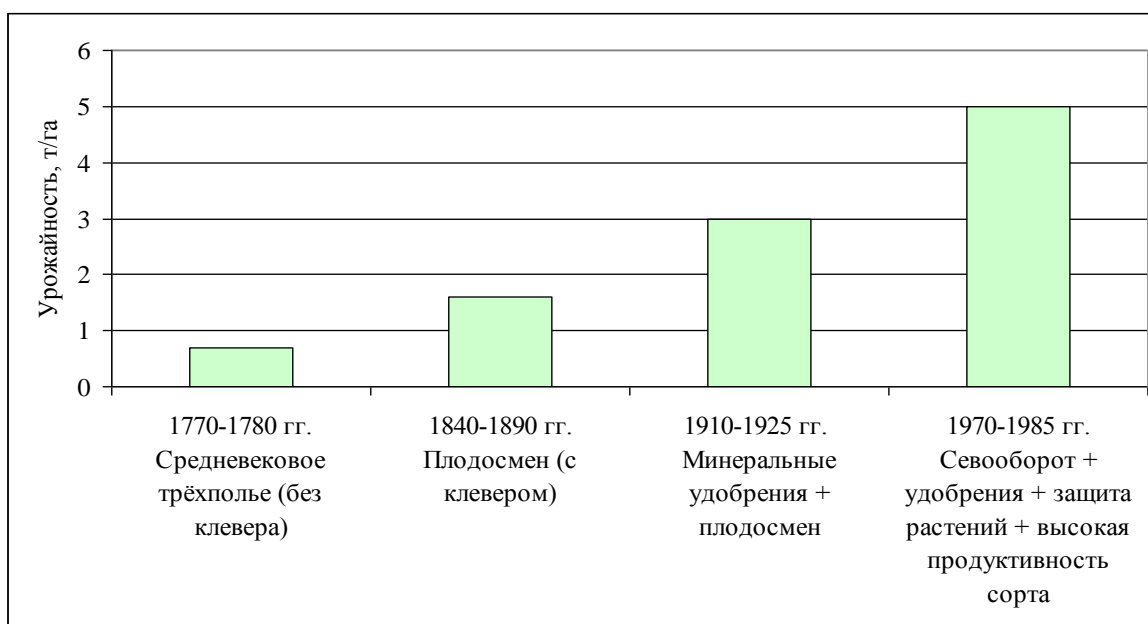


Рис. 3

Динамика роста урожайности пшеницы в Западной Европе за 200 лет

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

Мировое использование минеральных удобрений перед Второй мировой войной составляло около 7,5 млн. т. С 1960 по 1990 гг. оно увеличилось с 27 до 146 млн. т, или в 5,4 раза.

Однако в среднем на 1 га пашни и на 1 га сельскохозяйственных угодий в 1990 г. приходилось небольшое их количество – соответственно, около 100 и 35 кг NPK. Больше всего производят и применяют азотных удобрений – столько же, сколько в сумме фосфорных и калийных.

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

***Классификация, состояние
и перспективы применения минеральных удобрений
в Российской Федерации.
Эффективность применения удобрений в различных зонах
России***

Удобрениями называют вещества, используемые для питания растений и повышения плодородия почв. К удобрениям относятся разнообразные минеральные и органические вещества и материалы, которые содержат необходимые для растений элементы питания, усиливают мобилизацию питательных элементов из почвенных запасов и улучшают свойства почвы.

По способу производства удобрения подразделяют на минеральные и органические, по характеру действия – прямого и косвенного действия.

Удобрения прямого действия. Содержат необходимые растениям питательные элементы и оказывают непосредственное положительное влияние на питание сельскохозяйственных культур.

При внесении азотных удобрений улучшается азотное питание растений, а фосфорных удобрений – фосфорное питание и так далее.

Удобрения косвенного действия. Применяют главным образом не для непосредственного улучшения условий питания растений каким-либо элементом, а для улучшения свойств почвы, изменения реакции почвенного раствора и усиления процесса мобилизации имеющихся в почве запасов питательных элементов, то есть они оказывают косвенное воздействие на условия питания растений. К таким удобрениям относят используемые для химической мелиорации почв известковые удобрения и гипс, а также бактериальные удобрения.

В зависимости от происхождения, способа и места получения удобрения делятся на промышленные и местные.

Промышленные удобрения. К ним относят почти все минеральные удобрения, которые получают в результате размола или химической переработки агроруд на специальных химических заводах, а также синтетические продукты азотной промышленности, побочные продукты химических производств, выпускаемые промышленным способом органические и органоминеральные удобрения. Сюда же условно можно отнести и бактериальные удобрения-препараты, получаемые на заводах при размножении определенных видов микроорганизмов.

Местные удобрения. Получают на местах их использования, в самих хозяйствах или вблизи них. К таким удобрениям относят, прежде всего, различные органические удобрения (навоз, навозная жижа, птичий помёт, фекалии, различные компосты, торф, прудовый ил, зеленое удобрение и пр.), местные известковые материалы, отходы металлургиче-

ской и других видов промышленности, используемые в сельском хозяйстве вблизи мест соответствующих производств.

Минеральные удобрения. Они могут быть как промышленного, так и ископаемого происхождения (например, фосфоритная мука, известковые удобрения). Они, как правило, содержат питательные вещества в виде минеральных солей (например, нитрата аммония – в аммиачной селитре, монокальцийфосфата $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ – в суперфосфате, $[\text{KCl}]$ – в хлористом калии). Однако азотное минеральное удобрение мочевина содержит азот в составе органического соединения карбамида – $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$.

В зависимости от того, сколько питательных элементов находится в удобрениях, их подразделяют на две группы.

Простые (однокомпонентные) удобрения содержат какой-либо один элемент питания. К ним относятся азотные, фосфорные, калийные удобрения и микроудобрения, содержащие один микроэлемент.

Комплексные удобрения включают одновременно не менее двух главных питательных элементов.

Термином «*вид минерального удобрения*» обозначают категорию удобрения, выделяемую по действующему веществу, а термином «*форма минерального удобрения*» – их характеристику по химическому составу. Так, азотные удобрения (вид удобрения) выпускают в различных формах (аммиачная селитра, мочевина, безводный аммиак, сульфат аммония и др.).

Содержание действующего вещества выражают в процентах по массе: в азотных удобрениях в расчете на N, в фосфорных – на P_2O_5 и в калийных – на K_2O . Для пересчета дозы удобрения в килограммах действующего вещества на физические удобрения (ц/га) указываемую дозу N, P_2O_5 или K_2O делят на процент содержания действующего вещества в удобрении:

$$\text{Доза удобрения, ц/га} = \frac{\text{Требуется внести в д.в. элемента, кг/га}}{\% \text{ д.в. конкретного удобрения}}$$

Например, нужно внести 70 кг азота на 1 га в виде аммиачной селитры: при содержании азота в ней 34,5% количество физического удобрения будет 2 ц/га (70/34,5).

В бывшем СССР темпы развития химической промышленности по производству минеральных удобрений значительно опережали мировые. Так, если в 1940 г. было произведено всего 0,75 млн. т (10% мирового производства), то за период с 1960 по 1990 гг. выпуск удобрений увеличился с 3,3 до 35 млн. т (более чем в 10 раз), и составил 24% мирового производства (табл. 1). Уже в начале 70-х годов СССР вышел на первое место в мире по валовому производству удобрений и третье место (после США и Канады) – по их экспорту. Отечественному сельскому хозяйству поставлялось 3/4 произведенных удобрений (порядка 13 млн. т), что составило в 1990 г. на 1 га пашни 99 кг д.в. и соответствовало среднемировому уровню.

Таблица 1

Применение минеральных удобрений
в России за период с 1965 по 1990 гг. [14]

Годы	Поставка сельскому хозяйству, млн. т	Внесение в среднем за год, кг/га д.в.
1965 г.	2,6	20
1966-1970 гг.	3,5	28
1971-1975 гг.	6,1	48
1976-1980 гг.	8,5	65
1981-1985 гг.	11,0	83
1986-1990 гг.	13,0	99

В начальный период химизации земледелия страны при небольших объемах производства минеральных удобрений их, прежде всего, поставляли в регионы с относительно благоприятными природно-климатическими условиями или производящие особо ценные сельскохозяйственные культуры.

За счёт минеральных удобрений в короткий срок резко повысилась урожайность чая, хлопчатника, сахарной свеклы. Увеличение поставок и применения удобрений под ведущие технические, овощные и бахчевые культуры с 1966 г. по 1985 г. повысило среднегодовое валовое производство хлопчатника почти в 2 раза, сахарной свеклы – в 1,6, картофеля и овощей – 1,5-1,8 раза. Доза применения минеральных удобрений под хлопчатник и сахарную свёклу достигла более 400-450 кг д.в., картофель, овощные и бахчевые культуры – свыше 250 д.в., а под лён – свыше 200 кг д.в. на 1 га.

Для получения планируемых урожаев полностью обеспечивались удобрениями посевы на мелиорированных землях с регулируемым водным режимом, так как в этих условиях удобрения дают высокую эффективность и, кроме того, это позволяло быстрее окупать значительные капитальные вложения на мелиорацию. Больше удобрений применяли в районах достаточного увлажнения, где обеспечивалось стабильное производство сельскохозяйственной продукции и высокая окупаемость затрат на удобрения. С ростом производства минеральных удобрений появилась возможность использовать их на больших площадях и в более высоких дозах не только под технические, но и под зерновые и кормовые культуры.

Однако, хотя применение минеральных удобрений в бывшем СССР и России осуществлялось высокими темпами, оно так и не вышло на уровень развитых стран Западной Европы, а ныне отстало от большинства развивающихся государств. Обеспеченность удобрениями на 1 га пашни даже в лучшие годы не превысила среднемировой уровень и сильно различалась как по культурам, так и по регионам страны. Резкое уменьшение (в 10 раз) масштабов применения удобрений сельскохозяйственными производителями России в 90-е и 2000-е годы поставило земледелие страны на грань катастрофы (табл. 2).

Таблица 2

Производство и применение минеральных удобрений в России

Показатель	1990 г.	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Производство, млн. т д.в.	16,0	10,2	12,2	16,6	17,9	18,8	17,8
Применение, млн. т д.в.	9,9	1,5	1,4	1,5	1,9	2,0	1,9
На 1 га пашни, кг д.в.	88	17	19	19	38	39	38

Это обусловлено следующими причинами. В сфере производства удобрений отмечается рост производственных расходов и себестоимости продукции за счёт увеличения цен на основные ресурсы (сырьё, энергоносители) и транспортные расходы. В сфере применения диспаритет цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию, а также отсутствие эффективной системы кредитования сельхозпроизводителей привело к острому недостатку у хозяйств средств, в том числе, для закупки удобрений. В итоге наблюдается значительное уменьшение производства минеральных удобрений (загрузка сохранившихся в России промышленных мощностей составляет 40-45%), происходят физическое и моральное старение средств производства, потеря квалифицированных кадров.

Отсутствие платежеспособных потребителей минеральных удобрений в России и странах бывшего СССР заставило химические заводы переориентироваться на экспорт продукции. В результате доля экспорта в настоящее время составляет свыше 80% общего производства минеральных удобрений.

Применение удобрений имеет огромное значение в решении важнейшей народнохозяйственной задачи – увеличении производства зерна, а также в создании прочной кормовой базы для развития животноводства (табл. 3).

Россия, располагая 13% земельной площади, 35% мировых запасов природных ресурсов, с населением, составляю-

щим ныне 3% (а к 2020 г. не более 2 %) населения земного шара, не должна отставать от мирового развития общества и производства, тем более сельскохозяйственного, в первую очередь определяющего благосостояние людей.

Таблица 3

Применение минеральных удобрений и производство зерна
в некоторых странах мира, (ФАО, 2010 г.)

Страна	Применение, кг на 1 га пашни	Производство зерна на душу населения в 2009 г., кг	Страна	Применение, кг на 1 га пашни	Производство зерна на душу населения в 2009 г., кг
Китай	376	365	Франция	148	1098
США	130	1361	Германия	181	610
Канада	59	1700	Россия	23	432

Совершенно очевидно, что предстоит вновь, используя мировой и отечественный опыт, решать проблему интенсификации сельскохозяйственного производства, важнейшим фактором которой является применение удобрений. Приведем еще одно яркое высказывание американского ученого Норманна Борлауга: «... мир на земле не может быть построен на пустой желудок. Ограничьте доступ фермерам к современным факторам интенсификации земледелия – новым сортам, удобрениям и средствам защиты растений – и мир будет обречен, но не отравлением, как некоторые говорят, а голодом и социальным хаосом».

Ученые ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова оценивают минимальный уровень потребности земледелия России в минеральных удобрениях в 7,1 млн. т д.в. – поддерживающий и перспективный – соответственно, в 11,8 и 16,0 млн. т в год. Оптимальная обеспеченность оценивается в 26,0 млн. т, в том числе азотными – 10,2, фосфорными и калийными, соответственно, в 9,1 и 6,7 млн. т д.в.

Крайне необходимо восстановление и укрепление материально-технической базы для правильного, эффективного и

экологически безопасного применения минеральных удобрений, развитие дилерской сети и сервисного агрохимического обслуживания хозяйств. К первоочередным задачам относятся – строительство складов; возобновление производства и совершенствование специализированной техники для обеспечения всей технологической цепи на пути удобрений от завода до поля; улучшение ассортимента за счёт производства концентрированных и комплексных удобрений, их доля должна составлять до 90%, в том числе сложных – 35-40%; увеличение концентрации питательных веществ в удобрениях до 40-44%; увеличение производство новых форм минеральных удобрений (суперфоса, ЖКУ, КАС, ИАС, азотных с ингибиторами).

Эффективность применения удобрений в различных зонах РФ

При правильном использовании от 1 т органических удобрений по стране получают 1 ц зерна, от 1 ц минеральных удобрений 1-1,3 ц зерна, до 12 ц овощей, 6-8 ц кормовых корнеплодов. Средняя оплата 1 ц аммиачной селитры составляет 4-5 ц зерна, 1 ц суперфосфата – 1,5-2,0 ц и 1 ц калия хлористого – 0,5-1,0 ц.

От 1 кг действующего вещества удобрений получают в Нечернозёмной зоне 5 кг зерна, в лесостепной – 4,5 кг, в степной – 4 кг.

В нашей стране большое разнообразие почвенно-климатических условий, что обуславливает различную эффективность удобрений. В результате проведённых исследований Географической сетью опытов установлены следующие закономерности.

1. Прибавки урожайности от минеральных удобрений в Европейской части увеличиваются с востока на запад и с юга на север, в Сибири – с запада на восток.

2. Эффективность органических удобрений уменьшается по мере снижения выпадения осадков с севера на юг и с запада на восток. Продолжительность действия подстилочного навоза на тяжелых почвах составляет 3-4 года, на легких – 1-2 года, бесподстилочного – 1-2 года.

3. Абсолютные урожаи возрастают с севера на юг и находятся в прямой зависимости от содержания фосфора в почве. По мере повышения содержания фосфора в почве повышается эффективность азотных удобрений и снижается фосфорных.

4. Эффективность удобрений зависит от типа почвы и количества выпадающих осадков. На дерново-подзолистых почвах, серых лесных, чернозёмах оподзоленных проявляется высокое действие азотных удобрений, на мощных чернозёмах – фосфорных удобрений и на лёгких почвах – калийных.

5. На действие удобрений оказывает влияние кислотность почвы, гранулометрический состав, степень окультуренности.

6. Эффективность удобрений возрастает при орошении.

7. Эффективность удобрений возрастает на 15-20% при совместном применении гербицидов, пестицидов и ретардантов.

Вопросы для повторения:

1. Что изучает агрохимия? 2. С какими науками и дисциплинами связана агрохимия? 3. Основная цель агрохимии как науки. 4. Основные объекты изучения в агрохимии. 5. Какие методы исследований выделяют в агрохимии? 6. Почему удобрения являются важнейшим фактором интенсификации земледелия? 7. Какова роль удобрений в повышении урожайности сельскохозяйственных культур? 8. Для чего проводят анализ растений, почвы и удобрений? 9. Перспективы химизации в нашей стране. 10. Назовите прогрессивные способы применения удобрений. 11. Уровень применения удобрений в нашей стране, в развитых и развивающихся странах.

Лекция 2. Основы питания растений в связи с применением удобрений

- Химический состав растений. Содержание и роль макро- и микроэлементов в питании растений.
- Современные представления о поступлении питательных элементов в растения.
- Влияние условий выращивания сельскохозяйственных культур на поступление элементов питания.
- Биологический и хозяйственный вынос питательных веществ сельскохозяйственными культурами, понятие о круговороте и балансе веществ в земледелии.
- Требования растений к условиям питания в различные периоды их роста. Динамика потребления питательных веществ в онтогенезе.
- Способы внесения удобрений. Создание оптимальных условий питания растений посредством использования различных способов внесения удобрений.
- Диагностика минерального питания растений.

Химический состав растений. Содержание и роль макро- и микроэлементов в питании растений

В состав растений входят вода и сухое вещество, представленное органическими и минеральными соединениями. В состав сухого вещества входят органические соединения: белки, жиры, углеводы, ферменты и зольные вещества (табл. 4, 5).

Таблица 4

Примерное содержание сухого вещества
и воды в некоторых растениях, % [21]

Органы растений	Сухое вещество	Вода
Семена масличных культур (подсолнечник, конопля)	90-93	7-10
Зерно хлебных злаков и бобовых культур	85-88	12-15
Плоды томата, огурца, салат, редис, спаржа	4-8	92-96
Корнеплоды столовой свёклы, моркови, луковицы лука, укроп, петрушка листовая	10-15	85-90
Кочаны капусты, турнепс, фасоль стручковая	7-10	90-93
Клубни картофеля, корнеплоды сахарной свёклы	20-25	75-80
Вегетативные органы большинства полевых культур	15-25	75-85

Соотношение воды и сухого вещества в растениях зависит от биологических особенностей растений и изменяется в широких пределах. Наибольшее количество воды содержат молодые растения, их вегетативные органы. По мере старения растений количество воды в тканях растений снижается, особенно в репродуктивных органах. Количество сухого вещества к концу вегетации в репродуктивных органах возрастает. Наибольшее количество сухого вещества в семенах масличных культур 83-90%, зерне хлебных злаков и зернобобовых – 85-88%; в корнеплодах и клубнях картофеля – 10-25%, плодах и ягодах – 12-23%, в овощах – 7-10%, а в плодах томатов и огурцов всего 4-8%. Сбор сухого вещества с товарной частью урожая основных сельскохозяйственных культур может изменяться в очень широких пределах – от 1,0-1,5 до 10,0-15,0 т/га и более.

Воды больше всего в овощах и вегетативной массе растений. Вода в растениях, прежде всего, растворитель и участник образования первичных углеводов в процессе фотосинтеза, обуславливает тургор (гидростатическое давление внутри клетки); предохраняет растение от перегрева, а также является средой для протекания биохимических процессов и для передвижения элементов по сосудам.

Особое значение вода имеет в энергетических преобразованиях в растениях, прежде всего, в аккумуляции солнечной энергии в виде химических соединений при фотосинтезе. Вода обладает способностью пропускать лучи видимой и близкой к ней ультрафиолетовой части света, необходимой для фотосинтеза, но задерживает определенную часть инфракрасной тепловой радиации. Она также обладает высокой удельной теплоёмкостью и, благодаря способности испаряться при любой температуре, предохраняет растения от перегрева. Она необходима для прорастания семян.

Максимальное потребление воды растениями происходит в период интенсивного формирования вегетативной массы. Этот период часто бывает критическим, так как в это время растения особенно чувствительны к недостатку влаги. У зерновых культур он приходится на период выхода в трубку – колошение, у картофеля на фазы бутонизации и цветения. Влагообеспеченность наряду с другими факторами внешней среды оказывает значительное влияние на величину и качество урожая сельскохозяйственных культур, а также на эффективность удобрений.

Для образования 1 ц сухой массы урожая за время вегетации сельскохозяйственные культуры испаряют 200-1000 ц воды. Эту величину называют коэффициентом транспирации. При неблагоприятных условиях роста растений расход ими воды возрастает в 1,5-2 раза. При оптимальных условиях питания растений азотом и зольными элементами расход воды при транспирации может сократиться на 15-20% и более.

Сухое вещество растений представлено разными органическими соединениями и золой, которые определяют качество продукции. У зерновых культур основным качественным показателем являются белки и крахмал, у зернобобовых и бобовых – белки, картофеля – крахмал, в корнеплодах, овощах, ягодных и плодовых растениях – сахара, а в масличных культурах – жиры (табл. 5).

Наибольшее количество белка в семенах зернобобовых (горох, люпин, бобы, яровая вика, фасоль, соя). В зерне пшеницы в зависимости от сортовых особенностей, климатических условий, технологии возделывания содержание белка может изменяться от 9 до 18%, ячменя – от 8 до 15, яровой вики – до 29, гороха до 28%; содержание крахмала в картофеле – от 14 до 24, сахара в плодах, овощах и ягодах – от 3 до 18%.

Таблица 5

Примерное содержание органических веществ в урожае растений
(% веса сырой массы) [3]

Культура	Сахара	Крахмал	Клетчатка	Жиры	Белки
Пшеница (зерно)	3,0	58	2,5	2,0	15
Рожь (зерно)	5,0	60	2,3	2,0	12
Овес (зерно)	2,0	45	10,0	4,2	11
Горох (зерно)	8,0	43	6,0	1,2	28
Вика	4,8	43	6,0	2,3	29
Кукуруза (зерно)	2,5	65	1,8	4,0	9,0
Подсолнечник (ядра)	5,0	2,0	5,0	50	25
Картофель (клубни)	1,0	16	0,8	0,1	1,3
Сахарная свёкла (корни)	18	0	0,9	0,1	0,8
Морковь столовая (корне- плоды)	6,0	0,2	1,2	0,1	1,3
Лук репчатый	9,0	-	0,7	-	1,7
Капуста белокочанная	4,6	0,5	0,7	-	1,8
Огурцы грунтовые (плоды)	2,5	0,1	0,7	-	0,8
Томаты грунтовые (плоды)	3,5	0,3	0,8	-	0,6
Яблоня	12,0	-	1,0	0,1	0,4
Груша	10,8	-	0,8	-	0,4
Вишня	8,7	-	0,5	-	0,9
Земляника	16,5	-	1,2	-	1,1
Крыжовник	6,0	-	2,3	-	0,9
Смородина чёрная	7,0	-	2,0	-	1,3

В состав белков входят следующие элементы: углерод (С) – 51-55, кислород (O₂) – 21-24, азот (N) – 15-18, водород (H) – 6,5-7,0 и сера (S) – 0,3-0,5 %, которые носят название **органогенные** и представлены 20 аминокислотами и 2^{мя} амидами: аспарагин и глутамин. Особое значение в составе белков растений имеют незаменимые аминокислоты (метионин, лизин, валин, лейцин, изолейцин, треонин, триптофан, фенилаланин, аргинин, гистидин). Эти кислоты попадают в организм человека только с растительными пищевыми продуктами, в организм животных – с кормами. Последние две аминокислоты незаменимы лишь в детском возрасте.

Азот содержится также в виде свободных минеральных соединений – нитратов и аммония, органических аминокислот и амидов. Углеводы в растениях находятся в виде моно-

сахаров (глюкоза и фруктоза) – $C_6H_{12}O_6$. Глюкоза обуславливает сладкий вкус, передвигается из листьев в корни, является источником образования сахарозы – $2C_6H_{12}O_6 - H_2O = C_{12}H_{22}O_{11}$ и полисахаридов (крахмал, клетчатка, пектиновые вещества) – $n C_6H_{12}O_6 - n H_2O = n (C_5H_{10}O_5)$.

Наибольшее количество глюкозы в винограде и землянике (8-15%), фруктозы больше всего в плодах сливы, вишни, груши, яблоках. Сахароза в небольших количествах находится во всех растениях. Наибольшее количество сахарозы в сахарной свёкле от 14 до 22%, значительное – в плодах, ягодах, моркови, столовой и кормовой свёкле, луке и чесноке (3-8%); в зерне злаковых и бобовых культур – низкое (1,5-3,0%) и зависит от степени созревания (может быть до 5% в фазе молочного состояния), в кукурузе – до 10%.

К основным полисахаридам относится крахмал. Он образуется во всех зеленых органах растений и накапливается в виде запасного в репродуктивных органах. Больше всего его в зерне злаковых – от 50 до 80%, в клубнях картофеля разных сортов – от 8 до 24%. Меньше всего крахмала в плодах и овощах.

Основой клеточных стенок в растениях является клетчатка. Её больше в основных стеблях злаковых растений и масличных культур. Волокно льна содержит 90 и более процентов, семена пленчатых злаков (овёс, ячмень) содержит от 5 до 10%. Она слабо усваивается животными и не усваивается человеком, но абсолютно необходима растениям как своеобразный стержень, на котором крепятся все остальные жизненно важные соединения.

Жиры и жироподобные вещества являются структурными комплексами цитоплазмы клеток. Их содержание в клетках растений, кроме масличных культур, небольшое, до

1%, а в семенах масличных культур весьма высокое: у льна 34-37%, подсолнечника – до 70%, горчицы и рапса – 24-45%.

Содержание различных групп органических соединений в растениях изменяется в зависимости от видов и сортов растений, условий питания. Создавая разные условия питания путём применения удобрений, можно повысить накопление наиболее ценных органических соединений в составе сухого вещества.

Ценность отдельных органических соединений, в зависимости от вида и характера использования растениеводческой продукции, может быть различной.

Качество урожая сельскохозяйственных культур может зависеть и от содержания органических соединений, которых в растениях относительно немного: витаминов, алкалоидов, гликозидов, органических кислот, эфирных и горчичных масел и так далее.

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

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

Важное значение для улучшения качества продукции имеют условия питания растений. Например, усиление азотного питания повышает относительное содержание в растениях и сбор белка с урожаем товарной продукции, а

усиленное фосфорно-калийное питание способствует большему накоплению углеводов – сахарозы в корнеплодах сахарной свеклы, крахмала в клубнях картофеля. Фосфорно-калийные удобрения повышают у масличных культур содержание жира и улучшают его качество.

Создав соответствующие условия питания растений с помощью удобрений, можно повысить накопление наиболее ценных в хозяйственном отношении органических соединений в составе сухого вещества урожая. Однако несбалансированное питание может не только снизить продуктивность растений, но и ухудшить качество урожая. Так, избыточное, особенно одностороннее, снабжение азотом приводит к снижению содержания в растениях углеводов (крахмала у картофеля или сахара в сахарной свекле), а также вызывает накопление в овощной и кормовой продукции потенциально опасных для человека и животных нитратов. Повышенное содержание нитратов в плодах и овощах при их употреблении может приводить к заболеванию метагломанией или к синюшности, поэтому в настоящее время Санэпиднадзором вводится регламент ПДК.

Элементный состав растений. Средний элементный состав сухого вещества растений следующий (% по массе): углерод – 45, кислород – 42, водород – 6,5, азот и другие элементы – 6,5. Всего в составе растений обнаружено более 80 химических элементов. В настоящее время около 20 элементов (в том числе углерод, кислород, водород, азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера, железо, бор, медь, марганец, цинк, молибден, ванадий, кобальт и йод) считают безусловно необходимыми для растений. Они непосредственно участвуют в процессах превращения веществ и энергии. Без них невозможны нормальный ход жизненных процессов и завершение полного

цикла развития растений. В отношении еще более 20 элементов (кремния, алюминия, фтора, хлора, лития, серебра и др.) имеются сведения об их положительном действии на рост и развитие растений; эти элементы считают условно необходимыми. По мере совершенствования методов анализа и биологических исследований общее число элементов в составе растений и список необходимых химических элементов, очевидно, будут расширены.

Углеводы, жиры и другие безазотистые органические соединения построены из трех элементов – углерода, кислорода и водорода, а в состав белков и других азотистых органических соединений входит еще и азот. На их долю в среднем приходится около 95% сухого вещества растений.

При сжигании растительного материала органогенные элементы улетучиваются в виде газообразных соединений и паров воды, а в золе остаются преимущественно в виде оксидов многочисленные *зольные элементы*, на долю которых приходится в среднем около 5% массы сухого вещества. Содержание золы зависит от вида растений (табл. 6).

Таблица 6

Среднее содержание золы в урожае сельскохозяйственных растений, % на абсолютно сухое вещество [3]

Культура	Зола	Культура	Зола	Культура	Зола
Пшеница (зерно)	1,7	Картофель (клубни)	1,0	Салат	1,0
Рожь (зерно)	1,6	Кормовая свёкла (корнеплоды)	0,9	Укроп	2,3
Овес (зерно)	3,5	Морковь кормовая (корнеплоды)	0,9	Яблоня	0,5
Ячмень (зерно)	3,0	Лук репчатый	1,0	Груша	0,7
Горох (семена)	2,5	Капуста белокочанная	0,7	Вишня	0,6
Подсолнечник (ядра)	3,5	Огурцы грунтовые	0,5	Смородина чёрная	1,5
Лён (семена)	4,0	Томаты грунтовые	0,7	Земляника	0,1

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

Для обеспечения нормальной жизнедеятельности, кроме макроэлементов, растениям в небольших количествах необходимы бор, марганец, медь, цинк, молибден, кобальт, йод и ванадий. Концентрация каждого из этих элементов в растениях составляет от тысячных до стотысячных долей процента; их называют *микроэлементами*. Обычно их содержание в растениях выражают в мг/кг сухого вещества. Помимо макро- и микроэлементов в растениях присутствуют в очень малых количествах, так называемые ультрамикроэлементы (рубидий, цезий, селен, серебро, ртуть и др.), содержание которых составляет от 10^{-6} до $10^{-12}\%$.

Современные представления о поступлении питательных элементов в растения

Воздушное питание. Сущность воздушного питания сводится к процессу фотосинтеза, то есть к усвоению на свету углекислого газа атмосферы и образованию органического вещества при помощи хлорофилла. Процесс фотосинтеза сводится в общем к следующей формуле:
$$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{свет} + \text{хлорофилл}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$$
 По современным научным данным процесс фотосинтеза протекает в две фазы: световую и темновую.

В световой фазе происходит разложение молекулы воды при помощи фермента дегидрогеназы. Молекула хлорофилла поглощает квант солнечной энергии, переходит в активное состояние, реагирует с двумя молекулами воды в

присутствии фермента дегидрогеназы и образуется H_2O_2 и χH_2 ($2\text{H}_2\text{O}^{\text{свет+хлорофилл}} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \chi\text{H}_2$).

$\text{H}_2\text{O}_2^{\text{дегидрогеназа}} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2$. В световой фазе образуются макроэргические связи и АТФ. АТФ и χH_2 участвуют в темновой фазе, χH_2 участвует в восстановлении CO_2 до углеводов с использованием энергии, выделяющейся при разложении АТФ ($\text{CO}_2 + \chi\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2$).

Скорость образования углеводов зависит от солнечной энергии, содержания хлорофилла и влагообеспеченности. Содержание хлорофилла колеблется от 1 до 3 г на 1 кг свежих листьев. Хлорофилл обладает высокой дисперсионностью, его площадь может превышать площадь листовой пластинки в 200 раз. В процессе фотосинтеза сельскохозяйственные растения поглощают 1-2,5% ФАР. Задача повысить содержание хлорофилла и коэффициент использования солнечной энергии.

Пути решения – оптимальная норма посева, длинный колос, посев с юга на север, листья. Повышение содержания хлорофилла на 1 мг способствует увеличению ассимиляционной поверхности в 5 раз.

Для формирования высокой урожайности, сельскохозяйственные культуры должны быть обеспечены в достаточном количестве углекислым газом. В период вегетации на 1 га зерновые культуры связывают 10-15 кг CO_2 за один час, а пропашные и овощные – около 20 кг. В атмосфере содержание CO_2 составляет 0,03% – 5-6 кг на 1 га. Источниками CO_2 являются мировой океан, сами растения, органические удобрения, извесь.

Улучшение водообеспеченности – поливы, сохранение продуктивной влаги за счёт снегозадержания, правильных и своевременных обработок почвы.

За сутки в растении накапливается 20-25% новых веществ, из них 5-10% идёт на дыхание. При аэробных условиях разложение идёт до CO_2 и H_2O с выделением энергии 2820 кДж на 1 моль, при анаэробных условиях образуется спирт $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{CO}_2$ с выделением энергии составляет 118 кДж на 1 моль. Повышенная температура и дефицит воды усиливают процесс дыхания и снижают интенсивность фотосинтеза.

Корневое питание. Питание идёт через корневую систему. Либих считал, что поступление питательных веществ идёт через корневую систему в виде ионов, Кноп и Сакс – избирательно.

В течение длительного времени считалось, что поступление питательных веществ идёт благодаря транспирации с током воды (десорбционная теория). Однако в последующем было доказано, что поступление питательных веществ не находится в прямой зависимости от использованной воды.

Нельзя объяснить поступление питательных веществ и диффузией – передвижением от большей концентрации к меньшей, так как концентрация солей в клеточном соке во много раз выше, чем в окружающей среде (диффузорно-осмотическая теория). Исключение составляет локальное внесение удобрений.

Липоидная теория Овертена: поступление питательных веществ идёт через мембраны при помощи липоидного компонента.

В настоящее время заслуживают внимания две теории: обменной адсорбции и ионных насосов. Согласно теории обменной адсорбции поступлению питательных веществ идёт при помощи 2-х автономных процессов – пассивно с током воды по электрохимическому градиенту и активно – против

электрохимического градиента. Электрохимический градиент – это разность потенциалов, обусловленная разной концентрацией и зарядов между клеткой и внешней средой. Пассивное поступление идёт с током воды, а активно – через «обменный фонд». Обменным фондом являются катион водорода (H^+) и анион угольной кислоты (HCO_3^-), которые образуются в результате дыхания. Активный перенос также обусловлен двойственной природой белков (в кислой среде анионы, в щелочной – катионы). Обмен между корневой системой и окружающей средой может идти целыми молекулами.

Избирательную способность и превышение концентрации в клеточном соке объясняет теория переносчиков (Вахмистрова). Согласно этой теории, в растении существует две системы переноса. Первая локализована в плазмолемме и имеет высокую избирательную способность, функционирует в естественных условиях при очень низких концентрациях. Вторая локализована в плазмолемме и тонопласте и вступает после первой. Активный перенос осуществляется АТФазой и ионами H^+ , Na^+ , Mg^{++} (ионы, заменяемые другими элементами).

Согласно современным представлениям, процесс поглощения происходит не просто путём пассивного всасывания корнями почвенного раствора вместе с содержащимися в нём солями, а является активным физиологическим процессом, который обязательно требует затрат энергии и неразрывно связан с процессами фотосинтеза, дыхания и обмена веществ. При этом концентрация отдельных ионов в клеточном соке, как и в пасоке растений (транспортируемой по ксилеме из корней в надземные органы), чаще всего значительно выше, чем в почвенном растворе. В этом случае поглощение питательных веществ растениями невозможно за счёт диффузии, и должно происходить против градиента концентрации с затратой метаболической энергии. Исследования с приме-

нием меченых атомов убедительно показали, что поглощение питательных веществ и дальнейшее их передвижение в растении происходят со скоростью, в сотни раз превышающей возможную за счёт диффузии и пассивного транспорта по сосудисто-проводящей системе с током воды. Кроме того, не существует прямой зависимости поглощения питательных веществ корнями растений от интенсивности транспирации, количества поглощенной и испарившейся влаги.

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

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

Поступление питательных веществ можно представить следующими этапами:

- 1) высвобождение элементов питания из твёрдой фазы почвы в почвенный раствор благодаря физико-химическому обмену с почвенным раствором;

2) передвижение ионов к поверхности корня за счёт корневого перехвата – движения корня массового потока – движение почвенного раствора и за счёт диффузии от большей концентрации к меньшей. Поглощение питательных веществ корнями приводит к уменьшению их концентрации у поверхности корня, и возникает градиент концентраций;

3) поступление ионов в клетку в настоящее время рассматривается как пассивный ток по электрохимическому градиенту, так и их активный перенос ионов против электрохимического градиента. Избирательность поглощения ионов клеткой объясняют конкуренцией химически близких веществ (ионов) между собой, наличием специальных переносчиков (молекул разных веществ), преодолевают мембрану клеток в комплексе с переносчиком, в качестве которых выступают белковые молекулы. Примером переносчика может быть ионный насос – транспортная калиево-натриевая АТФаза. Транспорт внутри клеток стимулируется образованием новых органических веществ, и концентрация ионов снижается, поступление ионов может идти путём диффузии. Поглощение питательных веществ растениями связано не только с корневой системой, но и с самим растением, с дыханием, синтезом и распадом органических соединений.

Некорневое питание. Частично элементы питания поступают в растение через листья. Полагали, что при таком питании можно сильно влиять на фотосинтез и другие процессы образования органических веществ в растениях, которые больше всего необходимы в данный момент. В 1930 году оно изучалось Домонтовичем и Железновым, в 1933 году – Якушкиным в опытах со свёклой. Оказалось, что большинство минеральных веществ даже в слабых концентрациях вызывают ожоги листьев. Кроме того, только некорневым питанием до-

биться нормального роста культур невозможно. Наиболее перспективно некорневое питание растений микроэлементами, которых требуется немного. Некорневое питание растений занимает видное место при интенсивных технологиях для улучшения качества продукции и в защищенном грунте. Его преимущество – ликвидация заболеваний, связанных с недостатком того или иного элемента; снижение расхода удобрений; снятие напряжённости в работах; качество продукции. Для улучшения некорневого питания растений следует использовать безбалластные формы удобрений, подкормку растений рано утром или поздно вечером и в пасмурные дни, а в открытом грунте желательно в дождь; повышать механизацию работ, проводить подкормку 2-3 раза в течение вегетации. И, несмотря на то, что листья способны использовать соли, проникшие при опрыскивании, этот приём является вспомогательным, дополняет обычное питание через корни.

Взаимосвязь корневого и воздушного питания. Поглощение корнями и транспорт питательных элементов тесно связаны с процессами обмена веществ и энергии в растительных организмах, с жизнедеятельностью и ростом как надземных органов, так и корней.

Источником энергии, необходимой для активного поглощения элементов минерального питания, служит процесс дыхания. Этим обусловлена тесная связь между интенсивностью поглощения растениями элементов питания и дыханием корней. При ухудшении роста корней и торможении дыхания (при недостатке кислорода в условиях плохой аэрации или избыточном увлажнении почвы) поглощение питательных веществ резко ограничивается.

Для нормального роста и дыхания корней необходим постоянный приток к ним энергетического материала – про-

дуктов фотосинтеза (углеводов и других органических соединений) из надземных органов. При ослаблении фотосинтеза вследствие снижения продолжительности и интенсивности освещения уменьшается образование и передвижение ассимилянтов в корни, вследствие чего ухудшается их рост и жизнедеятельность, поглощение питательных веществ из почвы. Необходимо отметить, что в корне идёт не только поглощение, но и синтез отдельных органических соединений, в том числе аминокислот и белков. Последние используются для обеспечения жизнедеятельности и процессов роста самой корневой системы, а также частично транспортируются в надземные органы. Через корни растениями поглощается и небольшая часть диоксида углерода (до 5 % общего его потребления) из почвенного воздуха.

***Влияние условий выращивания
сельскохозяйственных культур
на поступление элементов питания***

Немаловажным является *состав почвенного воздуха*, который в большой степени зависит от интенсивности газообмена между почвой и атмосферой. Почвенный воздух отличается от атмосферного повышенным содержанием диоксида углерода (в среднем около 1%, иногда до 2-3% и более) и меньшим – кислорода (табл. 7).

Таблица 7

Состав атмосферного и почвенного воздуха (в объёмных %)

Химический компонент	Атмосферный воздух	Почвенный воздух
Азот (N ₂)	78,08	78,08–80,24*
Кислород (O ₂)	20,95	20,9–0,01
Аргон (Ar)	0,93	–
Диоксид углерода (CO ₂)	0,03	0,03–20,0
Остальные (пары H ₂ O, CH ₄ и др.)	0,01	–

* Азот и аргон

Образование диоксида углерода в почве происходит в результате разложения органического вещества микроорганизмами и дыхания корней. Образующийся CO_2 частично выделяется из почвы в атмосферу, улучшая воздушное питание растений, а частично растворяется в почвенной влаге, образуя угольную кислоту ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{H}_2\text{CO}_3$). Последняя вызывает подкисление раствора, в результате чего усиливаются растворение и перевод в усвояемую для растений форму содержащихся в почве нерастворимых минеральных соединений P, K, Ca, Mg и др.

Поглощение питательных веществ зависит от *влажности почвы и воздуха*. С током воды идёт поступление и передвижение питательных веществ в растении. Оптимальные условия увлажнения улучшают общее физиологическое состояние растений, хорошо развивается корневая система, улучшается поглотительная способность корней. Оптимальные условия увлажнения в полевых условиях составляют 60-70% от полной влагоёмкости.

При избыточном увлажнении > 80% от полной влагоёмкости нарушается режим почвенного питания в целом, так как анаэробный тип дыхания растений приводит к неэкономному расходованию пластических веществ, а для дополнительного их синтеза нужны дополнительные дозы полного минерального удобрения. При избыточном увлажнении происходит вымывание питательных веществ (N и K_2O до 70%), и усваиваются не только окисленные, но закисные формы соединений. При высокой относительной влажности воздуха поглощение питательных веществ повышается. Дефицит влаги отрицательно сказывается на работе ферментов, резко снижается процесс фотосинтеза. Оптимальная влажность воздуха зависит от освещённости: чем выше освещённость, тем выше должна быть относительная влажность воздуха.

Температура воздуха и почвы. При благоприятных температурных условиях происходит мобилизация почвенного плодородия, переход питательных веществ в усвояемую форму. Для жизнедеятельности корневой системы требуется более низкая температура, чем для надземной части растения. Так оно и бывает в природных условиях. Но если этот разрыв слишком велик, то функции корня нарушаются. При температуре почвы 10-25°C отмечается максимальное поступление питательных веществ. В опытах с ячменём было установлено, что при повышении температуры с 10 до 24°C увеличило поступление калия в 3,2, магния – в 5, нитратов – в 5,2 и кальция – в 15 раз. При температуре ниже +5-6°C резко снижается поступление фосфора, серы, кальция. По снижению интенсивности поступления в растения при понижении температуры элементы минерального питания располагаются в следующий ряд: $\text{PO}_4 > \text{N} > \text{Cl} > \text{K} > \text{Mg} > \text{NH}_4$, то есть при похолодании в первую очередь замедляется поступление фосфора и нитратов, а в последнюю – магния и аммония. Отрицательное влияние пониженных температур на поглощение минеральных элементов из почвенного раствора обуславливается ослаблением интенсивности дыхания и проницаемости протоплазмы, замедлением химических реакций.

При температуре выше +25°C резко усиливается дыхание корней, снижается поступление всех питательных веществ и процесс фотосинтеза. Падение скорости поглощения питательных элементов растениями при высоких температурах объясняется постепенной инактивацией ферментативных систем, участвующих в этих процессах, а также повышением проницаемости цитоплазмы, в результате чего усиливается утечка элементов питания.

Оптимальная температура воздуха в средней полосе – 10-20°C, на юге – 15-30°C.

Температура оказывает влияние на микробиологическую деятельность, на прорастание, созревание культур и скорость поступления питательных веществ.

Освещенность влияет на процесс фотосинтеза, фотосинтез – на поглотительную способность корней. При оптимальной освещенности улучшается поступление фосфора, молибдена, магния, кальция, нитратов, аммиака, серы. При слабой освещенности резко снижается поступление фосфора и возрастает калия. Применение повышенных доз азота и фосфора под культурные растения целесообразно только в условиях высокой интенсивности освещения, а калия – при недостатке освещения.

При слабой освещенности растения плохо усваивают питательные вещества из концентрированных растворов, применение высоких доз минеральных удобрений в осенне-зимний период ведёт к снижению урожайности. Поэтому в осенне-зимний период дозы минеральных удобрений должны уменьшаться на $\frac{1}{3}$. В пасмурные дни в растениях увеличивается содержание NO_3^- , так как резко снижается активность фермента фосфатазы.

Частично растения усваивают питательные вещества почвы, находящиеся в ППК, за счёт непосредственного контакта корней с частицами почвы. Основную часть – из почвенного раствора.

Концентрация почвенного раствора, соотношение элементов минерального питания в почве обуславливают слабое или хорошее питание растений. Корни растений имеют очень высокую усвояющую способность и могут поглощать питательные элементы из сильно разбавленных растворов, оптимальная концентрация составляет от 0,01-0,05 до 0,1-0,2%. При концентрации 0,5% наступает плазмолиз клеток,

при концентрации 1,0% коневая система отмирает. З.И. Журбицкий (1963) показал, что с увеличением концентрации питательного раствора до 25,9 ммоль/л развитие огурцов улучшалось, и был самый высокий урожай плодов, а при 36,2 ммоль/л урожай резко снижался (табл. 8).

Таблица 8

Влияние концентрации питательного раствора
на рост и урожай огурца [13]

Концентрация питательного раствора		Масса 10 растений в возрасте 26 дней, г	Зелёная масса при уборке, г	Урожай плодов, г
г/л	ммоль/л			
Вода	—	10	—	0
0,41	2,9	138	145	27
0,74	5,4	175	152	99
2,13	15,7	265	230	174
3,56	25,9	257	240	314
4,96	36,2	188	205	130
6,93	46,5	177	110	53

С увеличением концентрации питательного раствора повышается осмотическое давление почвенного раствора. Осмотическое давление оказывает влияние на поступление элементов питания в растения. В опытах с кукурузой при повышении осмотического давления почвенного раствора с 0,33 атм. до 3 атм. поступление фосфора снизилось в 2 раза, до 9 атм. — в 3 раза.

Большинство растений нормально развивается при содержании N и K₂O по 20-30 мг, а P₂O₅ — 10-15 мг на 1 л раствора и даже при значительно более низкой концентрации, если она поддерживается на постоянном уровне. Верхний предел концентраций для микроэлементов выражается незначительными величинами: для бора — 1-2 мг, для Zn и Mn — около 5-7 мг на 1 литр раствора. К концентрации солей особенно чувствительны растения в молодом возрасте.

Наиболее важно для питания растений присутствие в почвенном растворе ионов Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, K⁺, NO₃⁻ и H₂PO₄⁻

и постоянное их пополнение. Содержание в почвенном растворе катионов H^+ и Na^+ определяет его реакцию, от которой сильно зависят рост и развитие растений. Общее содержание ионов в почвенном растворе обычно незначительное, и лишь в засоленных почвах количество в растворе ионов Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} и других может быть повышенным.

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

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

По отношению к концентрации все растения можно разделить на три группы:

1. Малочувствительные – овёс, гречиха, рожь, донник, люцерна;
2. Среднечувствительные – ячмень, пшеница, клевер, бобы, турнепс, брюква, сахарная свёкла.
3. Высокочувствительные – кукуруза, горох, огурец, морковь, лук, чеснок (допустимая доза припосевного удобрения до 10 кг/га).

Для нормального развития корней важное значение имеет также соотношение солей в растворе, его *физиологическая уравновешенность*. Физиологически уравновешенным называется раствор, в котором все составляющие его ионы взаимно ограничивают поступление друг друга в растение. Раствор, представленный какой-либо одной солью, физиоло-

гически не уравновешен. Развитие корней происходит лучше в многосолевом растворе (табл. 9).

Таблица 9

Влияние состава раствора на длину корней пшеницы [3]

Соли	NaCl	KCl	MgCl ₂	CaCl ₂	NaCl, KCl, CaCl ₂
Прирост корешков в длину за 40 дней	59	68	7	70	324

Одностороннее преобладание (высокая концентрация) в растворе одной соли, особенно избыток какого-либо одновалентного катиона, оказывает вредное действие на растение. В нем проявляется *антагонизм* ионов – каждый ион взаимно препятствует избыточному поступлению другого иона в клетки корня. Например, Ca^{2+} в высоких концентрациях тормозит 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 когда концентрация одного иона в растворе значительно превышает концентрацию другого. Иногда проявляется антагонизм между катионами и анионами Ca^{2+} и SO_4^{2-} .

В процессе поступления питательных веществ в растения проявляется также *синергизм* ионов, когда поглощение одних ионов способствует лучшему поглощению других. Например, между NO_3^- и Mo^{2+} ; Mo^{2+} и H_2PO_4^- ; S и Mn, Zn; Cu и B, Zn, Mn, Co; Cu и Mo; Cu и Ca и при низких концентрациях между Ca^{2+} и K^+ .

Реакция почвенного раствора. Особенно сильное влияние на развитие корней и поступление в них питательных элементов оказывает кислотность раствора. Высокая концентрация в растворе ионов водорода отрицательно влияет на физико-химическое состояние цитоплазмы клеток корня. Наружные клетки корня ослизняются, нарушается их нор-

мальная проницаемость, ухудшаются рост корней и поглощение ими питательных элементов. Отрицательное действие кислой реакции сильнее проявляется при отсутствии или недостатке в растворе других катионов, особенно кальция. Кальций тормозит поступление ионов H^+ , поэтому при повышенном количестве его растения способны переносить более кислую реакцию. В искусственных питательных смесях катион кальция должен преобладать над всеми другими ионами.

Реакция раствора влияет на интенсивность поступления отдельных ионов в растение и обмен веществ. При кислой реакции (то есть при большей концентрации катионов водорода) повышается поступление анионов, но ограничивается поступление катионов, нарушается питание растений кальцием и магнием и тормозится синтез белка, подавляется образование сахаров в растении. Растения лучше усваивают нитратную форму азота, что приводит к накоплению нитратов в продукции (табл. 10).

Таблица 10

Урожайность сахарной свёклы при нитратном
и аммиачном питании в зависимости от реакции среды
(средняя масса корня в граммах) [3]

pH	4,0	5,0	7,0	8,0
Нитратное	29	220	55	27
Аммиачное	0	33	185	11

В кислой среде увеличивается поступление Fe^{3+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} за счёт увеличения их подвижности, и тормозится поступление N , Mo^{2+} и $H_2PO_4^-$, образуются труднорастворимые соединения фосфора и молибдена, идёт слабая минерализация органического вещества. При щелочной реакции усиливается поступление катионов и затрудняется поступление анионов.

Физиологическая реакция солей (удобрений). Она обусловлена не только химическим составом удобрений, но и деятельностью самих растительных организмов, обладающих избирательным поглощением питательных веществ в составе катионов и анионов соли.

Если в растворе присутствует NH_4Cl , то растения интенсивнее и в больших количествах поглощают (в обмен на ионы водорода) катионы NH_4^+ , поскольку они используются для синтеза аминокислот, а затем и белков. В то же время ионы Cl^- необходимы растению в небольшом количестве, поэтому поглощение их ограничено. В почвенном растворе в этом случае будут накапливаться ионы H^+ и Cl^- (ионы соляной кислоты), произойдет его подкисление (табл. 11).

Если в растворе содержится NaNO_3 , то растение будет в больших количествах и быстрее поглощать анионы NO_3^- в обмен на анионы HCO_3^- . В растворе будут накапливаться ионы Na^+ и HCO_3^- (NaHCO_3), произойдет его подщелачивание (табл. 12).

Таблица 11

Механизм возникновения физиологической кислотности при внесении в почву хлористого аммония (образование соляной кислоты)

Растение	Почвенный раствор		Растение	Почвенный раствор
H^+	NH_4^+		NH_4^+	H^+
		\rightarrow		
HCO_3^-	Cl^-		HCO_3^-	Cl^-

Таблица 12

Механизм возникновения физиологической щёлочности при внесении в почву натриевой селитры (образование гидролитически щелочной соли – бикарбоната натрия)

Растение	Почвенный раствор		Растение	Почвенный раствор
H^+	Na^+		H^+	Na^+
		\rightarrow		
HCO_3^-	NO_3^-		NO_3^-	HCO_3^-

Гидролиз бикарбоната натрия: $\text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$

Избирательное поглощение растениями катионов и анионов из состава соли обуславливает физиологическую кислотность или физиологическую щелочность. Соли, из состава которых в больших количествах поглощается анион, чем катион [NaNO_3 , 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 [NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, KCl , K_2SO_4], и в результате происходит подкисление раствора, являются *физиологически кислыми*.

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

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

Питание растений связано с деятельностью различных многочисленных групп гетеротрофных и автотрофных, аэробных и анаэробных почвенных микроорганизмов. Наиболее активно микробиота функционирует в верхнем гумусовом слое почвы, где сосредоточен основной запас органического вещества и питательных веществ. Количество микроорганизмов особенно велико в ризосфере, то есть в той части почвы, которая непосредственно соприкасается с поверхностью корней. Используя в качестве источника питания

и энергетического материала корневые выделения, микроорганизмы активно развиваются на корнях и вблизи них и способствуют мобилизации питательных веществ почвы.

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

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

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

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

При определённых условиях в результате деятельности микроорганизмов питание и рост растений ухудшаются. Микроорганизмы потребляют для питания и построения своих тел азот и зольные элементы, то есть могут стать конкурентами

растений в использовании минеральных веществ. Вместе с тем, иммобилизация питательных элементов микроорганизмами носит временный характер, так как после их отмирания элементы питания могут высвободиться в минеральной форме и вновь использоваться растениями. Иногда процесс иммобилизации выражен настолько сильно, что неблагоприятно отражается на питании растений. Рассмотрим пример, когда в почву внесено большое количество свежего органического вещества, богатого клетчаткой, но бедного азотом (соломы, соломистого навоза). Микроорганизмы, получив источник энергетического материала, быстро размножаются и интенсивно потребляют минеральные соединения азота из почвы, закрепляя азот в органической форме. В результате питание растений азотом ухудшается, а урожай снижается. Последующая минерализация иммобилизованного азота происходит постепенно, по мере естественного возобновления микробной биомассы. Полное её возобновление в почве происходит раз в декаду на протяжении биологически активного периода года.

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

Следует знать, что некоторые микроорганизмы выделяют 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 внесенного азота удобрений и минерализуемого почвенного азота.

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

Аэрация – влияет на содержание кислорода и CO_2 . минимальное содержание кислорода в почве составляет 10%, при содержании его меньше 5% развитие корней может совершенно прекратиться. Наличие кислорода определяет окислительно-восстановительный потенциал. При недостатке кислорода идёт образование закисных форм. Аэрация оказывает сильное воздействие на жизнедеятельность почвенных микроорганизмов. Аэрация при оптимальной температуре усиливает поступление в растение, как катионов, так и анионов (табл. 13).

Таблица 13

Влияние аэрации на урожай помидор в условиях гидропоники (температура раствора, 14-20°C) [3]

Аэрация	Урожайность плодов, кг	Усвоено, мг-экв. на одно растение					Всего	
		NO_3^-	H_2PO_4^-	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	анионов	катионов
Обычная	7,11	775,9	115,5	506,3	329,3	140,7	891,4	976,3
Усиленная	9,56	1074,32	160,0	737,5	445,4	197,2	1234,2	1380,1

Влияние удобрений. Внесение фосфорных и калийных удобрений способствует увеличению зимостойкости озимых культур. Это утверждение основано на способности фосфора ускорять созревание растений и повышать буферность клеточного сока за счёт присутствия в нём катиона калия и минеральных форм фосфора. Известно также положительное влияние калия на синтез пектиновых веществ (что способствует утолщению клеточных стенок) и высокомолекулярных углеводов (приrost накопления сахаров достигает 35%), что, в свою очередь, повышает холодоустойчивость и способность растений к перезимовке.

В целом, устойчивость растений к низким температурам усиливается при обильном питании тем элементом, к которому они специфически требовательны: дополнительное азотное питание бобовых или усиленное калийное питание калиелюбивых культур (картофель, гречиха, подсолнечник и др.) смягчает отрицательное действие низких температур (ранневесенних или в течение вегетации).

При этом нужно помнить о взаимовлиянии элементов друг на друга. Например, известкование почвы под картофель, повышая долю кальция в почвенном растворе, за счёт антагонизма этих двух элементов снижает поступление к растениям калия, что усиливает отрицательное воздействие низких температур на посадки картофеля. В такой ситуации дополнительное внесение калийных удобрений под картофель поможет снизить негативный эффект непродуманного известкования.

В засушливых условиях положительное влияние на растения оказывает внесение калийных удобрений (так как калий, удерживая воду, способствует повышению осмотического давления цитоплазмы) и фосфорных (так как обеспеченность рас-

тений фосфором в условиях недостатка воды резко снижена – фосфаты поступают в растения преимущественно диффузным путем). Это тем более важно, что обеспеченность растений азотом в засуху достаточно высока (азот поступает в растения преимущественно путем массового потока, то есть меньше зависит от количественной обеспеченности почвы водой).

Таким образом, применяя удобрения, можно корректировать влияние погодных условий текущего и предшествующего годов на развитие растений.

Так, если осенью выпадает много осадков, то весной следует внести азотные удобрения; в условиях избыточного увлажнения в текущем году растениям необходим калий, а при кратковременных весенних похолоданиях – фосфор; если осень была засушливой, в следующем году значительно возрастет роль фосфорных удобрений при снижении роли азотных; в целом отрицательное влияние засухи можно снизить, используя органические удобрения, и так далее.

***Биологический и хозяйственный вынос
питательных веществ сельскохозяйственными культурами,
понятие о круговороте и балансе веществ в земледелии***

Важным показателем, который необходимо учитывать при определении потребности культур в удобрениях, является *вынос питательных веществ с урожаем*.

Общая потребность сельскохозяйственных культур в элементах минерального питания характеризуется размерами *биологического выноса* – количеством этих элементов во всей формируемой биомассе растений, то есть в надземных органах и корнях. Биологический вынос можно разделить условно на хозяйственный и остаточный. *Хозяйственный вынос* включает содержание питательных веществ в отчуждаемой с поля ос-

новной и побочной продукцией. *Остаточный вынос* включает питательные элементы, которые остаются в поле в составе корневых и пожнивных остатков, листовом опаде, потерях зерна и половы, а также некоторого количества питательных элементов, перешедших из корней в почву.

Если нетоварную часть урожая (солому или ботву) оставляют в поле, то содержащиеся в ней питательные элементы не учитывают в хозяйственном выносе. Остаточная часть выноса составляет значительную долю от биологического выноса, особенно у многолетних трав (50-60%) и овощных культур (40-60% – у капусты белокочанной и огурца, 70-80% – у капусты цветной). У зерновых культур, картофеля, кукурузы на силос на остаточную часть выноса обычно приходится 20-35% от биологического. Питательные элементы из поживно-корневых остатков, опавших листьев вновь вовлекаются в круговорот, и в дальнейшем частично используются растениями.

В практических целях потребность сельскохозяйственных культур в питательных веществах характеризуют, как правило, размером их выноса с урожаем, то есть хозяйственным выносом. Вынос питательных элементов с урожаем сельскохозяйственных культур сильно различается (табл. 14), что обусловлено особенностями химического состава растений, колебаниями уровня формируемого урожая и изменением его структуры.

Относительное содержание элементов минерального питания в основной и побочной продукции разнообразных сельскохозяйственных культур определяется их видовыми особенностями, зависит также от сорта и условий выращивания. Содержание азота и фосфора значительно выше в хозяйственно-ценной части урожая – зерне, корне- и клубнепло-

дах, чем в соломе и ботве. Калия же больше содержится в соломе и ботве, чем в товарной части урожая.

Таблица 14

Примерный вынос основных питательных элементов с урожаем сельскохозяйственных культур [15]

Культура	Урожайность основной продукции, т/га	Вынос с урожаем, кг/га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Зерновые злаковые	3,0-3,5	90-110	30-40	60-90
Зерновые бобовые	2,5-3,0	100-150	35-45	50-80
Картофель	20-30	120-200	40-60	180-300
Сахарная свёкла	40-50	180-250	55-80	250-400
Кукуруза (зелёная масса)	50-70	150-180	50-60	180-250
Капуста белокочанная	50-70	160-230	65-90	220-320
Морковь столовая	50-70	150-210	65-90	250-350
Томаты открытый грунт	20-30	30-80	10-15	70-110
Огурцы открытый грунт	20-30	35-50	25-45	50-80
Лук репка	20-30	60-90	20-35	80-120
Хлопчатник	3,0-4,0	160-220	50-70	180-240
Яблоня	20-30	60-80	15-25	70-100
Груша	10-15	30-40	7-10	30-50
Вишня	10-15	60-80	15-25	70-100
Земляника	8-10	35-45	15-20	50-60
Крыжовник	8-10	30-40	15-20	15-20
Смородина чёрная	8-10	45-60	15-20	40-50

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

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

Наследственная природа каждого вида растений определяется не только количеством выносимых элементов, но и соотношением. Основная часть сельскохозяйственных культур больше выносит азота, меньше – калия и ещё меньше – фосфо-

ра (табл. 15). В урожае зерновых колосовых культур соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ колеблется в небольших пределах и составляет 2,5-3:1:1,8-2,6, то есть в среднем потребление азота в 2,8 раза, а калия в 2,2 раза больше, чем фосфора.

Для сахарной свеклы, кормовых и овощных корнеплодов, картофеля, плодово-ягодных, подсолнечника, капусты, лука и некоторых других культур характерно гораздо большее поглощение калия, чем азота, и соотношение $N:P_2O_5:K_2O$ может составлять 2,5-3,5:1:3,5-5,0.

Таблица 15

Соотношение азота, фосфора и калия в урожае различных культур,
[15]

Культура	N	P_2O_5	K_2O
Зерновые колосовые	2,5-3,0	1	1,8-2,6
Картофель	2,5-3,5	1	4,0-4,5
Сахарная свёкла	2,5-3,5	1	3,5-5,0
Кормовая свёкла	3,5-4,5	1	4,5-6,0
Капуста белокочанная	2,5-3,0	1	3,0-3,5
Морковь столовая	2,5-3,5	1	4,0-4,5
Томаты открытый грунт	2,5-3,5	1	4,5-5,0
Огурцы открытый грунт	1,5-2,0	1	2,0-2,5
Лук репка	3,0-3,5	1	3,5-4,0
Яблоня	3,0-3,5	1	4,0-4,5
Земляника	2,5-3,0	1	3,5-4,0
Смородина	2,5-3,0	1	2,0-2,5

Вынос микроэлементов с урожаем сельскохозяйственных культур составляет лишь десятки или сотни граммов на 1 га (табл. 16), и потребность во многих из них может полностью удовлетворяться за счёт почвы и внесения органических удобрений, а нередко только за счёт запасов в семенах. Например, для формирования урожая растения потребляют с 1 га от 20 до 250 г бора. Вынос марганца с урожаем различных культур колеблется от 100 до 700 г/га, вынос меди измеряется десятками граммов с 1 га, а цинка – от 0,07 кг (капуста) до 1,5 (картофель, горчица) и 2,2 кг (сахарная свёкла) с 1 га.

Таблица 16

Средний вынос микроэлементов растениями, г/га [14]

Культура	B	Mo	Zn	Cu	Co	Mn
Зерновые	40	1,5	110	20	1,1	130
Овощи	105	17,5	600	125	8	550
Свёкла	200	15	175	75	2,2	650
Травы (сено)	60	10	55	20	1,3	200
Лён	75	2	220	30	1,6	360

Нормальное питание растений обеспечивается при оптимальном соотношении питательных веществ, поступающих в корневую систему. Доказано, что недостаток фосфора даже при обильном снабжении азотом приводит к заметному ухудшению азотного обмена в растении, ослабляется синтез белков, увеличивается количество растворимых соединений азота. Резкое преобладание азота сказывается отрицательно на синтезе углеводов. Преобладание калия над азотом и фосфором не оказывает существенного влияния на поступление азота и фосфора, но при недостатке калия существенно снижается синтез белка и значительно возрастает содержание аммиачного азота.

У корне- и клубнеплодов, подсолнечника, в зависимости от условий выращивания, может сильно изменяться структура урожая. Это вызывает резкие различия в размерах потребления основных питательных элементов и соотношении между ними. Например, в лесостепных районах на каждые 10 т урожая корнеплодов и соответствующего количества ботвы сахарная свёкла потребляет 50 кг N, 15 – P_2O_5 и 60 кг K_2O . В Нечерноземной зоне свёкла формирует больше ботвы, и на каждые 10 т корнеплодов ей требуется 80-100 кг N, 35 – P_2O_5 и 145 кг K_2O (табл. 17).

Самое продуктивное использование растениями питательных веществ из почвы и удобрений обеспечивается при наиболее благоприятных почвенно-климатических условиях,

высоком уровне агротехники в сочетании с правильным применением удобрений. Одновременно достигается минимальное потребление питательных элементов на единицу урожая товарной продукции.

Таблица 17

Вынос N, P₂O₅, K₂O 100 ц корней сахарной свеклы
и соответствующим количеством ботвы, кг, [21]

Зоны и области	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Черноземная зона	50	15	60
Нечерноземная зона	80-100	35	145
Воронежская область	36	16	63
Пермская область	78	30	130

Одной из главных задач агрохимии является изучение круговорота веществ в земледелии.

Внесение минеральных удобрений позволяет вводить в круговорот веществ в земледелии новые количества элементов питания растений, а внесение навоза и других отходов животноводства и растениеводства – повторно использовать часть питательных веществ, уже входивших в состав предыдущих урожаев (рис. 4).

Баланс элементов питания оценивается при сопоставлении суммарного количества поступивших в почву и отчуждаемых из неё питательных веществ. Как и любой баланс, баланс элементов питания в почве состоит из приходной и расходной частей. Приходные статьи баланса включают в себя поступление питательных элементов с минеральными и органическими удобрениями, с семенами, атмосферными осадками, а также азот, фиксируемый симбиотическими клубеньковыми бактериями бобовых культур и несимбиотическими свободноживущими бактериями. Расходные статьи баланса включают отчуждение элементов питания с урожаями, потери от эрозии почв, вымывания и денитрификации азота.

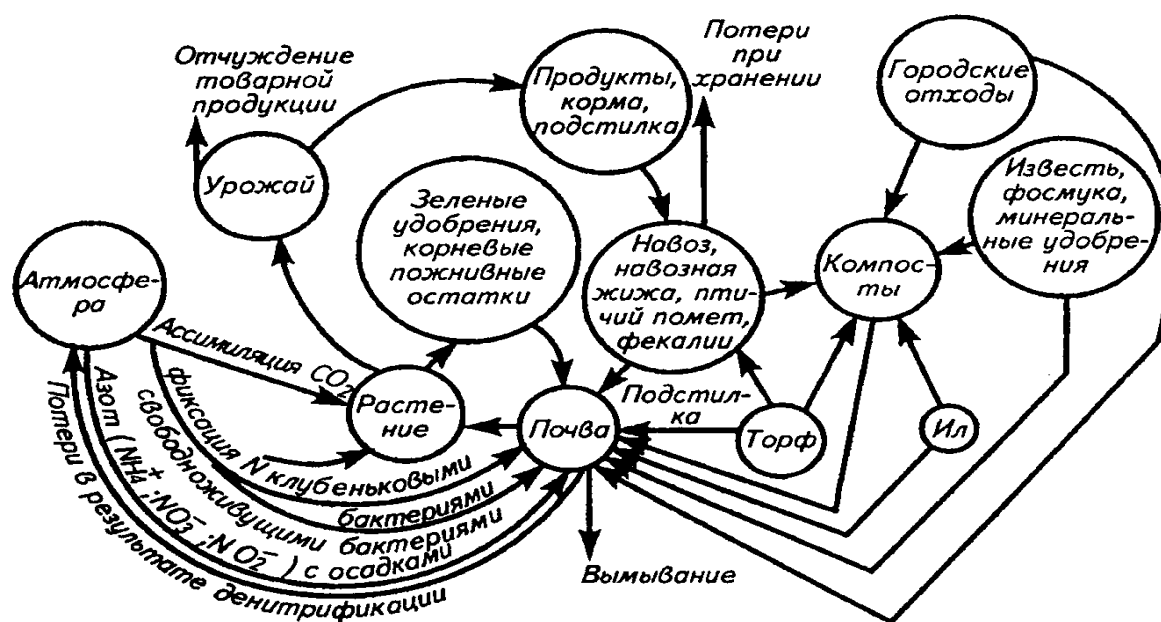


Рис. 4. Круговорот веществ в земледелии

Научно-обоснованное применение удобрений обеспечивает управление круговоротом питательных веществ и создаёт их активный баланс благодаря применению минеральных удобрений.

Поддержание положительного баланса и активного биологического круговорота элементов в земледелии – основа продуктивности агросистем.

Требования растений к условиям питания в различные периоды их роста. Динамика потребления питательных веществ в онтогенезе

Растения в разные периоды роста и развития предъявляют неодинаковые требования к условиям внешней среды, в том числе к условиям питания.

Поглощение элементов питания в период роста растений происходит неравномерно. Недостаточная обеспеченность питания в тот или иной период их жизни ведёт к снижению урожая и ухудшению его качества. Следует различать

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

У всех растений критическим периодом является фаза всходов, когда корневая система слабо развита и не может усваивать достаточно питательных веществ из почвы. В прикорневой зоне в этот период питательные элементы должны находиться в легкорастворимой форме, но концентрация их не должна быть высокой. Высокая требовательность растений к минеральному питанию в этот период связана с началом интенсивных процессов дифференциации продуктивных органов. Последующее нормальное питание азотом, фосфором не может исправить ущерба, нанесённого в начале роста. Недостаток фосфора в раннем возрасте настолько сильно угнетает растения, что урожай резко снижается даже при обильном питании фосфором в последующие периоды (табл. 18).

Таблица 18

Питание растений фосфором и урожай ячменя, г/сосуд, [15]

Дни от посева		Солома	Зерно
Фосфор все время		26,1	6,4
Без фосфора	Первые 15 дней	4,5	0,0
	От 15 до 30 дней	25,4	6,7
	От 30 до 45 дней	28,0	5,7
	От 45 до 60 дней	26,6	6,6
	После колошения	19,9	4,3

Следовательно, критический период – это такой период в жизни растений, когда недостаток или избыток элементов питания приводит к необратимым физиолого-биохимическим и морфологическим изменениям.

Вторым периодом, в котором растения весьма чувствительны к недостатку элементов питания, является период интенсивного накопления вегетативной массы, у зерновых вы-

ход в трубку – колошение, у зернобобовых и бобовых – цветение, у кормовых корнеплодов – начало образования корнеплода, у огурцов, томатов – начало плодоношения. Этот период *максимального потребления* элементов питания, под которым понимают период наибольшего поглощения питательных веществ. Так, поступление азота в растения пшеницы к фазе колошения составляет до 97%, фосфора и калия – до 100% от общего; у белокочанной капусты к фазе рыхлого кочана азота поступает 95-96%, фосфора – 100% и калия – 97%, у картофеля к фазе цветения азота поступает 42 %, фосфора – 72% и калия – 71%

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

Средне- и позднеспелые сорта картофеля наибольшее количество питательных элементов 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.

Лён имеет ярко выраженный период максимального потребления элементов минерального питания – от фазы бутонизации до цветения, хлопчатник основное количество пита-

тельных элементов потребляет с начала бутонизации до массового образования волокна в коробочках, а базилик – с начала цветения и до полного цветения ветвей первого порядка. Некоторые растения (кукуруза, подсолнечник, сахарная свёкла, томат и др.) характеризуются более плавным и растянутым потреблением питательных элементов, поглощение которых продолжается почти до конца вегетации.

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

Для масличных культур, характеризующихся сравнительно высоким содержанием фосфора в семенах, поступление его происходит в течение всего вегетационного периода, притом с высокой интенсивностью в момент формирования генеративных органов.

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

Обильное азотное питание в период образования корнеплодов и накопления в них сахаров нежелательно, так как стимулирует рост ботвы в ущерб росту корнеплода и сахаронакоплению. В этот период очень большое значение имеет

достаточный уровень обеспеченности растений калием и фосфором.

В конце вегетационного периода наблюдаются потери питательных элементов из растения. Эти потери обусловлены как отмиранием и опаданием листьев, так и экзосмосом питательных элементов из старых листьев.

Способы внесения удобрений
Создание оптимальных условий питания растений
посредством использования различных способов
внесения удобрений

Учитывая различную потребность растений в элементах питания, питание их целесообразно проводить дробно. В практике с целью удовлетворения потребности культур в элементах питания проводят основное, припосевное и послепосевное применение минеральных удобрений.

Основное внесение удобрений дают до посева растений в дозах, рассчитанных на питание в течение всего периода вегетации. Удобрения вносят под зяблевую вспашку или предпосевную культивацию на глубину от 12-15 до 22 см в слой основного роста корневой системы растений, весьма эффективным является внесение лентами с промежутками 15-20 см.

Припосевное удобрение вносят в гнёзда, лунки при посадке овощных культур, посадочные ямы – при посадке плодово-ягодных культур, а под зерновые, зернобобовые, травы – при посеве зернотуковыми сеялками в рядки ниже семян или вправо, влево от семян на 2-3 см, чтобы между удобрением и семенами была прослойка почвы. Дозы припосевого удобрения изменяются от 8 до 30 кг/га и зависят от биологических особенностей культур, от их отношения к концентрации солей.

Послепосевное удобрение – это применение удобрений в период вегетации растений, в первую очередь при чётко вы-

раженной физиологической недостаточности элементов питания для роста растений. Подкормки проводят корневые при междурядных обработках пропашных, овощных и плодово-ягодных культур культиваторами растениепитателями КРН-4,2, КРН-5,4 и некорневым опрыскиванием водными растворами удобрений разными концентрациями. Оптимальной концентрацией макроудобрений является 0,1-0,2%, допустимая – до 0,5% (исключение составляет мочевины, её концентрация допускается до 10%), а микроудобрений – от 0,02-0,05%. Лучший период для подкормки – перед началом интенсивного роста растений утром до 10 или вечером после 17 часов.

Диагностика минерального питания растений

Урожайность сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции в значительной степени определяется уровнем минерального питания. Для определения обеспеченности культур элементами питания используют почвенную и растительную диагностику.

Почвенная диагностика. Учёт доступных для растений форм элементов питания в почве – важная предпосылка для более рационального и обоснованного применения удобрительных средств в любом агроценозе. Систематический мониторинг агрохимических показателей почвы позволяет более объективно оценивать результативность как мероприятий по уходу за почвой в саду, так и систему применения удобрений, разработанную для конкретного агроценоза.

Для оценки почвы по степени обеспеченности подвижными (доступными) формами элементов и корректировки доз минеральных удобрений используют показатели (индексы) обеспеченности.

Растительная диагностика включает визуальную и химическую (тканевую и листовую).

Визуальная диагностика – определение обеспеченности растений по внешним признакам. При несбалансированном питании или длительном недостатке любого питательного элемента ход метаболических процессов в тканях растения глубоко нарушается. Это сказывается на интенсивности роста и развития, сопровождается морфологическими и анатомическими изменениями с характерными внешними проявлениями на листьях и других органах, а у плодовых и ягодных культур – и на генеративных органах (плодах). Обнаружение характерных симптомов позволяет вскрыть причину того, с какими элементами минерального питания связано это внешнее проявление.

При необходимости применения удобрений следует учитывать признаки недостатка и избытка отдельных элементов питания. При сильном недостатке или избытке элементов питания растения плохо растут и плодоносят. В таких случаях качество урожая оказывается низким.

Визуальная диагностика имеет следующие недостатки:

- 1) признаки недостатка и избытка элементов питания часто похожи;
- 2) резкий недостаток или избыток элементов, вызывающий характерные признаки, встречается достаточно редко, а небольшие отклонения от оптимума могут внешне не проявляться;
- 3) наблюдающиеся признаки могут быть следствием неблагоприятных условий внешней среды (освещённости, влажности, температуры, аэрации), а также повреждения вредителями или болезнями.

Для более точного определения обеспеченности растений элементами питания применяются тканевая и листовая диагностики.

Метод тканевой диагностики включает экспресс-методы К.Л. Магницкого и В.В. Церлинг.

Она основана на определении неорганических форм соединений элементов питания в соке или вытяжке из тканей растений. Особенно важное значение она имеет для защищенного грунта, овощеводства и плодоводства, где частый полив и подкормки позволяют своевременно скорректировать минеральное питание растений.

Листовая диагностика включает определение валового содержания элементов питания в различных органах растений. На основании многочисленных полевых исследований установлены оптимальные уровни валового содержания элементов питания в отдельных органах растения, которые обеспечивают формирование высоких урожаев хорошего качества (табл. 19, 20, 21).

Таблица 19

Оптимальное содержание азота, фосфора и калия
в овощных культурах, % на сухую массу [14]

Растения	Фаза развития	Орган	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6
Картофель	До бутонизации	Надземная часть	5,2-6,0	0,7-0,8	5,0-5,5
		Листья	4,5-5,0	0,6-1,3	5,3-5,5
	Бутонизация	Надземная часть	4,0-5,0	0,6-0,7	4,8-5,5
		Нижние листья	2,8-3,5	0,5-0,6	3,4-4,5
	Цветение	Верхние листья	4,0-4,8	0,7-0,8	3,9-4,2
		Нижние листья	2,5-3,0	0,5-0,6	3,0-3,4
Столовая свёкла	До прорывки	Взрослые листья	5,2-5,5	0,8-0,9	5,0-6,0
	Смыкание рядков	Взрослые листья	4,0-4,4	0,6-0,8	2,5-4,2
Столовая морковь	До прорывки	Надземная часть	3,5-3,7	0,8-1,0	4,2-4,5
	На пучковый товар	Надземная часть	2,6-3,0	0,6-0,7	3,5-4,0
	Сентябрь	Надземная часть	2,0-2,3	0,5-0,6	2,6-4,0
Огурцы	4 листа	Листья	4,6-4,9	>1,0	3,8-4,0
	Бутонизация	Надземная часть	3,5-4,4	0,7-0,8	2,9-3,2
		Верхние листья	4,7-5,3	0,8-0,9	4,0-4,5
	Плодоношение	Верхние листья	2,8-3,2	0,6-0,7	2,5-3,4
Томаты	Бутонизация	Листья	4,3-4,5	0,8-1,0	3,6-4,0
	Цветение	Листья	3,0-3,5	0,6-0,7	2,5-3,0
Капуста кочанная	Завязывание кочана	Листья	4,0-4,5	0,6-0,7	4,0-4,5

Таблица 20

Оптимальное содержание макроэлементов
в листьях однолетних побегов удлинения в плодовых
и ягодных насаждениях, % на сухую массу [14]

Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Яблоня	2,0-2,2	0,3-0,5	1,3-1,8	Малина	2,5-3,0	0,5-0,7	1,4-1,9
Вишня	2,0-2,5	0,3-0,5	1,6-2,5	Смородина чёрная	2,5-3,1	0,5-0,70	1,5-2,1
Груша	2,0-2,6	0,3-0,5	1,4-2,0	Смородина красная	2,9-3,2	0,5-0,7	1,6-2,0
Крыжов- ник	2,4-2,9	0,5-0,7	1,7-2,3	Земляника	2,5-3,0	0,5-0,7	2,0-3,0

Таблица 21

Оптимальное содержание азота, фосфора, калия в зерновых культурах
Предуралья, % на сухую массу [21]

Культура	Фазы развития	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая рожь	Кущение	3,4-4,0	0,9-1,2	4,0-4,5
	Колошение	2,4-2,8	0,7-0,9	2,9-3,2
	Молочное состояние	1,5-1,8	0,5-0,6	1,7-2,0
Яровая пшеница	Кущение	3,2-3,8	0,7-1,0	2,8-3,5
	Колошение	2,3-2,6	0,5-0,6	2,2-2,5
	Молочное состояние	1,8-2,0	0,4-0,5	1,3-1,6
Овес	Кущение	3,0-3,6	0,6-0,8	3,2-3,8
	Колошение	1,6-1,9	0,4-0,6	2,4-2,9
	Молочное состояние	1,0-1,3	0,4-0,5	1,2-1,5
Ячмень	Кущение	4,0-4,2	1,1-1,3	4,1-4,4
	Колошение	2,8-3,2	0,7-0,9	3,1-3,4
	Молочное состояние	1,8-2,0	0,4-0,6	2,4-2,6

Вопросы для повторения:

1. Каков элементный состав растений? Перечислите безусловно необходимые растениям макро- и микроэлементы и основные их физиологические функции. 2. Каков элементный состав сухого вещества? 3. Что такое органогенные и зольные элементы? 4. Укажите содержание воды и сухого вещества в основных видах сельскохозяйственной продукции. 5. Как влияют условия выращивания на химический состав растений? 6. Как меняется химический состав растений в зависимости от почвенно-климатических условий? 7. Что такое питание растений? 8. В каких формах поступают в растения азот, фосфор, калий, кальций, магний и другие элементы питания? 9. Расскажите об основных положениях современной теории питания растений. 10. Что такое воздушное питание растений? 11. Какие внешние условия влияют на поступление питательных элементов в растения? 12. Роль микроорганизмов в питании растений. 13. Какой питательный раствор считается сбалансированным? Что такое синергизм и антагонизм ионов? 14. Чем объясняется избирательное поглощение элементов питания растениями и проявление физиологической реакции солей?

II. АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ В СВЯЗИ С ПИТАНИЕМ И ПРИМЕНЕНИЕМ УДОБРЕНИЙ. ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ

Лекция 1. Состав почвы

- Состав почвы. Минеральная и органическая части почвы как источник элементов питания растений.
- Виды поглотительной способности почвы, их роль во взаимодействии почвы с удобрениями и в питании растений.
- Буферность почв.
- Агрохимическое обследование и оценка актуального плодородия почв.

Состав почвы. Минеральная и органическая части почвы как источник элементов питания растений

Почва является 4-фазной системой, включает в себя воздушную, жидкую, и твердую и живую.

Живая фаза. Живая фаза – это населяющие её организмы, непосредственно участвующие в почвообразовательном процессе. Они представлены огромным количеством населяющих почву разнообразных организмов (бактерий, актиномицетов, микроскопических грибов, водорослей, дождевых червей и прочих простейших), составляющих почвенно-биотический комплекс. От состава, численности и биологической активности почвенной биоты зависят плодородие почвы, её «здоровье», уровень производства и качество сельскохозяйственной продукции, состояние окружающей среды.

С её деятельностью связаны три источника почвенного плодородия: 1) снабжение растений элементами зольного питания за счёт разрушения минеральной части почвы; 2) вовлечение в биологический круговорот солнечной энергии, закрепляемой растениями в химических связях путём её вы-

свобождения и преобразования при разложении и синтезе новых органических соединений, что, в конечном итоге, приводит к формированию гумуса – основного энергетического фонда почвы; 3) связывание молекулярного азота и перевод его в доступные для растений соединения.

Внесение в почву органических и минеральных удобрений не только улучшает питание растений, но и изменяет условия существования почвенных микроорганизмов, которые также нуждаются в минеральных элементах. Навоз способствует повышению общего количества микроорганизмов в почве примерно в два раза. Аммонийные азотные удобрения существенно увеличивают численность бактерий, мочевины – бактерий и актиномицетов, нитратные формы в большей степени стимулируют развитие грибов и бактерий, фосфорные – аммонифицирующих бактерий и актиномицетов, минерализующих органическое вещество почвы.

Газообразная фаза представлена почвенным воздухом, отличающимся от атмосферного повышенным содержанием CO_2 от 0,3 до 1,0%. Более высокое содержание CO_2 обусловлено разложением корневых и пожнивных остатков, органических удобрений, микроорганизмами, дыханием корней (см. табл. 7). При взаимодействии CO_2 с H_2O образуется H_2CO_3 . Образующаяся H_2CO_3 разлагает минеральную часть, и идёт высвобождение питательных веществ из почвы (фосфора, кальция, магния).

Жидкая фаза – почвенный раствор. Это самая активная и подвижная часть почвы. В почвенном растворе совершаются процессы разрушения и синтеза гумусовых веществ, формирования вторичных минералов, образования органо-минеральных соединений. Из почвенного раствора усваиваются вода и питательные вещества. В почвенном растворе со-

держатся органические и минеральные соединения. Органические соединения представлены гумусовыми кислотами и их солями, органическими кислотами и их солями, сахарами, аминокислотами, спиртами, ферментами, дубильными веществами; минеральные соединения – анионами и катионами. Их соотношение определяет концентрацию и осмотическое давление. Нормальное потребление растениями воды и питательных веществ происходит при условии, когда осмотическое давление почвенного раствора ниже осмотического давления клеточного сока корневой системы.

Почвенный раствор находится в тесной взаимосвязи с твердой, газообразной и живой фазами почвы. В почвенном растворе содержатся все элементы, входящие в состав твердой фазы почвы. Концентрацию его можно регулировать с помощью агротехнических мероприятий (осушение, орошение и т.д.), состав – внесением удобрений, а реакцию – известкованием или гипсованием.

Твёрдая фаза почвы. Включает в себя минеральную и органическую части. Она содержит основной запас питательных веществ. Около половины состава твердой фазы приходится на кислород, одна треть – на кремний, около 11% – на алюминий и железо и лишь 6-7% – на остальные элементы. Средний химический (элементный) состав твердой фазы почвы [8] приведен в таблице 22.

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

Таблица 22

Содержание химических элементов в почвах и литосфере, %, [8]

Элемент	Почва	Литосфера	Элемент	Почва	Литосфера
кислород	49,0	47,2	калий	1,36	2,60
кремний	33,0	27,6	магний	0,63	2,10
алюминий	7,13	8,80	углерод	2,00	0,10
железо	3,80	5,10	сера	0,85	0,09
кальций	1,37	3,60	фосфор	0,08	0,08
натрий	0,63	2,64	хлор	0,01	0,045
			азот	0,10	0,10

Минеральная часть почвы. Минеральная часть почвы оставляет 90-99% массы почвы и имеет сложный минералогический и химический состав. Около 90 % общей массы минеральной части приходится на кислород, кремний и алюминий, около 10% – на долю железа, калия, кальция, магния, водорода, фосфора, марганца, серы и др. На все остальные элементы приходится около 0,5%.

Минеральная часть почвы образовалась за счёт *физического, химического и биологического выветривания*. Основными факторами физического выветривания являются температура, механическая сила воды и ветра, движение ледников. Под химическим выветриванием понимают совокупность таких явлений, в результате которых минералы, составляющие горные породы, подвергаются химическому распаду и изменяют химический состав и строение. В результате этих процессов образуются новые минералы. Факторами химического выветривания являются атмосферная вода, углекислый газ и кислород. Биологическое выветривание – это механическое разрушение и химическое изменение горных пород под воздействием организмов и продуктов их жизнедеятельности.

В почвах встречаются первичные и вторичные минералы. К первичным минералам относят кварц, полевой шпат, роговую обманку, слюду, магнетит, доломит и др. На долю кварца приходится от 60 до 90%.

Первичные минералы перешли в почву из земной коры в неизменном состоянии. Вторичные минералы возникли из первичных в результате химических и биохимических превращений. В почвах вторичные минералы находятся в виде кристаллов, они мелкодисперсны, обладают большой поверхностью и высокой поглотительной способностью. Вторичные минералы разделяют на четыре группы: монтмориллонитовые (монтмориллонит, бейделит, нонтронит и др.), каолинитовые (каолинит, глазурит), гидрослюды и минералы полуторных окислов (гематит, белит, гидрагаллит, гетит и др.). В результате выветривания таких первичных минералов, как полевой шпат ($K_2Al_2SiO_{16}$), мусковит ($H_2KAl_3Si_3O_{12}$), биотит $(H, K)_2 \times (Mg, Fe) \times (Al, Fe)_2 \times (SiO_4)_2$, нефелин $[(Na, K)_2OAl_2O_3 \times 2SiO_2]$, лейцит ($K_2Al_2Si_4O_{12}$) и других, образуются вторичные минералы, которые являются ближайшим резервом в образовании доступных форм калия почвы. В процессе выветривания происходит измельчение минералов, а с уменьшением почвенных частиц с 2 до 0,01 мм снижается содержание группы полевых шпатов и возрастает содержание глинистых минералов.

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

Почвы разного гранулометрического состава существенно различаются по минералогическому составу. Песчаные и супесчаные почвы состоят из кварца и полевых шпатов, суглинистые – из смеси первичных и вторичных минералов, а глинистые – преимущественно из вторичных глинистых минералов с примесью кварца.

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

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

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

Мелкодисперсные минеральные частицы почвы (содержащие глинистые минералы), вместе с органическим веществом, обуславливают адсорбционные процессы в почве, её поглотительную способность и буферность, которые играют важную роль при взаимодействии удобрений с почвой. В целом, от гранулометрического состава почвы зависят многие важные агрофизические (пористость, влагоёмкость, водопроницаемость, воздушный и тепловой режимы) и агрохимические (содержание кальция, магния, калия, фосфора, железа и других элементов питания) её свойства.

Органическое вещество почвы. 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 (рис. 5).



Рис. 5 Состав органического вещества почвы

Негумифицированные органические вещества сравнительно легко разлагаются в почве. Содержащиеся в них элементы питания – азот, фосфор, сера и другие переходят в доступную для растений минеральную форму. Однако не вся масса этих органических веществ полностью минерализуется. Одновременно в почве идёт синтез новых сложных органических веществ. Некоторая часть негумифицированных веществ превращается в сложные органические соединения специфической природы и служит источником для образования гумусовых веществ. В образовании гумусовых веществ ведущую роль играют почвенные микроорганизмы.

Гумус представляет собой биогенное образование сложного химического состава, которое образуется в результате длительного превращения растительных остатков под воздействием микроорганизмов. В формировании почвенного плодородия ведущая роль принадлежит гумусу, запасы и свойства которого практически определяют все агрохимические свойства и продуктивность почв. Содержание гумуса в почвах колеблется от 0,5-3,0% в дерново-подзолистых почвах и сероземах до 10-12% в типичных черноземах. Гумус состоит из двух групп гумусовых кислот (гуминовые и фульвокислоты) и гуминов (соли гуминовых и фульвокислот).

Общий запас гумуса в пахотном слое почв с невысоким его содержанием (сероземных и дерново-подзолистых) составляет 20-50 т/га, в черноземах – 150-200 т/га, а в метровом слое соответственно 50-120 и 300-800 т/га (табл. 23).

Таблица 23

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

Почва	Содержание гумуса в пахотном слое, %	Запасы гумуса (т/га) в слое почвы	
		0-20 см (в среднем)	0-100 см 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
типичный	10-12	224	650-800
обыкновенный	6-8	137	400-500
южный	4-5	-	300-350
Темно-каштановая	3-4	99	200-250
Каштановая и светло-каштановая	1,5-3	-	100-200
Серозем	1-2	37	50
Краснозем	5-7	153	150-300

С количеством и качеством гумуса тесно связаны основные морфологические признаки почв, их водный, воздушный и тепловой режимы, важнейшие физические и физико-химические свойства.

Он является источником элементов питания для растений и микроорганизмов. В нём сосредоточено 98-99% азота, 30-40% фосфора, 90% серы от общего содержания их в почве.

В почве постоянно проходят два процесса – образование и разрушение гумуса. Образование гумуса – процесс длительный. Снижение количества гумуса в почвах сопровождается ухудшением его качества, что выражается в уменьшении доли активного гумуса и относительном увеличении инертной его части. Биологически инертный гумус слабо участвует в энергетическом обмене почвы, медленно освобождает содержащиеся в нём питательные вещества, поэтому слабо влияет на эффективное плодородие почв. По обобщенным отечественным и зарубежным данным, уменьшение содержания гумуса на 1% ниже оптимального снижает урожайность зерновых в среднем на 5-6 ц/га, а увеличение на 1% повышает продуктивность севооборота не менее чем на одну тысячу к.ед. в среднем за год.

Потери гумуса, вовлеченного в сельскохозяйственное производство, обусловлены:

- уменьшением количества растительных остатков, поступивших в почву при смене естественного биоценоза агроценозом;
- усилением минерализации органического вещества в результате интенсивной обработки и повышения степени аэрации;
- разложением и биодegradацией гумуса под влиянием физиологически кислых удобрений и активизации микрофлоры за счёт вносимых удобрений;
- усилением минерализации в результате проведения осушительных или оросительных мероприятий;
- развитием водной и ветровой эрозии почв.

Основными путями компенсации минерализованного гумуса в почве являются:

- использование органических удобрений, а также сочетание их с минеральными удобрениями;
- заправка зеленых удобрений и пожнивно-корневых остатков;
- включение в севооборот бобовых и бобово-злаковых травосмесей с преобладанием бобового компонента;
- использование измельчённой соломы на удобрение с добавлением азотных удобрений;
- использование на удобрение различных отходов органического происхождения.

Для оценки гумусового состояния почв применяются различные расчетные методы баланса гумуса. Баланс гумуса представляет собой разность между статьями прихода (новообразования в почве) и расхода (минерализации), и может быть бездефицитный, положительный и отрицательный.

1. Бездефицитный баланс гумуса – когда приход в почву свежего органического вещества полностью уравнивает его расход за определённое время.

2. Положительный – когда приход свежего органического вещества превышает его расход из почвы.

3. Отрицательный – когда приход органического вещества не компенсирует его убыль из почвы.

Баланс гумуса составляют как для пахотного слоя, так и для всего профиля почв. В практических целях обычно ограничиваются составлением баланса для пахотного слоя почв, в котором процессы минерализации и новообразования гумуса протекают наиболее интенсивно и в большей степени поддаются регулированию.

Баланс гумуса можно рассчитать при использовании средних данных, полученных на основании обобщения результатов исследований в длительных стационарных опытах. Многочисленными исследованиями установлено, что при внесении в почву свежего органического вещества 70-80% его массы минерализуется в течение двух лет. Остальные 20-30% подвергаются гумификации. В свою очередь, гумус также минерализуется, теряя в среднем 1,5-2,0% исходных запасов в год. Интенсивность минерализации гумуса зависит от его запасов в почве, типа, гранулометрического состава почвы и вносимых удобрений. В среднем в суглинистых почвах за год минерализуется 1,5-1,6% от общих запасов гумуса в пахотном слое, супесчаных – 1,7-1,8% и песчаных – 1,9-2,0 %. Интенсивность минерализации гумуса под различными культурами также неодинакова: под пропашными – 1,2-1,5 т/га; яровыми и озимыми зерновыми – 0,6-1,0; травами – 0,3; в чистом пару – 1,5-2 т/га в год.

Гумусовые вещества почвы труднее подвергаются минерализации, чем органические соединения растительных остатков и других негумифицированных веществ. Однако при длительном возделывании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений может произойти значительное уменьшение общего количества гумуса и азота в почве. Ежегодная минерализация органического вещества в пахотном слое дерново-подзолистых почв составляет 0,6-0,7 т/га, а черноземов – 1 т/га с образованием соответствующего количества доступного растениям минерального азота. При содержании азота в гумусе в среднем около 5%, на каждую единицу поглощенного растениями азота из почвы должно минерализоваться 20-кратное количество гумуса.

Наиболее интенсивно происходит разложение гумуса в чистых парах, где в почве может накапливаться до 120 кг/га

минерального (преимущественно нитратного) азота. Одновременно с минерализацией органического вещества в почве постоянно происходит новообразование гумуса, а изменение общего его содержания определяется соотношением между этими процессами.

Основной источник органических веществ в почве – остатки растений и органические удобрения. Масса корневых и пожнивных остатков, попадающих в почву, в сильной степени зависит от вида культуры, её урожайности и колеблется в целом от 3-4 т/га – у однолетних культур до 7-12 т/га – у клевера и люцерны (табл. 24).

Таблица 24

Количество пожнивных и корневых остатков разных культур и содержание в них питательных веществ (Босак В.Н., 2003)

Культура	Урожай, ц/га	Остатки, кг на 1 ц продукции	Содержание питательных веществ, кг на 1 ц основной продукции		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимые зерновые (зерно)	16-20	1,5	0,90	0,41	1,60
	26-30	1,3	0,75	0,35	1,40
	≥ 35	1,1	0,65	0,30	1,15
Яровые зерновые (зерно)	11-20	1,3	0,91	0,44	1,95
	31-35	1,1	0,77	0,37	1,65
	≥ 40	0,9	0,63	0,30	1,35
Горох (зерно)	11-20	1,3	2,35	0,47	1,43
	21-30	1,2	2,17	0,43	1,32
Картофель (клубни)	100-200	0,13	0,09	0,030	0,32
	201-300	0,12	0,08	0,025	0,30
Кукуруза (зелёная масса)	150-250	0,14	0,09	0,040	0,22
	250-350	0,12	0,07	0,030	0,19
	≥ 400	0,09	0,05	0,020	0,14
Люпин (зелёная масса)	100-150	0,19	0,66	0,14	0,38
	151-200	0,18	0,63	0,13	0,36
	201-300	0,17	0,60	0,12	0,34
Клевер (сено)	21-30	1,5	3,2	0,90	1,6
	41-60	1,3	2,8	0,80	1,4
	61-70	1,2	2,6	0,70	1,3
Клевер + тимopheевка (сено)	21-30	1,5	2,9	1,10	2,5
	31-40	1,4	2,8	1,00	2,3
	41-60	1,3	2,6	0,90	2,2

Систематическое, особенно совместное, применение органических и минеральных удобрений, повышая урожаи сельскохозяйственных культур и увеличивая количество корневых и пожнивных остатков, способствует сохранению и накоплению запасов гумуса и азота в почве. Новообразование гумуса происходит и за счёт внесения органических удобрений.

Таким образом, органическое вещество – важный источник элементов питания для растений. В нём содержится почти весь запас азота, поэтому почвы, более богатые органическим веществом, отличаются и большим содержанием азота. В органическом веществе находится также значительная часть серы и фосфора, небольшое количество калия, кальция, магния и других элементов. При его минерализации азот, фосфор, сера и другие питательные элементы переходят в усвояемую для растений минеральную форму. Содержащиеся в почве гуминовые кислоты и фульвокислоты, а также углекислота, образуемая при разложении органических веществ и дыхании корней, оказывают растворяющее действие на труднорастворимые минеральные соединения фосфора, кальция, калия, магния. В результате они переходят в доступную для растений форму. Образующийся CO_2 частично выделяется из почвы в атмосферу, улучшая воздушное питание растений. Гумусовые вещества, наряду с мелкодисперсными минеральными частицами почвы, принимают участие в адсорбционных процессах, определяют поглотельную способность почвы и её буферность, оказывают положительное влияние на функциональное состояние митохондрий и хлоропластов, что способствует активизации дыхания и фотосинтеза.

Органическое вещество положительно влияет на структуру почвы, её водно-физические свойства (влагоёмкость, водо- и воздухопроницаемость), тепловой режим, устойчи-

вость к эрозионным процессам. Органические вещества для большинства почвенных микроорганизмов служат источником пищи и энергетическим материалом.

***Виды поглотительной способности почвы,
их роль во взаимодействии почвы с удобрениями
и в питании растений***

Поглотительная способность играет большую роль в питании растений и превращении удобрений в почве. Основы современных представлений о поглотительной способности почвы были разработаны известным отечественным почвоведом и агрохимиком К.К. Гедройцем. Под ***поглотительной способностью*** понимают способность почвы поглощать и удерживать различные вещества из раствора, проходящего через неё. 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, переводят их в органические соединения своих органов и тем самым предохраняют от выщелачивания из почвы. В результате деятельности растений и почвенных микроорганизмов накапливается органическое вещество, содержащее азот и зольные элементы. После отмирания корней, растений и микроорганизмов происходит постепенная минерализация и гумификация их органического вещества, а содержащиеся в них элементы питания переходят в минеральную, доступную для растений форму.

Особенностью процесса поглощения растениями и потребления микроорганизмами минеральных веществ является избирательная способность, то есть способность их усваивать

из внешней среды только те элементы, которые необходимы растениям для синтеза органических веществ, а микроорганизмам для размножения и существования. Благодаря биологической поглотительной способности корневая система бобовых и некоторых других культур способна усваивать фосфор, кальций и магний из глубоких слоев почвы и переносить их в верхние, а после отмирания корневой системы эти элементы становятся доступными для других культур.

К биологической поглотительной способности также относится азотфиксация клубеньковыми бактериями, живущими в симбиозе с корневой системой бобовых культур, а также деятельность свободноживущих в почве азотфиксирующих микроорганизмов. Эти бактерии хорошо развиваются в почвах с нейтральной реакцией среды и с достаточно высоким содержанием кальция, магния и фосфора. Некоторая часть питательных элементов удобрений, вносимых в почву, потребляется микроорганизмами, после отмирания их они снова становятся доступными и включаются в биологические и физико-химические процессы, происходящие в почве и растениях.

Кроме азотфиксирующих микроорганизмов, в почве живет множество видов и ассоциаций бактерий, участвующих в переводе труднодоступных органических и минеральных соединений в подвижное и доступное состояние.

Биологическое поглощение играет большую роль в превращении азотных удобрений в почве. Исследования с использованием стабильного изотопа ^{15}N показали, что в результате биологического поглощения в почве в органической форме закрепляется 20-40% азота аммонийных и 10-20% азота нитратных удобрений. Биологическое поглощение имеет особое значение для нитратного азота, поскольку он никаким иным путем в почве не удерживается.

Не усвоенный растениями и микроорганизмами легкоподвижный нитратный азот в районах достаточного увлажнения и орошаемого земледелия может вымываться, особенно из почв легкого гранулометрического состава. Кроме того, нитратный азот под действием микроорганизмов подвергается денитрификации и теряется из почвы в газообразной форме.

Интенсивность биологического поглощения зависит от аэрации, влажности и других физических свойств почвы, 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 соломистого навоза) вызывает быстрое размножение микроорганизмов, сопровождающееся усилением биологического закрепления минеральных форм азота и фосфора. Это приводит к ухудшению питания растений и снижению урожая.

Механическое поглощение – это способность почвы как пористого тела, задерживать крупные частицы из воздуха и фильтрующихся вод, подобно фильтру. Благодаря такому поглощению в верхних горизонтах удерживаются частички извести, фосфоритной муки, гипса, минеральных удобрений, коллоидные фракции самой почвы, живые и мертвые микроорганизмы. Способность почв к поглощению таких частиц зависит от гранулометрического состава, структуры и их сложения. Механическое поглощение песчаных и супесчаных почв намного слабее, чем глинистых и суглинистых.

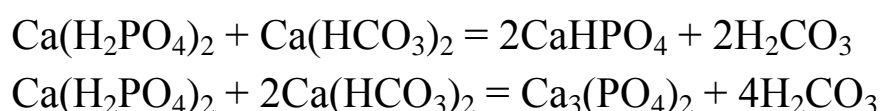
Физическая поглощательная способность – это способность почвы поглощать (положительная адсорбция) или отталкивать (отрицательная) целые молекулы газов, растворимых солей и различных органических веществ (в том числе пестицидов). Если молекулы растворимой соли притягиваются частицами почвы сильнее, чем молекулы воды (раствори-

теля), то такое поглощение называется положительным и, наоборот, если сильнее притягивается вода – отрицательная поглотительная способность. Между частицами почвы и удобрений образуется водное пространство.

Физическое поглощение приходится учитывать при внесении удобрений, содержащих нитраты, хлориды и сульфаты. Они не закрепляются почвой и легко подвижны. Известно, что хлор для некоторых культур является токсичным элементом, поэтому, внося хлорсодержащие удобрения с осени, мы можем благодаря отрицательной физической поглотительной способности почв избавиться от него. Азот нитратов, внесенный с осени, может легко вымываться в подпахотные горизонты и становиться менее доступным. Согласно исследованиям В.И. Никитишина, при промерзании почвы в зимнее время нитраты способны подниматься весной к поверхности почвы вместе с водой с глубины двух метров. В условиях Предуралья на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах нитраты удобрений в осенне-зимнее время и весной при таянии снега опускаются на глубину 80 см, при подсыхании верхнего слоя они могут подниматься по капиллярам в верхние слои. Это необходимо учитывать при внесении разных форм азотных удобрений, их превращении в почве, в критические периоды потребления азота растениями.

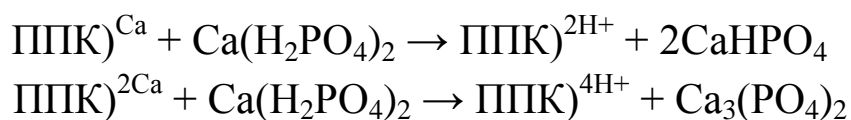
Химическая поглотительная способность связана с образованием нерастворимых и труднорастворимых в воде соединений в результате химических реакций между отдельными растворимыми солями в почве (ионами в почвенном растворе). Так, анионы угольной и серной кислот с двухвалентными катионами кальция и магния дают труднорастворимые в воде соли (CaSO_4 , CaCO_3 и MgCO_3), выпадающие в осадок.

Особое значение химическое поглощение имеет в превращении фосфора в почве. При внесении водорастворимых фосфорных удобрений (суперфосфата, содержащего фосфор в виде однозамещенного фосфата кальция $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, аммофоса $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, диаммофоса $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ и других) в почвах происходит интенсивное химическое связывание фосфора. В карбонатных, а также насыщенных основаниями почвах (содержащих много кальция и магния в поглощенном состоянии и бикарбоната кальция в почвенном растворе) химическое связывание фосфора происходит в результате образования слаборастворимых двух и более замещенных фосфатов – нерастворимых в воде солей:

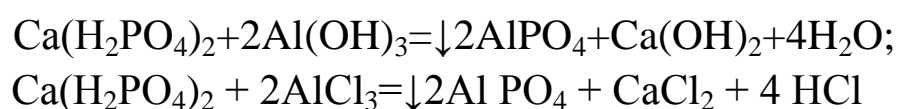


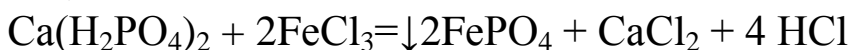
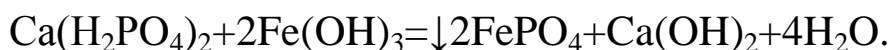
Двузамещенный фосфат кальция (CaHPO_4) растворим в слабых кислотах, и фосфор из него может усваиваться растениями. Но при образовании фосфатов кальция более высокой степени замещённости доступность фосфора для растений снижается.

Одновременно водорастворимые соли, содержащие фосфор, в почве могут химически поглощаться и при взаимодействии их с катионами ППК:



В кислых почвах (подзолистых и красноземах), содержащих много полуторных окислов, химическое поглощение фосфора идет с образованием труднорастворимых фосфатов железа и алюминия:





Фосфор свежесажженных фосфатов алюминия и железа может частично усваиваться растением, однако по мере старения осадки кристаллизуются и становятся менее растворимыми, что снижает доступность их для растений.

Химическое поглощение фосфатов называют *ретроградацией*. В почве, наряду с ретроградацией, происходит противоположный процесс – мобилизация фосфатов, то есть перевод фосфатов из труднодоступного состояния в доступное. Мобилизация может происходить при взаимодействии нерастворимых фосфатов с угольной и азотной кислотами, последняя в достаточно больших количествах находится в паровых полях. В дерново-подзолистых окультуренных почвах учхоза Пермской ГСХА за летний период накапливается 60-70 кг азота нитратов, что приравнивается к 2 ц аммонийной селитры. Угольная кислота присутствует во всех типах почв, концентрация её непостоянна и зависит от количества влаги в почве, плотности почвы, вида выращиваемых растений и других факторов.

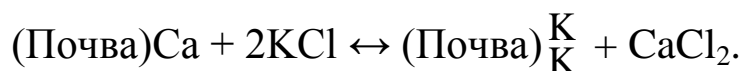
Образование водорастворимой фосфорной соли в присутствии азотной кислоты, образующейся в процессе нитрификации, происходит по следующему уравнению:



Процесс этот хорошо выражен в полях, занятых чистыми парами, где образуется максимальное количество азотной кислоты, которая переводит трехзамещенные фосфаты кальция в двух – и однозамещенные.

Обменная поглотительная способность (физико-химическая) имеет очень важное значение при взаимодействии удобрений с почвой.

Обменное поглощение – это способность мелкодисперсных коллоидных ($< 0,0001$ мм) и илистых ($< 0,001$ мм) частиц почвы поглощать из раствора различные катионы. Поглощение одних катионов из раствора сопровождается вытеснением в него эквивалентного количества других катионов, ранее поглощённых твердой фазой почвы:



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

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

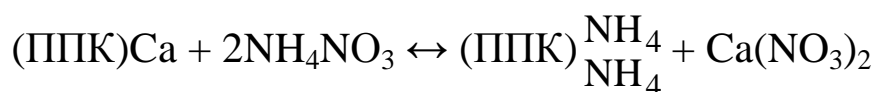
В естественном состоянии почвы всегда содержат определённое количество поглощённых катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , Al^{3+} , Na^+ , NH_4^+ и др. Эти катионы могут обмениваться на другие катионы, находящиеся в растворе.

Обменное поглощение катионов имеет свои закономерности.

1. Обмен катионами между раствором и почвенным поглощающим комплексом происходит в эквивалентных количествах. При этом устанавливается подвижное равновесие между почвой и раствором. Количество катионов, вытесняемых из поглощенного состояния в раствор, увеличивается с увеличением концентрации раствора, а при одинаковой концентрации – с увеличением объема раствора вытесняющей соли.

2. Реакция обмена катионов проходит очень быстро. При внесении в почву легкорастворимых удобрений (KCl, NH₄Cl, NH₄NO₃, NaNO₃ и др.) они сразу вступают во взаимодействие с ППК, катионы их поглощаются из раствора почвой в обмен на катионы, ранее находившиеся в ней в поглощенном состоянии.

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



В зависимости от концентрации раствора, его объёма и природы обменивающихся катионов между катионами раствора и 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, другие, наоборот, – из поглощенного состояния в почвенный раствор. При внесении в почву растворимых минеральных удобрений (например, KCl) концентрация почвенного раствора повышается, катионы удобрения вступают в обменную реакцию с катионами ППК, и часть их поглощается почвой.

При усвоении какого-либо катиона растениями концентрация его в растворе уменьшается, этот катион из поглощенного состояния переходит в раствор в обмен на другие катионы, содержащиеся в почвенном растворе. Чем выше степень насыщенности поглощающего комплекса данным катионом, тем легче и быстрее он вытесняется в раствор, и наоборот.

4. Разные катионы обладают неодинаковой способностью к поглощению. Чем больше заряд (валентность) катиона

и его атомная масса, тем сильнее он поглощается и труднее вытесняется из поглощённого 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 NH_4^+ , который по своей массе среди одновалентных катионов занимает второе место, а по энергии поглощения – третье, а также ионы H^+ , которые имеют наименьшую атомную массу, но обладают высокой энергией поглощения и способностью вытеснять другие катионы из поглощенного состояния.

Ёмкость поглощения и состав поглощённых катионов у разных почв. Разные почвы содержат неодинаковое количество способных к обмену поглощённых катионов.

Общее количество в почве всех обменно-поглощённых катионов называется *ёмкостью катионного обмена* (ЕКО), или *ёмкостью поглощения*. Она обозначается в специальной литературе буквами Т или Е и выражается в миллиграмм-эквивалентах или миллимолях на 100 г почвы. Например, если в 100 г почвы в поглощенном состоянии содержится 400 мг Ca^{2+} , 60 мг Mg^{2+} или 9 мг NH_4^+ , то ёмкость поглощения этой почвы будет $\frac{400}{20} + \frac{60}{12} + \frac{9}{18} = 25,5$ ммоль/100 г (20 – эквивалентная масса кальция, 12 – магния, 18 – аммония).

Величина ёмкости поглощения характеризует поглотельную способность почв. Она зависит от гранулометрического и минералогического состава почвы, общего содержания в ней органического вещества. Так, наибольшей ёмкостью поглощения среди глинистых минералов обладают трехслойные минералы группы монтмориллонита (60-150 ммоль/100 г минерала). Каолинит отличается малой дисперсностью и небольшой активной поверхностью, в связи с чем

его ёмкость поглощения значительно меньше – 3-15 ммоль/100 г минерала. Почвы с малым содержанием коллоидной фракции (песчаные и супесчаные) имеют низкую ёмкость поглощения. Чем больше в почве минеральных и органических коллоидных частиц, тем выше её поглотительная способность. У глинистых и суглинистых почв ёмкость поглощения больше, чем у песчаных и супесчаных.

Ещё большей поглотительной способностью обладают органические коллоиды, что определяется, прежде всего, содержанием функциональных групп гуминовых кислот. Ёмкость поглощения гуминовых кислот подзолистых почв достигает 350 ммоль/100 г вещества, а гуминовых кислот чернозема – 500 ммоль/100 г. В связи с этим богатые органическим веществом черноземные почвы имеют значительно более высокую ёмкость поглощения (30-65 ммоль/100г почвы), чем дерново-подзолистые, светло-серые и светло-каштановые почвы (10-15 ммоль/100 г для почвы среднетяжелого гранулометрического состава) (табл. 25).

Таблица 25

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

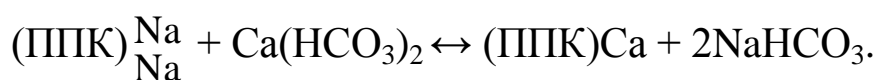
Почва	Содержание, %			ЕКО, Ммоль /100 г почвы	Состав поглощённых катионов, ммоль/100 г		
	гумуса	минеральных частиц диаметром			Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Na ⁺	H ⁺
		менее 0,00025 мм	0,00025- 0,001 мм				
Дерново- подзолистая	2,5	2	2	15	8	-	7
Серая лесная	3	5	4	20	16	-	4
Чернозем:							
выщелоченный	8	15	5	50	40	-	10
типичный	10	5	10	65	60	-	5
обыкновенный	6	5	10	35	31	2	2
южный	4,5	5	10	30	28	2	-
Каштановая	2,5	3	5	27	25	2	-
Серозем	1	3	5	15	14	1	-

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

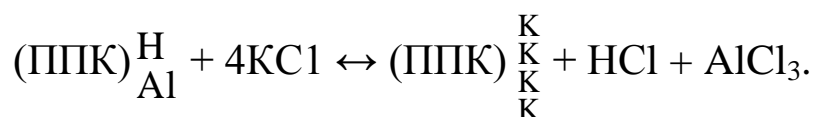
Разные почвы отличаются не только общей ёмкостью поглощения, но и составом поглощённых катионов. В большинстве почв в составе поглощённых катионов преобладает Ca^{2+} , второе место занимает Mg^{2+} и в значительно меньших количествах находятся K^+ и NH_4^+ . Сумма Ca^{2+} и Mg^{2+} обычно составляет около 90% общего количества обменно-поглощённых катионов. В кислых почвах (подзолистых и красноземах) среди поглощённых катионов значительную часть составляют H^+ и Al^{3+} , а в солонцовых почвах – Na^+ . Обменно-поглощенные почвой катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ и NH_4^+ – важный источник питательных элементов для растений, они сравнительно легко вытесняются в раствор и хорошо усваиваются растениями.

От состава поглощённых катионов в значительной степени зависят свойства почвы и условия роста растений. Кальций и магний коагулируют органические и минеральные коллоиды, которые лучше сохраняются и накапливаются в почве. Поэтому преобладание в составе поглощённых катионов Ca^{2+} , например, в черноземах, способствует увеличению ёмкости поглощения почвы, поддержанию прочной структуры и обу-

словливает её хорошие физические свойства, водный и воздушный режимы. Насыщение почвы натрием (у солонцовых почв) вызывает пептизацию коллоидов, что приводит к их вымыванию и обеднению почвы питательными элементами, к разрушению структурных агрегатов и ухудшению её физических свойств (плотное сложение, вязкость и пр.). Кроме того, при наличии натрия в ППК происходит вытеснение этого элемента в раствор в обмен его на другие катионы с образованием соды. Это обуславливает щелочную реакцию раствора, неблагоприятную для развития растений:



При большом содержании в почвенном поглощающем комплексе ионов водорода и алюминия они могут переходить в раствор, взаимодействуя с катионами водорастворимых солей и подкисляя его:



Сумму кальция и магния в миллимолях на 100 г почвы в почвенно-поглощающем комплексе называют **суммой поглощённых оснований (S)**, а долю их, выраженную в процентах от ёмкости поглощения, называют **степенью насыщенности основаниями (V, %)**:

$$V, \% = (S \times 100) / \text{ЕКО}$$

Например, ЕКО дерново-мелкоподзолистой почвы равна 14 ммоль/100 г почвы, сумма поглощённых оснований (S) составляет 10 ммоль/100 г почвы, тогда V будет равна $(10 \times 100) / 14 = 71\%$. Это означает, что кальций и магний составляют 71%, остальное водород и алюминий.

Степень насыщенности почв основаниями приходится учитывать при установлении очередности известкования кислых почв. Группировка почв по сумме поглощённых оснований и степени насыщенности почв основаниями приведена в таблице 26.

Таблица 26

Группировка почв по сумме поглощённых оснований и насыщенности ими, [24]

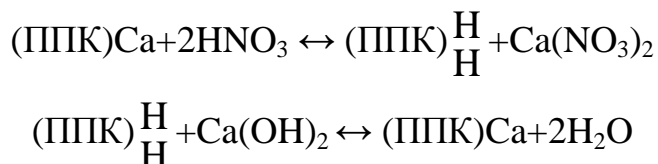
№ групп	Содержание	S, ммоль/100 г почвы	V, %
1	очень низкое	<5,0	<30,0
2	низкое	5,1-10,0	30,1-50,0
3	среднее	10,1-15,0	50,1-70,0
4	повышенное	15,1-20,0	70,1-90,0
5	высокое	20,1-30,0	>90,0
6	очень высокое	>30,0	—

Для произрастания растений большое значение имеет соотношение кальция и магния. Наиболее благоприятное соотношение складывается тогда, когда в ППК на долю кальция приходится 80-82%, а на долю магния 15-16%; 2-3% – на аммоний и калий, на водород и алюминий – не более 3%.

Буферность почвы

Буферность почвы – это способность почвы сопротивляться изменению реакции почвенного раствора в сторону подкисления или подщелачивания при внесении физиологически кислых или физиологически щелочных материалов (удобрений, осадков, пылевых выпадений и т.п.). Она в почвенном растворе обусловлена содержанием слабых минеральных кислот (H_2CO_3), воднорастворимыми органическими веществами и их солями; в твёрдой фазе, в основном, зависит от количества органического вещества в почве, содержания и состава обменных катионов в почвенном поглощающем комплексе, то есть от ёмкости поглощения и степени насыщенности почвы основаниями.

Чем больше ёмкость поглощения почвы, тем выше её буферная способность. Богатые гумусом и более тяжелые по гранулометрическому составу глинистые и суглинистые почвы обладают высокой буферностью. Почвы с низкой ёмкостью поглощения (песчаные и супесчаные) имеют слабую буферность как против подкисления, так и против подщелачивания. Поглощённые основания (кальций, магний и др.) оказывают буферное действие против подкисления, а поглощённый водород – против подщелачивания реакции почвенного раствора.



В почвах, насыщенных основаниями, свободные кислоты (например, HNO_3) нейтрализуются с образованием в растворе нейтральной соли $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ вследствие поглощения почвой ионов H^+ кислоты в обмен на катионы 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 её катионов в обмен на ионы H^+ , которые вытесняются в раствор и связывают ионы OH^- с образованием воды. Чем больше гидролитическая кислотность почвы, тем сильнее выражена буферность её против подщелачивания. Почвы с высокой степенью насыщенности основаниями обладают сильной буферностью против подкисления. Внесение органических удобрений и известкование повышают буферность почвы против подкисления. Органическое вещество почвы обладает высокой буферной способностью, как к подкислению так и к подщелачиванию.

Агрохимическое обследование и оценка актуального плодородия почв

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

Агрохимическое обследование осуществляют на всех типах сельскохозяйственных угодий со следующей периодичностью: на госсортоучастках, в экспериментальных хозяйствах опытных станций и на мелиорированных угодьях – через 3 года, в хозяйствах с интенсивным применением удобрений (более 180 кг д. в. на 1 га) – через 4 года, в хозяйствах с меньшим уровнем применения удобрений – через 5-7 лет.

По результатам анализа устанавливают группу (класс) почвы и оформляют агрохимические картограммы и паспорта полей. Группировка по степени кислотности для обозначения групп почв на картограммах приведена в таблице 27.

Таблица 27

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

№ группы (класса)	Степень кислотности почв	pH _{KCl}
1	Очень сильнокислые	Менее 4,0
2	Сильнокислые	4,1-4,5
3	Среднекислые	4,6-5,0
4	Слабокислые	5,1-5,5
5	Близкие к нейтральным	5,6-6,0
6	Нейтральные	6,1-7,0

В таблице 28 приведена группировка почв по обеспеченности подвижными формами фосфора и калия в мг/кг почвы. Обеспеченность почвы питательными элементами, в зависимости от биологических особенностей и потребности в элементах питания для разных сельскохозяйственных культур, трактуется по-разному (табл. 29).

Таблица 28

Группировка почв по обеспеченности подвижными формами фосфора и калия по Кирсанову, мг/кг [24]

№ группы (класса)	Степень обеспеченности	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Очень низкая	<25	<40
2	Низкая	25-50	40-80
3	Средняя	50-100	80-120
4	Повышенная	100-150	120-170
5	Высокая	150-250	170-250
6	Очень высокая	> 250	> 250
Дополнительная группировка по содержанию подвижного фосфора и обменного калия			
6	Очень высокая	251-500*	251-500*
7	Очень высокая	501-1000	501-1000
8	Очень высокая	1001-2000	1001-2000
9	Очень высокая	2001-3000	2001-3000
10	Очень высокая	> 3000	> 3000

* – при P₂O₅ и K₂O >250 мг/кг почвы рекомендуется определять степень подвижности.

Средний уровень обеспеченности для зерновых, зернобобовых культур и трав характеризуют показатели третьей группы, для более требовательных пропашных культур (кормовой и сахарной свеклы, картофеля, кукурузы) – четвертой группы, а для культур с еще более высоким выносом питательных элементов (овощные и некоторые технические, чай, виноград) – пятой группы.

Таблица 29

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

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

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

Для прогнозирования потребности в микроудобрениях агрохимические лаборатории проводят анализы почв на содержание подвижных форм микроэлементов и картографирование в соответствии с градациями обеспеченности, разработанными с учетом зональных биогеохимических особенностей. В таблице 30 приведена группировка почв по содержанию подвижных форм микроэлементов в зависимости от требовательности к ним возделываемых сельскохозяйственных культур.

Таблица 30

Группировка почв по обеспеченности микроэлементами
с учетом потребности растений [3]

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

В группу культур невысокого выноса микроэлементов с относительно лучшей способностью их усвоения выделены зерновые хлеба, кукуруза, зернобобовые и картофель. К группе культур повышенного выноса микроэлементов относятся корнеплоды, травы (бобовые, злаковые и травосмеси), овощные и плодовые культуры с высокой и средней усвояющей способностью. Группа высокого выноса микроэлементов включает все перечисленные выше культуры при выращивании на высоком агротехническом фоне (лучшие сорта, обработка почвы и уход за посевами, применение повышенных доз органических и минеральных удобрений, орошение и др.).

При агрохимическом обследовании в почве определяют также *содержание подвижных форм тяжелых металлов* (для экстракции используют ацетатный буфер с pH 4,5-4,8) и валовое их количество (извлекаемое 5 М HNO₃). Оценку загрязнения проводят путем сопоставления полученных данных с санитарно-гигиеническими нормативами по кратности превышения или установленных с учетом свойств почв ОДК (табл. 31).

Таблица 31

Предельно допустимые концентрации химических веществ в почвах и допустимые уровни их содержания по показателям вредности

Элемент	ПДК, мг/кг почвы с учетом фона	Показатели вредности			
		транслокационный (накопление в растениях)	миграционный		общесанитарный
			водный	воздушный	
1	2	3	4	5	6
<i>подвижные формы</i>					
Cu	3,0	3,5	72,0	-	3,0
Ni	4,0	6,7	14,0	-	4,0
Zn	23,0	23,0	200,0	-	37,0
Co	5,0	25,0	>1000	-	5,0
Cr	6,0	-	-	-	6,0
Pb	6,0	-	-	-	-
<i>валовое содержание</i>					
Mn	1500,0	3500,0	1500,0	-	1500,0
V	150,0	170,0	350,0	-	150,0

Окончание таблицы 31

1	2	3	4	5	6
Mn+V	1000+100	1500+150	2000+200	-	1000+100
Pb	30,0	35,0	260,0	-	30,0
As	2,0	2,0	15,0	-	10,0
Hg	2,1	2,1	33,3	2,5	5,0
Pb+Hg	20,0+1,0	20,0+1,0	30,0+2,0	-	30,0+2,0
Cu	55	-	-	-	-
Ni	85	-	-	-	-
Zn	100	-	-	-	-

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

На содержание тяжелых металлов и фтора государственные центры и станции агрохимической службы России ежегодно обследуют 10-12 млн. га сельскохозяйственных земель, около 1 млн. га которых классифицируются по результатам обследования как загрязненные.

Вопросы для повторения:

1. Перечислите основные показатели, характеризующие свойства почвы в связи с питанием растений и применением удобрений.
2. Из каких частей состоит почва? Их краткая характеристика.
3. Каково значение минерального состава почвы – источника питательных веществ для растений?
4. Расскажите о роли органического вещества почвы в её плодородии и питании растений.
5. Перечислите виды поглотительной способности.
6. Роль биологической поглотительной способности в питании растений.
7. Какие виды поглотительной способности проявляются при внесении аммиачной селитры, известняковой муки, суперфосфата?
8. Чем обусловлена буферная способность почвенного раствора и твердой фазы почвы?
9. Что такое ёмкость катионного обмена и степень насыщенности почв? Как эти показатели влияют на питание растений?
10. С какой целью проводится агрохимическое обследование?
11. Что такое агрохимические картограммы?
12. Как используются агрохимические картограммы в производстве?
13. Перечислите группировку почв по обеспеченности подвижными формами фосфора и калия.

Лекция 2. Химическая мелиорация почв

- Понятие, значение химической мелиорации почв.
- Виды почвенной кислотности, их значение при применении удобрений.
- Отношение различных сельскохозяйственных культур к кислотности почв и известкованию.
- Действие известкования на развитие сельскохозяйственных культур и свойства почвы.
- Известковые удобрения.
- Установление степени нуждаемости почв в известковании и расчёт доз извести.
- Способы и сроки внесения известковых удобрений в почву.
- Место внесения извести в севооборотах. Особенности известкования в различных севооборотах.
- Эффективность известкования почв.
- Гипсование солонцовых почв.
- Технологические схемы применения мелиорантов.

Понятие, значение химической мелиорации почв

Химическая мелиорация почв – создание оптимальной реакции среды путем проведения известкования и гипсования почв. Она направлена на улучшение агрохимических, агрофизических и биологических свойств почв.

Известкование – внесение в почву кальция и магния в виде карбоната, окиси или гидроокиси для нейтрализации кислотности. По результатам агрохимического обследования на 1 января 2005 года в РФ кислые почвы ($pH \leq 5,5$) занимали 34,7 млн. га пашни, или 32,4 % от обследованной пашни (107,1 млн. га).

На территории Пермского края преобладают дерново-подзолистые и серые лесные почвы.

По состоянию на 01.01.2011 г. сильнокислые и среднекислые почвы составляют 49,1%, слабокислые – 28,3%; почв с $pH > 5,5$ всего 22,6%, практически 77% почв Пермского края – кислые.

Известкование имеет первоочередное значение среди всех мероприятий по сохранению и повышению почвенного плодородия кислых почв и должно предшествовать использованию всех агротехнических мероприятий. Особенно важен этот прием химической мелиорации при применении в земледелии минеральных удобрений и возделывании высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур, эффективность которых при использовании на кислых почвах снижается на 30-40%.

Гипсование – основной прием химической мелиорации для коренного улучшения солонцов и солонцеватых почв, содержащих более 10% Na от общей ёмкости поглощения.

Солонцы и солонцеватые почвы характеризуются плохими физическими свойствами: во влажном состоянии набухают и заплывают, а при высыхании твердеют, образуют корку и растрескиваются на глыбы. Обработка таких почв сильно затруднена. Щелочная реакция солонцовых почв вредна для культурных растений. Плотный солонцовый горизонт препятствует проникновению корневой системы вглубь. Урожайность сельскохозяйственных культур на таких почвах крайне низкая.

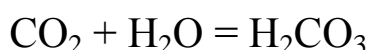
Мелиоративный фонд солонцовых земель России в сельскохозяйственных угодьях составляет около 28 млн. га, в том числе 12,4 млн. га в пашне. Наибольшие площади (и доли) солонцовых земель пахотных угодий находятся в Волгоградской (40%), Ростовской (24%), Курганской (44%), Челябинской (16%), Новосибирской (40%), Омской (21%) областях и Ставропольском крае (20%).

Виды почвенной кислотности, их значение при применении удобрений

Кислотность почв обуславливается наличием ионов водорода в почвенном растворе и ППК. Является важным фактором, влияющим на поступление питательных веществ в растение, как следствие – на рост и развитие его, и на жизнедеятельность полезных микроорганизмов. Различают две формы кислотности: актуальную и потенциальную.

Актуальная кислотность – это кислотность почвенного раствора, данный показатель динамичный и изменяется под воздействием вносимых удобрений. Реакция почвенного раствора определяется концентрацией находящихся в нём ионов водорода (H^+) и гидроксила (OH^-). Реакцию (pH) определяют в водной вытяжке потенциометрически.

Кислая реакция почвенного раствора обусловлена присутствием в нём органических, угольной и других минеральных кислот. Угольная кислота образуется в результате выделения корнями растений углекислого газа и при минерализации органического вещества почвы, при растворении в воде:

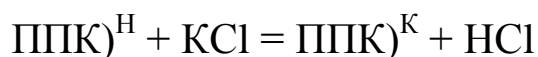


Угольная кислота слабая, диссоциирует на ионы водорода (H^+) и HCO_3^- .

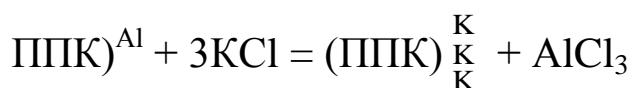
Органические кислоты образуются в результате жизнедеятельности микроорганизмов и выделений корневой системой растений. Азотная кислота может образовываться в результате нитрификации аммония почвы. Дополнительное подкисление почвенного раствора вызывают вносимые физиологически кислые удобрения, такие как сульфат аммония $[(NH_4)_2SO_4]$, хлористый аммоний (NH_4Cl), аммонийная селитра (NH_4NO_3), все калийные удобрения. Эту форму кислотности называют активной, она присутствует во всех почвах, является самой низкой и самой вредной.

Потенциальная кислотность или скрытая обусловлена наличием ионов водорода и алюминия в ППК, возникает в результате обменных реакций при взаимодействии ППК и солями почвенного раствора. Потенциальная кислотность подразделяется на обменную и гидролитическую.

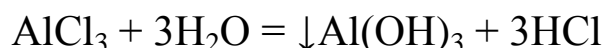
Обменная кислотность обусловлена наличием ионов водорода и алюминия в диффузном слое мицелл коллоидов поглощающего комплекса почв. Определяют обменную кислотность в фильтрате после обработки почвы 1 н раствором хлористого калия с рН 5,8-6,0 (то есть нейтральной солью) при соотношении почва: вытеснитель 1:5. В результате вытеснения ионов водорода происходит подкисление почвенного раствора за счёт HCl:



Кроме водорода, раствором нейтральной соли вытесняется и алюминий:



В растворе хлористый алюминий гидролизуеться, образуя соляную кислоту по уравнению:



Образовавшаяся соляная кислота за счёт водорода и алюминия суммарно определяется потенциметрически в единицах рН или объёмным методом в миллимолях на 100 г почвы. В состав обменной кислотности входит и актуальная кислотность. Наибольшую обменную кислотность имеют дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы (до 4 ммоль/100 г) и практически не имеют её дерново-карбонатные почвы.

Чем выше оподзоленность почв, тем выше кислотность, обусловленная поглощенным алюминием. Подкисляя почву, алюминий может также оказывать непосредственное влияние на рост и развитие растений. Наличие подвижного алюминия в почве является естественным природным экологическим фактором снижения урожайности некоторых весьма важных сельскохозяйственных культур. При содержании 2-3 мг в 100 г почвы он становится ядом для растений. Большие исследования в этом направлении проведены в 60-70 годы двадцатого столетия академиком Н.С. Авдониным.

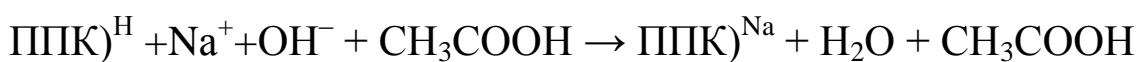
Обменная кислотность является подвижной и изменяется при применении минеральных удобрений.

Почвы Пермского края имеют рН от 4,0 (подзолистые) до 6,8 (дерново-карбонатные); почв со щелочной реакцией среды нет.

Гидролитическая кислотность. При обработке почвы раствором нейтральной соли, то есть 1 н КСl вытеснить полностью ионы водорода не удаётся. Если вместо нейтральной соли взять раствор гидролитически щелочной соли, в частности, уксуснокислый натрий (CH_3COONa) с рН 8,2, то в раствор вытеснится из ППК почвы значительно больше водорода, чем при использовании 1 н КСl. Щелочная реакция уксуснокислого натрия получается при его диссоциации в воде, в результате образуется слабая уксусная кислота (CH_3COOH) и сильная щелочь NaOH:



Щелочная реакция такого раствора служит причиной активного его действия на водород и алюминий ППК:



Таким образом, водород более полно вытесняется из ППК. Этот вид кислотности называется гидролитической.

Гидролитическая кислотность включает менее подвижный водород, который труднее обменивается на катионы почвенного раствора. Гидролитическая кислотность включает в себя собственно гидролитическую, обменную и актуальную, являясь суммарной величиной кислотности. Собственно гидролитическая кислотность менее подвижна, но является источником образования обменной и актуальной кислотности. Поэтому при расчете доз известьсодержащих удобрений необходимо первоначально решать вопрос о том, какую форму кислотности собираемся снизить.

Отношение различных сельскохозяйственных культур к кислотности почв и известкованию

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

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

1. Не переносят кислой реакции: люцерна, эспарцет, пшеница озимая, райграс, сахарная, столовая и кормовая свёкла, конопля, капуста белокочанная, клевер красный, горчица, рапс, лук, чеснок, сельдерей, перец, пастернак, смородина: для них оптимум рН лежит в узком интервале – от 7 до 7,5. Они сильно отзываются на известкование даже слабокислых почв.

2. Чувствительны к повышенной кислотности: пшеница, ячмень, кукуруза, подсолнечник, горох, вика, пелюшка, кле-

вер розовый, лисохвост, костер, овсяница луговая, мятлик, капуста кормовая, кольраби, капуста цветная, брюква, турнепс, огурец, лук-порей, салат, дыня, яблоня, слива, вишня, земляника. Они предпочитают нейтральную реакцию (рН 6-7) и хорошо отзываются на известкование не только сильно- и среднекислых, но и слабокислых почв.

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

4. Предпочитают слабокислую реакцию и нуждаются в известковании только на средне- и сильнокислых почвах лён и картофель. Картофель малочувствителен к реакции в диапазоне рН 4,5-6,5, а для льна лучше слабокислая реакция (рН 5,5-6,5). Высокие дозы CaCO_3 , особенно при ограниченных дозах минеральных удобрений, отрицательно влияют на качество урожая этих культур. Картофель сильно поражается паршой, при этом снижается содержание крахмала в клубнях, а лён болеет бактериозом, что приводит к снижению выхода и ухудшению качества волокна. Отрицательное влияние известкования кислых почв полными дозами на картофель и лён объясняется не столько нейтрализацией кислотности, сколько уменьшением доступности растениям бора. Кроме того, при избыточной концентрации ионов кальция в почвенном растворе затрудняется поступление в растение других катионов, в частности, магния и калия.

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

5. Предпочитают кислую реакцию и чувствительны к избытку водорастворимого кальция в почве люпин, щавель, сераделла и чайный куст. При известковании повышенными дозами эти культуры снижают урожай. При возделывании люпина и сераделлы на зелёное удобрение известь рекомендуют вносить не перед посевом, а при запашке этих культур в почву.

Особенно чувствительны растения к повышенной кислотности почвы в первый период роста, сразу после прорастания. В опытах Н.С. Авдонина (1965) с ячменём была отмечена следующая закономерность (табл. 32).

Таблица 32

Влияние кислотности почвы на урожайность ячменя [1]

$pH_{\text{сол.}}$ и периоды роста	Урожайность зерна, г/сосуд
6,5–7,0 в течение всей вегетации	9,44
5,0–5,5 в течение всей вегетации	4,37
5,0–5,5 первые 20 дней, остальное время 6,5–7,0	4,91
5,0–5,5 от 20 до 40 дней, остальное время 6,5–7,0	9,02
5,0–5,5 от 40 до 60 дней, остальное время 6,5–7,0	7,67

Таким образом, на большинство сельскохозяйственных культур повышенная кислотность почвы действует отрицательно, и они хорошо отзываются на известкование.

***Действие известкования
на развитие сельскохозяйственных культур
и свойства почвы***

Повышенная кислотность почвенного раствора отрицательно влияет на растение: ухудшаются рост и ветвление корней, проницаемость клеток корня (поэтому ухудшается использование растениями воды и питательных веществ почвы и удобрений), нарушается обмен веществ в растениях.

Помимо непосредственно отрицательного влияния, повышенная кислотность почвы оказывает на растение многостороннее косвенное действие. Кислые почвы имеют неблагоприятные биологические, физические и химические свойства. Коллоидная часть их бедна кальцием, магнием и другими основаниями, а насыщение водородом минеральных коллоидных частиц приводит к постепенному их разрушению.

Соединения кальция с пектиновыми веществами участвуют в формировании клеточных стенок и склеивают между собой отдельные клетки. Катионы кальция играют важную роль в стабилизации структуры мембран, оказывают влияние на поступление других ионов в клетку. Катионы кальция принимают участие в создании необходимого ионного равновесия, определяющего благоприятное физико-химическое состояние протоплазмы. Кальций активирует ряд ферментных систем клетки, играет важную роль в передвижении углеводов, оказывает влияние на превращение азотсодержащих веществ

Магний необходим для фотосинтеза: входит в состав хлорофилла и стабилизирует структуру хлоропластов, выполняет структурообразующую роль, входит в состав мембран и клеточных стенок. Он участвует в создании необходимого ионного равновесия в цитоплазме, активирует деятельность большого числа ферментов (около 300), катализи-

рующих различные биохимические реакции. Играет важную роль в обмене азота и фосфора и участвует в передвижении фосфора в растениях. Участвует в процессах обмена углеводов, ускоряет отток подвижных углеводов в репродуктивные органы и синтез крахмала. Он регулирует направленность окислительно-восстановительных процессов, способствуя накоплению восстановленных соединений – жиров, эфирных масел и так далее.

Отрицательное влияние повышенной кислотности в значительной степени связано с увеличением подвижности алюминия и марганца в почве, повышением содержания их в почвенном растворе, что неблагоприятно для растений.

Особенно очень чувствительны к повышенному количеству подвижного алюминия клевер, люцерна, озимая пшеница и рожь (при перезимовке), свёкла, лук, чеснок, салат, шпинат; чувствительные – пшеница, лён, горох, гречиха, ячмень; средне чувствительные – просо, томат, люпин, редис, морковь, картофель, кукуруза. Эти культуры страдают при содержании его в почве свыше 2-3 мг/100 г (табл. 33).

Таблица 33

Группировка культур по чувствительности
к содержанию подвижного алюминия [1]

Группа	Культуры
1. Наиболее чувствительные	Озимые зерновые (пшеница и рожь), клевер, люцерна, сахарная и столовая свёкла, лук, чеснок, салат, шпинат
2. Чувствительные	Яровая пшеница, ячмень, гречиха, горох, фасоль, лён
3. Средне чувствительные	Просо, картофель, кукуруза, люпин, томат, редис, морковь
4. Высокоустойчивые	Овёс, тимофеевка

Повышенную концентрацию подвижного марганца переносят без вреда овёс, тимофеевка, овсяница; чувствительные – яровая пшеница, ячмень, горох, вика, клевер, карто-

фель, кукуруза, рапс, турнепс, брюква, морковь, белокочанная; очень чувствительные – озимые зерновые (пшеница и рожь), люцерна, лён, сахарная, кормовая и столовая свёкла (табл. 34).

Таблица 34

Группировка культур по чувствительности к содержанию подвижного марганца, (Рекомендаций ВИУА, 1992)

Группа	Культуры
1. Очень чувствительные	Озимые зерновые (пшеница и рожь), люцерна, лен, сахарная, кормовая и столовая свёкла
2. Чувствительные	Яровая пшеница, ячмень, горох, вика, клевер, картофель, кукуруза, рапс, турнепс, брюква, морковь, белокочанная, цветная и кормовая капуста, огурец, томат, лук
3. Относительно устойчивые	Овёс, тимофеевка, овсяница

При высоком содержании подвижного алюминия, марганца и железа в кислых почвах усиливается связывание усвояемых форм фосфора с образованием нерастворимых и малодоступных для растений фосфатов полуторооксидов, ухудшается питание растений фосфором.

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

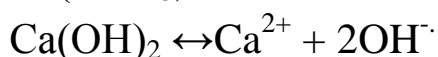
В кислых почвах сильно подавлена деятельность полезных почвенных микроорганизмов, особенно азотфиксирующих свободноживущих и клубеньковых бактерий, для развития которых наиболее благоприятна нейтральная реакция.

Слабо протекает образование доступных для растений форм азота, фосфора и других питательных веществ вследствие ослабления минерализации органического вещества. В то же время повышенная кислотность способствует развитию в почве грибов, среди которых много паразитов и возбудителей различных болезней растений.

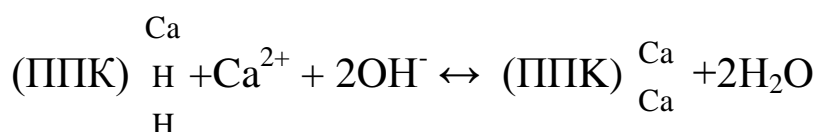
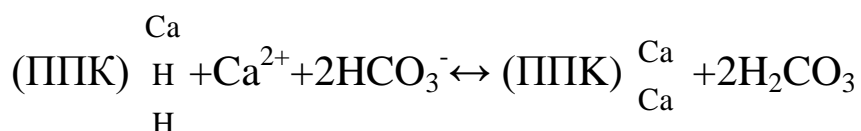
Изменения вызываемые в почве известью. Основное вещество, нейтрализующее почвенную кислотность в составе известковых удобрений, – карбонат кальция (CaCO_3), или известь. При внесении в почву нерастворимый в воде карбонат кальция взаимодействует с угольной кислотой, находящейся в почвенном растворе, и нейтрализует её с образованием растворимого в воде бикарбоната кальция:



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



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



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

При внесении извести нейтрализуются свободные органические кислоты (в том числе гуминовые), а также образующиеся в почве минеральные кислоты (например, азотная при нитрификации аммонийного азота). Следовательно, известь нейтрализует свободные кислоты в почвенном растворе, а также ионы водорода в почвенном поглощающем комплексе, то есть устраняется активная и обменная кислотность, значительно снижается гидролитическая кислотность, повышается насыщенность почвы основаниями.

Устраняя кислотность, известкование оказывает многостороннее положительное действие на свойства почвы и её плодородие. Замена поглощенного водорода кальцием сопровождается коагуляцией почвенных коллоидов, в результате чего уменьшаются их разрушение и вымывание, улучшаются физические свойства почвы (структурность, водопроницаемость, аэрация). Известкование улучшает качество гумуса за счёт образования гуматов кальция и магния и закрепления гумусовых веществ. Улучшение сорбирующих свойств коллоидов снижает миграцию питательных веществ, например, потери калия снижаются на 20-40%, повышается коэффициент использования питательных веществ примерно на 10-15%, что позволяет уменьшить дозы органических и минеральных удобрений.

Известь снижает содержание в почве подвижных соединений алюминия и марганца, они переходят в неактивное состояние, в итоге устраняется вредное влияние их на растения.

Известкование способствует переводу труднодоступных для растений фосфатов алюминия и железа в более доступные фосфаты кальция и магния.

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

При внесении извести почва обогащается кальцием, а при использовании доломитовой муки – и магнием. Потребность сельскохозяйственных культур в этих элементах в естественных условиях обеспечивается за счёт обменно-поглощённых ионов; водорастворимых соединений кальция и магния в почве обычно мало. Подавляющая часть кальция и магния находится в недоступной для растений форме – в составе минералов и труднорастворимых солей.

Под влиянием известкования в результате снижения кислотности и улучшения физических свойств почвы усиливаются жизнедеятельность микроорганизмов и мобилизация ими азота, фосфора и других питательных веществ из почвенного органического вещества. В известкованных почвах интенсивнее протекают процессы минерализации органического вещества (аммонификации и последующей нитрификации), лучше развиваются азотфиксирующие бактерии (клу-

беньковые, свободноживущие и ассоциативные), обогащающие почву азотом за счёт азота атмосферы. Следовательно, улучшается азотное питание растений. Возрастающая биологическая активность способствует снижению заражённости почв болезнетворными микробами. Уменьшается необходимость применения химических средств защиты растений.

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

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

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

Известковые удобрения

Известковые материалы получают размолотом или обжигом твёрдых известковых пород (известняк, доломит, мел) или используют для известкования мягкие известковые породы и различные отходы промышленности, богатые известью (табл. 35).

Твёрдые известковые породы в основном содержат CaCO_3 и MgCO_3 , песок и глину. По содержанию CaO и MgO делятся на три группы – известняки (содержат CaO =55-56% и MgO до 0,9%), доломитизированные известняки (содержат CaO =42-55% и MgO =0,9-9,0%), доломиты (содержат

CaO=30-32% и MgO=18-20%). По содержанию нерастворимого остатка подразделяются на чистую известковую породу – примеси до 5%, мергелистую или песчаную – примеси 5-25% и мергель – примеси 25-50%.

Мел содержит до 55 % CaO и до 0,6 % MgO, он отличается большей мягкостью. Твёрдые породы являются исходным материалом для производства известняковой и доломитовой муки, мела, жженной и гашёной извести.

Известняковая мука. Основное промышленное известковое удобрение, получаемое при размоле или дроблении известняков, которые состоят в основном из карбоната кальция (CaCO_3), но чаще всего доломитизированы, то есть содержат также MgCO_3 (до 10-15% в расчете на MgO). Чем больше в породе MgCO_3 , тем она тверже и прочнее.

Таблица 35

Характеристика известковых удобрений [3]

Удобрения	В пересчёте на CaCO_3 , %	Содержание, H_2O %
Промышленные известковые удобрения		
Известняковая мука	80-85	1,5-6,0
Доломитовая мука	100	1,5-6,0
Жжёная (негашёная, комовая) известь	170	
Гашёная известь (пушонка)	135	
Местные известковые удобрения		
Известковый туф (ключевая известь) 1 сорт	80	30
Известковый туф (ключевая известь) 2 сорт	70	30
Гажа (озёрная известь)	60	30
Мергель	50-80	12
Торфотуф	10-50	
Природная доломитовая мука	80	12
Отходы промышленности, богатые известью		
Сланцевая зола	65-85	
Дефекат (дефекационная грязь)	65-75	
Цементная пыль	не менее 60	2,0
Металлургические шлаки	80-90	
Белый известковый шлак	50-68	
Белитовая мука (шлам)	45-50	

При повышенном содержании MgCO_3 (18-20% в расчете на MgO) порода называется доломитом; при её размоле получается *доломитовая мука*. Известковые материалы, содержащие магний, для многих сельскохозяйственных культур (свёкла, картофель, лён, 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 дозами на картофель и лён.

Качество известковых удобрений оценивают по количеству соединений, нейтрализующих кислотность почвы, и по тонине помола. Промышленные известковые удобрения должны содержать не менее 85% CaCO_3 и MgCO_3 . Чем тоньше помол известняковой и доломитовой муки, тем скорее и полнее она взаимодействует с почвой, быстрее нейтрализует кислотность и тем выше эффективность известкования. Наиболее эффективна известняковая мука с тониной помола менее 0,25 мм. При высоком содержании грубых частиц (крупнее 1-3 мм) эффективность её резко снижается.

Согласно государственному стандарту, известняковая мука первого и второго сортов первого класса должна содержать, соответственно, 88 и 85% нейтрализующих веществ в расчете на CaCO_3 , не более 3-5% частиц крупнее 1 мм, 90-95% с размером частиц менее 0,25 мм, а влажность пылящей известняковой муки не должна превышать 1,5%, слабопылящей – 4-6%.

Известь. При обжиге известняков CaCO_3 превращается в CaO ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$), получается *жжёная* (негашёная, комовая 170% нейтрализующих веществ в расчете на CaCO_3) *известь*. При взаимодействии её с водой образуется гидроксид кальция [$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2$], называемый *гашёной известью* (пушонкой, 135% нейтрализующих веществ

в расчете на CaCO_3). Это тонкий, рассыпающийся порошок. По способности нейтрализовать кислотность почвы 1 т $\text{Ca}(\text{OH})_2$ равна 1,35 т CaCO_3 . Пушонка – быстродействующее известковое удобрение. Эффективность её в первый год после внесения может быть выше, чем CaCO_3 , но с годами их действие выравнивается.

Мягкие известковые породы не требуют размола. Имеют местное значение для известкования кислых почв. К ним относятся известковые туфы, гажа, мергель, торфотуфы, доломитовая природная мука.

Известковый туф (ключевая известь) – ценное известковое удобрение, содержит не менее 80-70% CaCO_3 . Перед внесением иногда необходимо отсеивать более крупные твердые частицы. Месторождения известковых туфов чаще всего встречаются в пониженных элементах рельефа – при-террасных поймах, местах выхода ключей.

Гажа (озерная известь) должна содержать не менее 60% CaCO_3 . Она залегает в местах усыхания замкнутых водоемов, почти целиком состоит из частиц менее 1 мм. Озерная известь – быстродействующее эффективное известковое удобрение.

Мергель содержит от 50 до 80% CaCO_3 и MgCO_3 . Встречается в виде рассыпчатой массы и плотной породы. Плотный мергель вывозят на поле зимой и складывают небольшими кучами. Под влиянием влаги и низкой температуры он разрыхляется, переходит в рассыпающуюся массу, которую можно вносить в почву.

Торфотуфы – низинные торфа, богатые известью (от 10 до 50% CaCO_3), наиболее пригодны для известкования кислых почв, бедных органическим веществом и расположенных вблизи мест их залегания.

Доломитовая природная мука содержит CaCO_3 и MgCO_3 (в сумме 95% и более в пересчете на CaCO_3). Это особенно

ценное известковое удобрение для почв легкого гранулометрического состава. Доломитовая мука, используемая для известкования, должна содержать не менее 80% нейтрализующих веществ в расчете на CaCO_3 и влаги не более 12%.

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

Цементная пыль, улавливаемая при производстве цемента, должна содержать не менее 60% нейтрализующих веществ в расчете на CaCO_3 и влажность не более 2%.

Сланцевая зола – получают при обжиге сланцев, содержит 65-85% CaCO_3 .

Металлургические шлаки – получают при выплавке стали, содержат до 80-90% CaCO_3 , требуют размола.

Белый известковый шлак – отход Чусовского завода, содержит 50-68% CaCO_3 , не требуют размола.

Белитовая мука (шлам) – отход алюминиевой промышленности, содержит до 45-50% CaCO_3 , не требуют размола.

В зоне возделывания сахарной свеклы для устранения вредной для этой культуры кислотности почв может использоваться отход свеклосахарного производства – *дефекат*, содержащий 60-75% CaCO_3 . При этом необходимо контролировать содержание в нем жизнеспособных семян сорных растений.

Дополнительными источниками поступления кальция являются фосфоритная мука, органические удобрения. С 1 т фосфмуки поступает 550 кг CaCO_3 , с 1 т навоза – 5-6 кг CaO и 1-3 кг MgO, из атмосферы в год на 1 га поступает 15-25 кг CaO и MgO.

Установление степени нуждаемости почв в известковании и расчёт доз извести

Необходимость известкования почвы можно ориентировочно 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 её в известковании указывают 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 рН солевой вытяжки 4,5 и ниже потребность в известковании сильная, 4,6-5,0 – средняя, 5,1-5,5 – слабая, а при рН более 5,5 – отсутствует. Величина кислотности почвы – важный, но не единственный показатель, характеризующий потребность почвы в известковании.

Определение нуждаемости почв в известковании можно провести и по насыщенности почв основаниями. Почвы тяжелого гранулометрического состава со степенью насыщенности меньше 50% сильно нуждаются в известковании, 51-65% – средне, 65-75% – слабо и более 75% – не нуждаются.

Для почв легкого гранулометрического состава градации нуждаемости по степени насыщенности каждой группы почв меньше на 10%. С учетом этих трех показателей определяют степень нуждаемости почвы в известковании (табл. 36).

Таблица 36

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

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

При известковании, кроме свойств почвы, необходимо учитывать особенности культур, возделываемых в севообороте. В севооборотах с большим удельным весом льна и картофеля слабонуждающиеся почвы не известкуют, а с чувствительными к кислотности культурами в первую очередь следует известковать почвы не только сильно-, но и средненуждающиеся. Показания $pH_{(сол.)}$, при которых, в зависимости от типа севооборотов гранулометрического состава, почвы не известкуют, приведены в таблице 37.

Почвы с $pH > 5,5$ в полевых севооборотах, 5,6-6,0 в кормовых и 6,0-6,2 в овощных севооборотах можно не известковать.

Торфяные почвы с $pH_{КСl}$ 4,7-5,0 и степенью насыщенности 65-75 % известкования не требуют (табл. 38). Для улучшения магниевого питания целесообразно на таких почвах вносить доломитовую муку.

Таблица 37

Оптимальные значения pH (Рекомендации Главного управления
химизации сельского хозяйства РФ)

Гранулометрический состав почв	Севообороты					Пастбища и сенокосы	
	полевые с высоким удельным весом льна	полевые с травами, льном, картофелем	полевые с сахарной свеклой и люцерной	кормовые прифермские	овоще-кормовые	злаковые	бобово-злаковые
Подзолистые и дерново-подзолистые почвы:							
песчаные и супесчаные	5,0	5,3	5,5	5,6	5,6	5,2	5,4
среднесуглинистые и легкосуглинистые	5,2	5,4	6,2	5,8	6,0	5,4	5,6
глинистые и тяжело- суглинистые	5,4	5,5	6,4	6,0	6,2	5,6	6,0
торфяные	—	4,8	—	5,0	5,2	4,6	5,0
Серые лесные почвы, оподзоленные черноземы:							
песчаные и супесчаные	—	5,4	6,0	5,8	6,0	5,5	5,8
среднесуглинистые и легкосуглинистые	5,4	5,6	6,5	6,0	6,4	5,7	6,2
глинистые и тяжелосуглинистые	5,6	5,8	6,7	6,2	6,6	5,9	6,4

Таблица 38

Установление потребности торфяных почв в известковании
(«Рекомендации по известкованию осушаемых торфяных почв», 1977)

Потребность в известковании	pH _{сол.}	V, %
Сильная	< 3,5	< 35
Средняя	3,5-4,2	35-55
Слабая	4,2-4,8	55-65
Отсутствует	>4,8	> 65

Доза извести зависит от степени кислотности почв, их гранулометрического состава и особенностей возделываемых культур. Её устанавливают по обменной и гидролитической кислотности.

По обменной кислотности используют два метода расчёта:

- по среднерекомендуемым дозам (табл. 39, 40);
- на сдвиг реакции (табл. 41, 42).

Таблица 39

Дозы извести для почв с содержанием гумуса до 3 %, т/га
(Рекомендации Главного управления химизации сельского хозяйства РФ)

Почвы	рН _{КСІ}					
	очень сильно- и сильнокис- лые		среднекислые		слабокислые	
	4,5 и ≤	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4-5,5
Песчаные, супесчаные, легкосуглинистые	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0
Среднесуглинистые	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5
Тяжелосуглинистые, глинистые	8,0	7,5	6,5	5,5	5,0	4,5

Для почв Пермского края М.П. Петуховым с сотрудниками кафедры агрохимии ПСХА в 1972 г. были предложены дозы извести в зависимости от типа почв и содержания в них гумуса (см. табл. 40).

Таблица 40

Дозы извести, рекомендуемые для известкования различных почв
в Пермском крае, т/га

рН _{КСІ}	Потребность в известковании	Дерново-подзолистые			Серые лесные		
		глинистые, тяжелосуглинистые, гумус 2-4 %	легкосуглинистые, гумус 1,5-3 %	песчаные, супесчаные, гумус 1-2 %	светло-серые, гумус 3,5-5 %	серые, гумус 5-6 %	темно-серые, гумус 6-8 %
< 4,0	очень сильная	8,0-7,0	7,0-6,0	5,0-4,5	—	—	—
4,1-4,5	сильная	6,0-5,0	5,0-4,0	4,0-3,0	—	—	—
4,6-5,0	средняя	5,5-4,5	4,5-3,5	3,5-2,5	5,0-4,0	4,5-3,5	4,0-3,0
5,1-5,5	слабая	4,0-2,0	3,0-2,0	2,0-1,5	3,5-2,5	3,0-2,0	2,5-1,5

Агрохимическая служба страны в последние годы расчет доз извести проводит по нормативам её затрат на смещение величины рН (сол.) (табл. 41).

Интересные методические работы в этом направлении сделаны Т.Н. Кулаковской в Белоруссии, в России – И.А. Шильниковым (ВИУА). На основании многочисленных опытов он подсчитал, что для сдвига в щелочную сторону на 0,1 рН на супесчаных дерново-подзолистых почвах требуется 0,4 т/га CaCO_3 , на суглинистых – 0,53 т/га, тяжелосуглинистых – 0,94 т/га.

Согласно этим нормативам извести для сдвига рН на 0,1 можно рассчитать потребность извести на гектар по формуле:

$$\text{Доза } \text{CaCO}_3, \text{ т/га} = \Delta \text{ рН} \times A \times 10,$$

где $\Delta \text{ рН}$ – планируемый сдвиг рН;

A – затраты CaCO_3 для сдвига на 0,1 рН, т/га;

10 – коэффициент для пересчета в т/га.

Например, исходное значение рН 4,7, планируемый уровень рН 5,5, $\Delta \text{ рН} = 0,8$ (5,5 - 4,7); A – затраты CaCO_3 для сдвига на 0,1 рН, т/га, = 0,94; доза $\text{CaCO}_3 = 0,8 \times 0,94 \times 10 = 7,52$ т/га.

Таблица 41

Нормы расхода известковых материалов
для сдвига реакции почвенной среды до оптимального уровня
(Уральский экономический район), (Рекомендации
Главного управления химизации сельского хозяйства РФ)

Тип почвы	Исходное значение $\text{pH}_{\text{КСI}}$	Оптимальное значение $\text{pH}_{\text{КСI}}$	ΔpH	Нормы расхода CaCO_3 (т/га) для сдвига на	
				0,1рН	ΔpH
Дерново- подзолистые	< 4,5	5,8	1,5	0,80	12,0
	4,6-5,0	5,8	1,0	0,95	9,5
	5,1-5,5	5,8	0,5	1,25	6,2
Светло-серые и серые лесные	< 4,5	5,9	1,6	0,83	13,2
	4,6-5,0	5,9	1,1	0,99	10,8
	5,1-5,5	5,9	0,6	1,32	7,9
Тёмно-серые и чернозёмы выщелоченные	< 4,5	6,0	1,7	0,87	14,7
	4,6-5,0	6,0	1,2	1,12	13,4
	5,1-5,5	6,0	0,7	1,37	9,5
Пойменные луговые и прочие	< 4,5	5,5	1,2	0,81	9,7
	4,6-5,0	5,5	0,7	0,97	6,7
	5,1-5,5	5,5	0,2	1,28	2,6

Определение необходимого количества извести (т/га) для доведения реакции почвы до заданного значения рН можно также рассчитать по формуле:

$$\text{CaCO}_3 = \frac{\text{pH}_{\text{сол}} \text{ заданное} - \text{pH}_{\text{сол}} \text{ исходное}}{\text{норматив сдвига pH}_{\text{сол}} \text{ от 1 т CaCO}_3}$$

Нормативы сдвига реакции почвенной среды от 1 т СаСО₃ приведены в таблице 42.

Таблица 42

Нормативы сдвига реакции почвенной среды от 1 т СаСО₃ [15]

Почвы	Гранулометрический состав почвы	Исходное значение pH _{KCl}	Смещение pH _{KCl} от 1 т СаСО ₃ , т/га
Дерново-мелкоподзолистые	Легко- и среднесуглинистые	4,5	0,26
		4,6-5,0	0,22
		5,1-5,5	0,19
	Тяжелосуглинистые и глинистые	4,5	0,18
		4,6-5,0	0,16
		5,1-5,5	0,13
Серые лесные	Легко- и среднесуглинистые	4,5	0,20
		4,6-5,0	0,18
		5,1-5,5	0,14
	Тяжелосуглинистые и глинистые	4,5	0,14
		4,6-5,0	0,12
		5,1-5,5	0,09
Черноземы выщелоченные и оподзоленные	Легко- и среднесуглинистые	4,5	0,16
		4,6-5,0	0,14
		5,1-5,5	0,11
	Тяжелосуглинистые и глинистые	4,5	0,13
		4,6-5,0	0,11
		5,1-5,5	0,08

Обменная кислотность может быть выражена в ммоль/100 г почвы. Дозу извести по обменной кислотности, выраженной в ммоль/100 г почвы (в т/га), определяют путем умножения её величины на коэффициент 2,63.

Количество извести, необходимое для основного известкования – уменьшения повышенной кислотности пахотного слоя почвы до слабокислой реакции (до рН солевой вытяжки 5,6-5,8), благоприятной для большинства культур и полезных микроорганизмов, – называется *полной дозой*.

Более точно установить полную дозу извести можно по величине гидролитической кислотности. При расчете дозы извести (CaCO_3 т/га) величину гидролитической кислотности в ммоль/100 г (H_g) умножают на 1,5 или 1,25. Величину 1,5 получают путем следующего расчета: 1 ммоль Н эквивалентен 50 мг CaCO_3 . Поскольку H_g выражают в ммоль/100 г, то для перехода к массе почвы пахотного слоя на площади 1 га (которая для среднесуглинистых дерново-подзолистых почв равна 3 млн. кг) 50 умножают на 10 (для перехода от 100 г к 1 кг почвы) и на 3 000 000. Чтобы от миллиграммов перейти к тоннам, результат умножения делят на 1 000 000 000. Выполнив эти действия, получим 1,5.

Например: если гидролитическая кислотность почвы составляет 5 ммоль/100 г, то доза CaCO_3 будет равна $5 \times 1,5 = 7,5$ т/га.

С учётом плотности и глубины мелиорируемого слоя можно использовать следующую формулу:

$$\text{CaCO}_3, \text{ т/га} = 0,05 \times H_g \times d \times h,$$

где H_g – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы;

d – плотность почвы, г/см³ (для дерново-подзолистых и светло-серых лесных=1,3; серых и тёмно-серых=1,1; выщелоченных и оподзоленных чернозёмов=1,0);

h – глубина известкуемого слоя, см.

Торфяники известкуют до рН 5,0, доза извести зависит от величины рН_{сол.}, H_g , степени насыщенности основаниями, типа болота (табл. 43).

Таблица 43

Потребность торфяных почв в известковании [3]

Группа почв по кислотности	рН _{сол.}	H_g , ммоль/100 г	V, %	Доза CaCO_3 т/га при массе пахотного слоя	
				До 500 т/га	Более 500 т/га
1	2	3	4	5	6
I	< 3,90	>100	< 25	10-12	12-16
II	3,91-4,30	100-60	25-50	4-6	6-8

Окончание таблицы 43

1	2	3	4	5	6
III	4,31-4,70	60-40	50-65	2,5-4	3,5-5
IV	4,71-5,00	40-30	65-75	1-2	2-3
V	>5,00	< 30	> 55	Не нуждаются	

Расчёт дозы извести можно вести по величине гидролитической кислотности путём умножения её для низинных торфяников на коэффициент 0,25, для переходных – на 0,20 и верховых – на 0,15.

Дозу конкретных известковых материалов (*Д*) вычисляют с учетом содержания в них суммы нейтрализующих кислотность веществ (в расчете на чистый CaCO_3), количества крупных частиц (более 1 мм) и при необходимости вводят поправку на влажность известкового материала по формуле:

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

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

Известь обладает длительным действием. Полная доза извести может положительно влиять на урожай сельскохозяйственных культур в течение двух ротаций 7-8-польного севооборота, половинная доза – не более одной ротации (6-7 лет).

С течением времени после внесения извести вновь происходит постепенное увеличение кислотности почвы (особенно быстро – на малобуферных почвах, и при систематическом применении высоких доз физиологически кислых удобрений) и возникает потребность в *повторном, или поддерживающем, известковании*. Необходимость повторного известкования устанавливают на основе данных агрохимического анализа почвы (определения степени её кислотности) с учетом вымывания кальция по результатам лизиметрических опытов и его выноса с урожаем возделываемых культур. Ориентировочные уровни реакции почв, при которых целесообразно повторное известкование, в зависимости от типа севооборота, приведены в таблице 44.

Таблица 44

Ориентировочные уровни $pH_{\text{сол}}$ для повторного известкования дерново-подзолистых и серых лесных почв (рекомендации Главного управления химизации сельского хозяйства РФ)

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

Дозу извести для повторного известкования определяют так же, как и для первичного. Определение необходимого количества извести для доведения реакции почвы до заданного

значения pH с учетом состава возделываемых культур при поддерживающем (повторном) известковании проводят также на основе норматива сдвига pH солевой вытяжки почвы.

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

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

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

Для нейтрализации кислотности и декальцирующего действия 1 ц аммиачной селитры требуется вносить 0,75 ц CaCO_3 , 1 ц сульфата аммония – 1,25 ц CaCO_3 , 1 ц безводного

аммиака – 1 ц CaCO_3 , 1 ц хлористого калия – 0,16 ц CaCO_3 , 1 ц суперфосфата – 0,2 ц CaCO_3 .

В защищенном грунте применяются следующие методы расчёта доз извести:

– по $\text{pH}_{\text{сол.}}$ для верхового торфа ($\text{pH}_{\text{сол.}}=2,5-3,0$) доза CaCO_3 составляет 6% от массы торфа или 27-36 кг на 1 т или 30 г на 1 кг для сдвига на единицу; для низинного торфа ($\text{pH}_{\text{сол.}}=4,0-5,0$) – 4 % от массы торфа или 13-18 кг на 1 т;

– по H_2 для новых грунтов:

$$\text{CaCa}_3, m / \text{га} = 0,05 \times H_2 \times d \times h,$$

где H_2 – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы;

d – плотность почвы, г/см³; h – глубина известкуемого слоя, см;

или $\text{CaCa}_3, m / \text{га} = 0,0005 \times H_2 \times a,$

где H_2 – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы;

a – масса слоя грунта, т/га;

для старых грунтов: $\text{CaCa}_3, m / \text{га} = \frac{0,05 \times H_2 \times d \times h}{2},$

$$\text{CaCa}_3, m / \text{га} = \frac{0,05 \times H_2 \times a}{2}.$$

Способы и сроки внесения известковых удобрений в почву

Необходимо применять такой способ заделки извести, при котором обеспечивается хорошее перемешивание её со всем пахотным слоем почвы, – под плуг с осени под зяблевую обработку или весной под перепашку зяби, лучше всего вместе с органическими удобрениями (навозом, торфом, компостами). При использовании фосфоритной муки её лучше вносить под вспашку зяби, а известь – под перепашку или культивацию. С организационно-хозяйственной точки зрения, наиболее удобно проведение известкования в парующих полях. Известкование можно проводить и зимой.

При зимнем известковании приходится учитывать ряд требований. Не рекомендуется проводить известкование:

- на полях с уклоном 3-4°;
- при глубине снежного покрова более 20-30 см;
- на затопляемых весенними паводками угодьях;
- при температуре воздуха ниже 10-12°C.

В летнее время нельзя проводить известкование:

- при влажности почвы более 20%;
- при глубине колеи разбрасывания более 7-10 см;
- при высоте растений более 20-30 см;
- во время дождей.

Следует помнить, что известь, внесенная на поверхность почвы, должна быть заделана в почву. До тех пор, пока она находится на поверхности почвы, не окажет положительного влияния. Только при тщательном перемешивании с почвой известь сильнее нейтрализует кислотность в ней.

Глубина заделки извести имеет существенное значение только для первой культуры. При дальнейшей обработке почвы (вспашке зяби, перепашке пара, весенней перепашке) она будет перемешана с почвой пахотного слоя.

Ниже приводится краткая характеристика машин для внесения извести.

РУМ-8 – производительность 8-14 т/час, рабочая скорость 12-15 км/час, ширина захвата 10-15 м.

1РМГ-4 – производительность 8-14 т/час, рабочая скорость 15 км/час, ширина захвата 8-14 м.

КСА-3 – производительность 15 т/час, рабочая скорость 15 км/час, ширина захвата 8-12 м, грузоподъемность 4 т.

РМШ-5 – производительность – 15 т/час, рабочая скорость 12 км/час, ширина захвата 8-14 м, грузоподъемность 5 т.

АРУП-8 и РУП-8 – производительность – 38, 42 т/час, ширина захвата 10-12 м, рабочая скорость 12 км/час.

Место внесения извести в севооборотах.
Особенности известкования в различных севооборотах

Лучшим местом в полевых севооборотах признается поле с чистым или занятым паром. При комплексном агрохимическом окультуривании почв желательно известь внести осенью под зяблевую вспашку после уборки или непосредственно в паровое поле – в любое время летом при условии, если не вносят фосфоритную муку для повышения фосфатного уровня почвы.

В севооборотах с клевером неотложному известкованию подлежит покровная культура, при этом следует соблюдать следующие условия: $\frac{2}{3}$ дозы известняковой муки вносят под зяблевую вспашку, а $\frac{1}{3}$ дозы вносят под предпосевную культивацию для нейтрализации кислотности слоя почвы 5-8 см. Клевер особо чувствителен кислотности почвы в первый год жизни, когда слабо развита его корневая система. Установлено также, что клевер на известкованных почвах лучше переносит холодные зимы, резкие перепады температуры, засушливые периоды весны. Известкование в севооборотах с клевером всех дерново-подзолистых почв является обязательным приемом, обеспечивающим высокую урожайность и хорошее качество этой культуры.

В пропашных севооборотах известь необходимо применять в первую очередь под кукурузу и корнеплоды, а в овощных – под капусту и свеклу или под их предшественников.

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

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

В севооборотах со льном и картофелем высокие дозы CaCO_3 , особенно при ограниченных дозах минеральных удобрений, отрицательно влияют на качество урожая этих культур. Как указывалось ранее, картофель сильно поражается паршой, при этом снижается содержание крахмала в клубнях, а лён болеет бактериозом, что приводит к снижению выхода и ухудшению качества волокна.

Исправить негативное влияние извести можно:

- увеличением дозы калия на 30-50%;
 - внесением борных микроудобрений 0,7-1,0 кг/га д.в.;
 - использованием в качестве известковых удобрений доломитовую муку, цементную пыль и сланцевую золу.
- проведением известкования по 0,5 Нг и за 4-5 лет. Лён не должен быть 2-й и 3-ей культурой.

Многие исследователи считают, что в льняных севооборотах известкование необходимо проводить при рН почвы 5,0 и ниже. Лучшим предшественником для льна является клевер, высокую урожайность которого на кислых дерново-подзолистых почвах без известкования получить нельзя, поэтому в севооборотах со льном и клевером известкование желательно проводить по $\text{pH}_{\text{сол.}}$ или по половине гидролитической кислотности.

Полные дозы извести по гидролитической кислотности корректируют с учётом ведущих культур севооборота и гранулометрического состава (табл. 45). Дозы извести по обменной кислотности устанавливают с требованиями растений к кислотности почвы (см. таблицу 37).

Известь можно вносить практически под любую культуру севооборота, однако больший эффект в первый год после внесения получается, если её вносят под те культуры, которые сильнее в ней нуждаются. Это такие культуры, как клевер, люцерна, сахарная и кормовая свёкла, кукуруза, капуста, зернобобовые и некоторые другие культуры.

Таблица 45

Поправочные коэффициенты к дозам извести, рассчитанные по гидролитической кислотности (Технология производства и хранения..., 1992)

Севообороты	Поправочные коэффициенты	
	тяжелосуглинистая и глинистая почвы	песчаная, супесчаная, легко- и среднесуглинистая почва
Полевые с многолетними травами и зерновыми, кормовые и овощные	1,0...1,5	1,0
Полевые с многолетними травами и льном	0,5...0,25	0,5...0,25
Полевые с картофелем	0,75...0,5	0,5

Эффективность известкования почв

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

В Пермском крае наибольшее количество опытов проведено с озимой рожью, клевером, ячменем, при этом изучали дозы известковых материалов, место внесения в севооборотах, сроки и способы внесения в почву, влияние извести на качество продукции. По обобщенным данным одна тонна извести, внесенная в чистом пару, обеспечивает дополнительно от 30 до 50 кг зерна озимой ржи (табл. 46).

Таблица 46

Влияние извести на урожайность озимой ржи [21]

Опытное учреждение	Доза извести, т/га	Урожайность зерна ржи, ц/га		Прибавка, ц/га
		на неизвесткованной почве	по извести	
Соликамская опытная станция	4	13,8	15,3	1,5
Менделеевское опытное поле	8	17,2	18,8	1,6
	24	17,2	25,3	8,1
Пермская опытная станция	10	19,1	24,1	5,0

Из яровых зерновых наиболее отзывчивыми на известкование являются ячмень и яровая пшеница (табл. 47).

Основной кормовой культурой в полевых севооборотах остается клевер луговой. Известкование способствует увеличению урожайности почти в два раза, о чем свидетельствуют результаты опытов за 1931-1969 гг. Менделеевского опытного поля (табл. 48).

Таблица 47

Влияние извести на урожайность яровых зерновых культур, ц/га [32]

Вариант опыта	Яровая пшеница		Ячмень		Овес	
	урожайность	прибавка от известкования	урожайность	прибавка от известкования	урожайность	прибавка от известкования
Без удобрений	14,4	—	13,1	—	16,7	—
Известь по 1 Нг	25,1	10,7	26,9	13,8	24,9	8,2
НРК	20,2	—	14,1	—	28,5	—
НРК + известь по 1 Нг	23,4	9,2	31,7	17,6	31,8	3,3

Таблица 48

Действие извести на урожайность клевера
(сено, сумма двух укосов, ц/га), [21]

Ротация	Годы	Урожайность без извести (NPK)	Прибавка от внесения извести в дозах рассчитанных в долях от Нг почвы		
			0,5	1,0	1,5
1-я	1931-1934	41,0	26,2	32,0	36,7
2-я	1940-1941	44,8	43,6	42,0	43,1
3-я	1946-1947	45,3	31,2	32,8	49,7
4-я	1954-1955	28,6	13,7	21,2	33,9
5-я	1960-1962	39,3	13,5	21,0	22,4
6-я	1967-1969	85,3	11,6	13,5	30,7

Исключительно большое значение имеет известкование кислых почв для овощных культур. Имеющиеся данные о положительном влиянии известкования на урожайность овощных культур были получены на Соликамской опытной станции (табл. 49).

За 3 года известкование обеспечило суммарную прибавку 228,5 ц/га. Несмотря на то, что в опыте под капусту было внесено 40 т/га навоза, известкование явилось дополнительным, эффективным приемом для получения высокой урожайности всех трех культур. На тонну извести дополнительно получено более 40 ц овощей. Установлено, что известкование, кроме положительного действия на урожайность, предупреждает развитие грибных болезней, в частности, капустной килы, ржавчины льна. Овощи, выращенные на известкованных почвах, хорошо хранятся в зимнее время.

Таблица 49

Влияние извести на урожайность овощей и картофеля на песчаной
глубоко-подзолистой почве [29]

Культура	Урожайность, ц/га		Прибавка, ц/га
	неизвесткованная почва	по извести, 5 т/га	
Капуста	115,7	223,8	108,1
Свёкла столовая	69,7	170,5	101,0
Ранний картофель	201,6	221,0	19,4

По данным Пермской сельскохозяйственной опытной станции (ныне Пермский НИИСХ), суммарная прибавка урожайности овощей на известкованной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой высококультуренной почве за 3 года составила 87,2 ц/га (табл. 50). В среднем на одну тонну извести дополнительно получено 29 ц овощей (Петухов М.П., 1964). Полученные данные указывают на высокую эффективность известкования на овощных культурах.

Таблица 50

Урожайность овощей после внесения извести, (Петухов М.П., 1964)

Культура	Урожайность без извести, ц/га	Урожайность по извести, ц/га	Прибавка, ц/га
Капуста	525,2	553,6	28,4
Свёкла	231,6	282,9	51,3
Томат	301,9	309,4	7,5

Известь медленно растворяется и взаимодействует с почвой, действие её проявляется постепенно, поэтому максимальный эффект от известняковой муки достигается на второй-третий год, от доломитовой – на четвёртый-пятый год.

При внесении полной дозы положительное действие извести на урожай проявляется на протяжении не менее двух ротаций 5-7-польных севооборотов. За это время каждая тонна извести даёт общую прибавку урожая всех выращиваемых культур, равную в пересчете на зерно 1,2-1,5 т/га. При снижении дозы извести по сравнению с полной, рассчитанной по гидролитической кислотности, степень и продолжительность положительного действия известкования снижаются, а при внесении удвоенной дозы – возрастают.

Известкование – основное условие эффективного применения удобрений на кислых почвах. Эффективность минеральных и органических удобрений на известкованных почвах значительно возрастает.

Эффективность минеральных удобрений на сильно- и среднекислых почвах при их известковании повышается на 35-50%, а слабокислых – на 15-20%. Прибавки урожая от совместного применения извести и минеральных удобрений обычно значительно выше, чем прибавки от раздельного их внесения. Так, по данным И.А. Шильникова, среднегодовая продуктивность севооборота за две ротации (в ц. зерн. ед. с 1 га) в длительном опыте на Смоленской опытной станции ВИУА в контрольном варианте составила 14,4, при внесении минеральных удобрений без известкования – 25,3 и от одного известкования – 22,2, а при совместном применении известкования и минеральных удобрений – 32,1.

Прибавка урожая от известкования и экономическая эффективность этого приема могут широко колебаться в зависимости от степени кислотности почв, доз извести и состава культур севооборота. Наибольший чистый доход от известкования кислых почв и окупаемость затрат обеспечиваются в севооборотах, где возделывают культуры, сильно отзывающиеся на этот прием.

На сильно- и среднекислых почвах затраты на известкование окупаются стоимостью дополнительного урожая зерновых за 1-2 года, кормовых культур – менее чем за год, а картофеля и овощей – в 3-5-кратном размере в течение года. На слабокислых почвах время окупаемости затрат возрастает в 1,5 раза.

В современных условиях, когда значительно снижено проведение химической мелиорации почв, возникает вопрос о возможности их известкования меньшими дозами. Эффективность малых доз извести зависит от способа их применения. Чем меньше доза извести, тем с меньшим слоем почвы она должна перемешиваться. Поскольку растения наиболее чувствительны к кислотности при прорастании семян и в начальный период роста, а самым губительным действием

обладает обменная кислотность почвы с сопутствующей ей высокой подвижностью алюминия, то в первую очередь необходимо позаботиться об её устранении в верхнем слое почвы. Поэтому необходимо применять способы внесения известковых удобрений, обеспечивающие должное снижение кислотности в непосредственную близость от семян высеваемых растений (табл. 51).

Создание более благоприятных условий реакции среды в верхнем слое почвы при заделке такой дозы извести под предпосевную обработку положительно скажется на формировании корневой системы и надземных органов растений с начала вегетации, повысит устойчивость культуры к неустранённой кислотности нижележащих слоев почвы и положительно повлияет на урожай. Очевидно, что степень и продолжительность действия, агрономическая и экономическая эффективность такого известкования будут тем меньше, чем ниже внесенная доза по сравнению с необходимой для полного устранения кислотности почвы во всем пахотном слое.

Таблица 51

Действие малых доз извести на урожайность многолетних трав

Доза извести (т/га) и способы внесения	Урожайность сена	Прибавка
	сумма за 3 года, ц/га	
0	107	
1,5 под плуг	119	12
1,5 под культиватор	136	29
0,3 в рядки	137	30

Гипсование солонцовых почв

В нашей стране имеются значительные площади почв со щелочной реакцией – это солонцы и сильносолонцеватые почвы. Щелочная реакция этих почв обусловлена содержанием катионов натрия в почвенном поглощающем комплексе и соды в почвенном растворе.

В зависимости от количества поглощенного натрия почвы подразделяют на слабосолонцеватые, содержащие 5-10% Na от общей ёмкости поглощения, солонцеватые – 10-20% Na и солонцы – более 20% Na.

Солонцы и солонцеватые почвы характеризуются плохими физическими свойствами: во влажном состоянии набухают и заплывают, а при высыхании твердеют, образуют корку и растрескиваются на глыбы. Обработка таких почв сильно затруднена. Щелочная реакция солонцовых почв вредна для культурных растений. Плотный солонцовый горизонт препятствует проникновению корневой системы вглубь. Урожайность сельскохозяйственных культур на таких почвах крайне низкая.

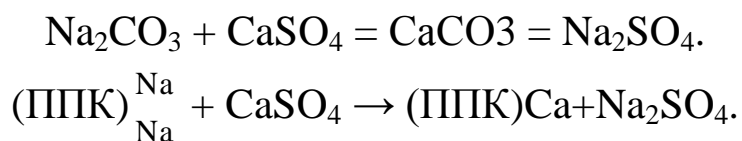
Мелиоративный фонд солонцовых земель России в сельскохозяйственных угодьях составляет около 28 млн. га, в том числе 12,4 млн. га – в пашне.

По уровню засоленности и морфологическому строению солонцовые почвы характеризуются большим разнообразием и требуют дифференцированных подходов к их обработке и использованию в сельскохозяйственном производстве. При мелиорации солонцовых почв важнейшими являются приемы физической (мелиоративные обработки – ярусные и плантажная вспашки, мелиоративное рыхление) и химической (внесение в почву различных веществ, вытесняющих поглощенный натрий и устраняющих щелочность, улучшающих физико-химические свойства солонцовых почв – гипсование, дефекамирование, мелование, кислование).

На солонцовых почвах, у которых под солонцовым горизонтом на небольшой глубине залегает слой, богатый CaCO_3 или CaSO_4 , можно проводить глубокую мелиоративную вспашку, при которой этот слой выворачивается и перемеши-

вается с солонцовым. Этот прием называют *самогипсованием солонцов*. После внесения гипса или мелиоративной вспашки на неорошаемых площадях необходимо проводить снегозадержание, а при орошении желательнее проводить полив. Для мелиоративной вспашки необходимо применять специальные обрабатывающие орудия и мощные тягачи с малым удельным давлением на почву. Менее сложным приемом является мелиоративное рыхление, при котором сохраняется естественное расположение генетических горизонтов почвы и осуществляется только частичное перемещение её по профилю. Мелиоративное рыхление рекомендуют для ежегодной обработки пахотных солонцовых земель и при коренном улучшении естественных кормовых угодий.

Гипсование – основной прием химической мелиорации для коренного улучшения солонцов и солонцеватых почв, содержащих более 10% Na от общей ёмкости поглощения. При внесении в почву гипса устраняется сода в почвенном растворе, а поглощенный почвой натрий вытесняется и заменяется кальцием с образованием в растворе нейтральной соли – сульфата натрия.



При образовании в растворе небольшого количества Na_2SO_4 он не оказывает вредного действия на растения, но при гипсовании солонцов, содержащих более 20% Na от ёмкости поглощения в растворе, появляется много сульфата натрия, и его необходимо удалять из почвы промыванием. В результате гипсования устраняется щелочная реакция солонцовых почв, улучшаются их физические, физико-химические и биологические свойства, повышается плодородие.

Для гипсования могут быть использованы следующие материалы.

Гипс сыромолотый $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$. Тонкоразмолотый серый или белый порошок, содержит 71-73% CaSO_4 .

Фосфогипс – отход туковых заводов, очень тонкий порошок, содержит 70-75% CaSO_4 и 2-3% P_2O_5 .

Глиногипс добывают из природных залежей; в естественном виде рыхлый, не требует размол, содержит от 63 до 92% CaSO_4 и от 1 до 19% глины.

Доза гипса, в зависимости от количества поглощенного натрия и щелочности почвы, может быть от 3 до 10 т/га. Для расчета дозы гипса можно пользоваться формулой:

$$\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O} \text{ (м/га)} = (\text{Na} - 0,1 \times \text{ЕКО}) \times 0,086 \times \text{H} \times d,$$

где Na – содержание поглощенного натрия, мг экв/100г почвы;

0,1–10% Na от ёмкости поглощения (ЕКО), допустимое содержание поглощенного натрия в почве;

0,086 – 1 мг экв $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, г;

H – глубина пахотного слоя, см;

d – объёмная масса почвы гипсуемого слоя, г/см³.

При орошении доза гипса может быть уменьшена на 25-30%. Полную дозу его можно давать в несколько приёмов в течение 2-3 лет.

На корковых солонцах гипс вносят после вспашки и заделывают культиватором. На глубокостолбчатых солонцах при залегании солонцового горизонта на глубине более 15 см всю дозу гипса рассеивают и заделывают плугом с предплужником. При расположении солонцового горизонта на глубине 7-15 см гипс можно вносить под вспашку или культивацию, а также в два приема – по половинной дозе под каждую из этих обработок.

Гипсование без орошения в Центрально-Черноземной зоне повышает урожайность зерновых в среднем на 0,3-6,0 т/га, в зоне каштановых почв – на 0,2-0,3 т/га. При орошении эффективность гипсования выше. Действие гипса значительно возрастает при заделке его под глубокую перепашку с одновременным внесением навоза, компостов, применением зелёного удобрения. При гипсовании повышается эффективность как органических, так и минеральных удобрений.

Положительное влияние гипсования на плодородие почвы наблюдается в течение 8-10 лет, причем вследствие постепенного взаимодействия гипса с почвой эффективность его из года в год возрастает.

Площадь солонцовых почв, нуждающихся в первоочередной химической мелиорации, составляет 3,7 млн. га. С учетом соблюдения необходимого цикла гипсования (10 лет) среднегодовой объем работ по его проведению составляет 350-400 тыс. га при средневзвешенной норме внесения основного мелиоранта (фосфогипса) свыше 8 т/га.

Следует отметить, что гипс вносят не только для химической мелиорации солонцов, но и для улучшения питания растений кальцием и серой на других почвах, прежде всего в Нечерноземной зоне. Гипс, содержащий кальций и серу, как удобрение применяют, прежде всего, под бобовые травы – клевер и люцерну, которые потребляют этих элементов значительно больше, чем другие культуры. Вносят его под травы поверхностно, под другие культуры – в почву (0,3-0,4 т/га).

Положительное действие гипса на рост, развитие и урожайность растений на кислых почвах обусловлено не только улучшением питания кальцием и серой, но и доступностью калия, повышением устойчивости растений к кислотности при увеличении концентрации кальция в почвенном растворе. Прибавка урожая сена клевера от внесения гипса на дер-

ново-подзолистых почвах составляет 0,7-1 т/га, на серых лесных почвах и выщелоченных черноземах – до 0,7 т/га.

Выбор метода мелиорации солонцовых почв и очередности выполнения работ определяется экономическими и экологическими критериями, предусматривающими наиболее высокую отдачу вложенных в мелиорацию средств и повышение экологической устойчивости всего агроландшафта, включающего мелиорируемые земли. К первоочередным объектам мелиорации относятся как орошаемые солонцовые, так и богарные земли, используемые для возделывания наиболее ценных сельскохозяйственных культур.

Технологические схемы применения мелиорантов

Выбор *технологической схемы применения мелиорантов* зависит, прежде всего, от наличия необходимых машин и механизмов, от расстояния от места загрузки до места внесения, а также состояния подъездных дорог и поля.

Прямоточная технологическая схема предусматривает использование автомобильного или тракторного пневморазбрасывателей в качестве единого средства транспортировки и внесения. Слабопыляющие мелиоранты по прямоточной технологии транспортируются на небольшие расстояния от мест загрузки до поля и вносятся преимущественно тракторными кузовными разбрасывателями (РУМ-5, РУМ-8, РУМ-16, 1 РМГ-4, МВУ-12).

При работе по *перезгрузочной технологии* функции этих машин разделены: автомобильный производит транспортировку до поля, а тракторный – внесение мелиоранта. Загрузка машин мелиорантом может производиться непосредственно на заводе-поставщике или на прирельсовом силосном складе, куда мелиорант доставляется железнодорожной цистерной-минераловозом.

Расстояние от места загрузки мелиоранта до поля не должно превышать для автомобильных машин 100 км, а для тракторных – 10 км как при прямоточной, так и при перегрузочной технологической схеме.

Перегрузочная технология используется также, если затруднено передвижение автомобильной машины по полю. Тогда от места загрузки до поля химический мелиорант доставляется автомобильной машиной и перегружается в тракторный агрегат, который и рассеивает мелиорант по поверхности поля.

По перевалочной технологии мелиоранты из более удаленных складов (или мест добычи мягких известковых пород – известкового туфа, гаж) транспортируют автомобилями-самосвалами и складывают в бурты на обочине полей, подлежащих известкованию. Затем с помощью универсальных погрузчиков загружают мелиорантом тракторные разбрасыватели.

Вопросы для повторения:

1. Перечислить сельскохозяйственные культуры, которые могут произрастать в условиях кислой реакции среды и которые не выносят её. 2. Определение нуждаемости почв в известковании. Картограммы кислотности. Основное и поддерживающее известкование. 3. Действие извести на почву. 4. Расчет доз CaCO_3 для основного и поддерживающего известкования. 5. Виды и характеристика известьсодержащих удобрений. 6. Известкование в полевых, кормовых и овощных севооборотах (сроки, способы внесения). 7. Влияние известкования на урожайность сельскохозяйственных культур. 8. Какие почвы, и по каким показателям нуждаются в гипсовании? 9. Как определить дозу гипса? 10. Материалы используемые для гипсования почв. 11. Основные приёмы гипсования. 12. Что такое самогипсование солонцовых почв? 13. Какие технологические схемы используются при проведении химической мелиорации почв?

III. МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Лекция 1. Азот в почвах, растениях, удобрениях

- Агрохимические и физиологические основы применения азотных удобрений.
- Ассортимент и классификация азотных удобрений, состав, свойства, применение.
- Пути повышения эффективности азотных удобрений.

Агрохимические и физиологические основы применения азотных удобрений

Роль азота в жизни растений. Азот – один из основных и важнейших элементов питания растений. Он входит в состав белков (16-18% их массы), которые являются составной частью протоплазмы растительных клеток. Азот входит в состав нуклеиновых кислот (рибонуклеиновая кислота – РНК и дезоксирибонуклеиновая – ДНК), играющих важную роль в обмене веществ в организме и передаче наследственных функций. Он входит в состав ферментов, выполняющих роль катализаторов во многих окислительно-восстановительных процессах растений. Азот является составной частью хлорофилла. Без азота хлорофилл не образуется. Он также входит некоторых других соединений как, например, фосфатиды, алкалоиды.

Азот среди элементов минерального питания наиболее мощный регулятор роста, хотя это не гормональное вещество. Регулированием уровня азотного питания можно добиться увеличения урожайности у зерновых, кормовых и овощных культур за счёт роста ассимиляционного листового аппарата, у плодовых – за счёт увеличения размера плодов, повышения их числа, усиления дифференциации плодовых почек и уменьшения осыпания плодов.

Содержание азота в растениях различно, зависит от биологических свойств, фазы развития, применяемых удобрений. Больше его в бобовых (3-4%), меньше всего в плодово-ягодных, овощных и кормовых культурах (0,01-0,5%), зерновые занимают промежуточное положение (2-3%) (табл. 52, 53).

Внесение удобрений, и особенно азотных, значительно увеличивает содержание его в растениях. На содержание азота большое влияние оказывает плодородие почвы и агротехника возделывания растений. В зерновых культурах, выращиваемых на окультуренной дерново-подзолистой почве, содержание его может быть на 0,5-2,0% выше, чем выращенной на бедной по содержанию элементами почве.

Таблица 52

Содержание азота в урожае различных сельскохозяйственных культур, % к общей массе (Минеев В.Г., 2006)

Культура	Зерно	Солома	Культура	Зерно	Солома
Озимая пшеница	2,8	0,45	Вика	4,55	1,40
Озимая рожь	2,2	0,16	Лён (семена)	4,00	0,62
Яровая пшеница	3,4	0,67	Люцерна (сено)	-	2,60
Ячмень	2,1	0,50	Клевер (сено)	-	1,97
Овёс	2,3	0,65	Люпин (зел. масса)	-	0,55
Гречиха	1,8	0,80	Картофель	0,32	0,30
Горох	4,5	1,40	Турнепс	0,18	0,30

Таблица 53

Содержание азота в овощах и плодах, % на сырую массу (Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н., 1988)

Культура	N	Культура	N
Капуста белокочанная	0,39	Томат	0,26
Капуста цветная	0,40	Огурец	0,13
Перец сладкий	0,24	Яблоня	0,01
Лук репчатый	0,26	Груша	0,01
Чеснок	1,12	Земляника	0,03
Морковь	0,14	Вишня	0,02

Вынос и динамика потребления азота растениями. В начальный период роста растение потребляет азот мало, но недостаток его резко сказывается на урожайности сельскохозяй-

зайственных культур, это нельзя исправить последующим внесением азотных удобрений. Этот период называется критическим (табл. 54). У зерновых злаков уже в период разворачивания первых 3-4 листочков начинаются закладка и дифференциация репродуктивных органов – колоса или метелки. Недостаток азота в это время даже при усиленном питании в дальнейшем приводит к уменьшению числа колосков в метелке или колосе и снижению урожая. Для удовлетворения растений в азоте в этот период рекомендуется вносить азотные удобрения при посеве 10-30 кг/га.

Таблица 54

Питание растений азотом и урожай ячменя, г/сосуд,
(Агрохимия, 2002)

Дни от посева		Солома	Зерно
Азот все время		26,1	6,4
Без азота	Первые 15 дней	4,5	0,0
	От 15 до 30 дней	19,4	4,2
	От 30 до 45 дней	29,1	8,7
	От 45 до 60 дней	29,4	7,7
	После колошения	18,6	3,8

У плодовых культур критический период в отношении азота отмечается весной. Растения наиболее интенсивно поглощают и усваивают азот в период максимального роста и образования вегетативных органов (стеблей и листьев).

С периода плодоношения у плодово-ягодных культур ежегодно проходят два периода интенсивного потребления элементов: весной при распускании почек, цветении и образовании листьев и после сбора плодов осенью при накоплении запасных пластических веществ, накапливаемых как в корнях, так и древесине, коре штамба и ветвях и второй волны роста корней. Весенний период почти в три раза интенсивнее по всем элементам, чем осенний период.

По динамике и интенсивности поглощения азота в период вегетации культуры очень сильно отличаются между собой. Так, ячмень к началу фазы колошения потребляет до 71% азота, сахарная свёкла, картофель, капуста, озимые отличаются более продолжительным или растянутым периодом потребления азота. Капуста наибольшее количество азота потребляет в июле – августе, морковь – в конце августа – сентябре. Поступление его в огурцы возрастает постепенно, достигая максимума в период наибольшего роста завязей.

Для культур с коротким периодом потребления необходимо обеспечить азотное питание до посева, а с длинным – есть смысл использовать подкормки.

Из физиологически устаревших частей растений, в которых преобладает распад белка, продукты его гидролиза передвигаются в молодые растущие вегетативные, а затем репродуктивные органы, где снова используются на синтез белка. Поэтому растущие органы растений отличаются повышенной концентрацией азота. В листьях она обычно выше, чем в стеблях и корнях. По мере старения относительное содержание азота в тканях вегетативных органов снижается. Например, в фазе кущения зерновых злаков оптимальная для их роста и развития концентрация азота составляет 4-6% на сухое вещество (что значительно выше, чем в зерне даже сильной пшеницы), к фазе трубкования она снижается до 3,5-5,0%, а к колошению – до 3,0-3,5%.

Вынос азота урожаями сельскохозяйственных культур. Общий вынос азота зависит от биологических особенностей культур (табл. 55), сорта, урожайности, почвенно-климатических условий, удобрений. Ранние сорта характеризуются более высоким выносом на единицу продукции. Из овощных культур высоким выносом характеризуются цветная капуста (9,5 кг на 1 т).

Вынос азота растениями из почвы возрастает с увеличением урожайности сельскохозяйственных культур. Капуста, картофель, сахарная свёкла, хлопчатник, подсолнечник, капуста, столовые корнеплоды и силосные культуры для создания высокого урожая потребляют гораздо больше азота, чем зерновые и плодово-ягодные (табл. 56).

Таблица 55

Примерный вынос азота (кг) на создание 1 т товарной продукции
(Справочник агрохимика, 1976; Дудина Н.Х. и др., 1991)

Продукция	N
Зерно: пшеницы, ржи, ячменя, овса, кукурузы, крупяных культур (гречиха, просо)	30-35
бобовых (горох, вика)	60-70
Волокно льна	70-90
Семена подсолнечника	55-70
Клубни картофеля	5,0-6,0
Корнеплоды: сахарной свеклы	5,0-6,0
кормовой свеклы	4,5-6,0
столовой свёклы	2,4-4,5
столовой моркови	2,5-3,2
Кочаны капусты	3,0-4,0
Плоды томата	2,5-3,5
Лук репка	3,0-3,5
Сено: вики с овсом	20-25
клевера с тимopheевкой	15-20
люцерны	25-30
Яблоня	2,9
Груша	2,7
Смородина чёрная	5,5
Смородина красная	5,0
Крыжовник	3,5
Земляника	4,5

Таблица 56

Примерный вынос азота с урожаем сельскохозяйственных культур
(Кидин В.В., 2009)

Культура	Урожайность основной продукции, т/га	Вынос N с урожаем, кг/га
Зерновые злаковые	3,0-3,5	90-110
Зерновые бобовые	2,5-3,0	100-150
Картофель	20-30	120-200
Сахарная свёкла	40-50	180-250
Кукуруза (зелёная масса)	50-70	150-180
Капуста белокочанная	50-70	160-230
Морковь столовая	50-70	150-210
Томаты открытый грунт	20-30	30-80
Огурцы открытый грунт	20-30	35-50
Лук репка	20-30	60-90
Хлопчатник	3,0-4,0	160-220
Яблоня, груша	20-30	60-80
В земляники, крыжовник, смородина	10-15	45-60

У корне- и клубнеплодов, подсолнечника в зависимости от условий выращивания может сильно изменяться структура урожая. Это вызывает резкие различия в размерах потребления азота. Например, в лесостепных районах на каждые 10 т урожая корнеплодов и соответствующего количества ботвы сахарная свёкла потребляет 50 кг азота, в Нечерноземной зоне свёкла формирует больше ботвы, и на каждые 10 т корнеплодов ей требуется 80-100 кг азота.

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

Избыточное азотное питание ухудшает и качество продукции. В корнеплодах сахарной свеклы снижается концентра-

ция сахара и возрастает в процессе сахароварения содержание «вредного» небелкового азота, у картофеля снижается содержание крахмала, в овощной и бахчевой продукции и кормах накапливаются потенциально опасные для человека и животных количества нитратов.

Основные источники азотного питания растений. Основными источниками азота для растений в естественных условиях служат соли азотной кислоты и аммония, нитриты и органические соединения азота, такие как мочевина и аминокислоты; поглощение идет в виде анионов NO_3^- и катионов NH_4^+ .

Содержание и формы азота в растениях. Превращения азота в растениях. Нитраты, поступившие в растения, восстанавливаются с участием металлсодержащих ферментов через нитриты до аммиака.

$\text{HNO}_3^- \rightarrow \text{HNO}_2^- \rightarrow (\text{HNO})_2 \rightarrow \text{NH}_2\text{OH} \rightarrow \text{NH}_3$ (при восстановлении нитратов до нитритов растениям необходим Mo, до гипонитрита и гидроксиламина – Cu, Fe, Mg, до аммиака – Mg).

Аммиак, поступивший в растение из почвы или образовавшийся в самом растении в результате восстановления

нитратов, участвует в образовании аминокислот.

Синтез органических азотистых соединений до белка включительно происходит через аммиак, образованием аммиака завершается и их распад. Аммиак, по образному выражению Д. Н. Прянишникова, есть альфа и омега в обмене азотистых веществ в растениях (рис. 6).

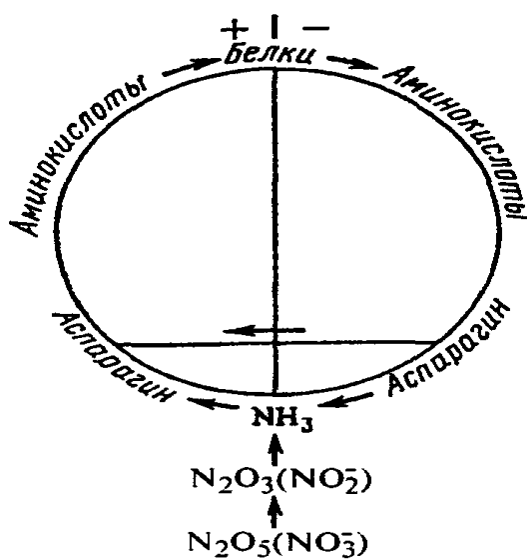


Рис. 6. Превращение азотистых веществ в растениях (по Д. Н. Прянишникову)

Для самих растений нитраты безвредны и могут накапливаться в их тканях в значительных концентрациях (табл. 57). Нитраты и нитриты в повышенных количествах опасны для теплокровных, вызывают заболевание метгемоглобинемией (вместо гемоглобина в крови образуется метгемоглобин, нарушается снабжение тканей кислородом, развивается синюшность) и могут быть предшественниками канцерогенных соединений – нитрозаминов.

Таблица 57

Группировка растений по способности накапливать нитраты, мг/кг сырой массы (Кидин В.В., 2009)

Группа	Культура	Содержание нитратов, мг/кг
1	Томат, перец, физалис, баклажан	30-150
2	Тыква, огурец в открытом грунте, кабачок, патиссон	120-360
3	Лук-репка на перо, лук-батун, лук-порей, шпинат, чеснок	140-390
4	Морковь, свёкла, редька, репа, редис, хрен, брюква, пастернак	350-1350
5	Укроп, кинза, тмин, мята, горчица, базилик, крыжовник	320-390
6	Капуста, салат, петрушка, сельдерей	480-6760

Накопление нитратов в продукции происходит при избыточном азотном питании, при недостатке углеводов и в пасмурную погоду. Индикаторы на нитраты – салат, щавель. В таблицах 58, 59 приведены допустимые уровни содержания нитратов в растениях и кормах.

Таблица 58

Допустимые уровни содержания нитратов в растениях (мг/кг NO₃) (Агрохимия 2002)

Продукция	Открытый грунт	Защищённый грунт
1	2	3
Картофель	250	
Капуста белокочанная		
ранняя (до 01.09)	900	
поздняя	500	

Окончание таблицы 58

1	2	3
Морковь		
ранняя (до 01.09)	400	
поздняя	250	
Томаты	150	300
Огурцы	150	400
Свёкла столовая	1400	
Лук репчатый	80	
Лук-перо	600	800
Листовые овощи	2000	3000
Дыни	90	
Арбузы, виноград, яблоки, груши	60	
Перец сладкий	200	400
Кабачки	400	400
Консервированные овощи	50	

Таблица 59

Предельно допустимые концентрации нитратов и нитритов в кормах
для сельскохозяйственных животных, мг/кг сырого продукта

Продукция	NO ₃	NO ₂
Комбикорма для крупного и мелкого рогатого скота	600	10
Комбикорма для свиней и птицы	200	5
Сено, солома	500	10
Зелёные корма	200	10
Картофель	300	10
Свёкла	800	10
Силос, сенаж	200	10
Зернофураж	300	10
Травяная мука	200	10
Жмых, шрот	200	10

Особенности питания растений аммонийным и нитратным азотом

Д.Н. Прянишников доказал равноценность нитратного и аммиачного питания. При благоприятных условиях лучшей формой является NH₃, так как не требуется дополнительная энергия на восстановление нитратов. Преимущественное использование растениями аммонийного или нитратного азота зависит от ряда факторов, важнейшие из которых: биологические особенности культуры, обеспеченность её углевода-

ми, реакция среды, наличие кальция, калия и других элементов питания, в том числе микроэлементов.

При недостатке углеводов и, следовательно, органических кетокислот (особенно при прорастании семян, имеющих малый запас углеводов) избыточное поступление аммонийного азота в растения может оказывать отрицательное действие. В этом случае аммонийный азот не успевает использоваться на синтез аминокислот и накапливается в тканях, вызывая «аммиачное отравление» растений. Те растения, в посевном материале которых содержится много углеводов (например, крахмала у картофеля), быстро усваивают поступающий аммонийный азот и хорошо отзываются на внесение аммонийных удобрений.

При нейтральной реакции аммонийный азот усваивается растениями лучше, а при кислой – хуже, чем нитратный. Повышенное содержание кальция, магния и калия создаёт более благоприятные условия для усвоения аммонийного азота, а при нитратном питании важное значение имеет достаточная обеспеченность фосфором и молибденом. Недостаток молибдена тормозит восстановление нитратов и ограничивает ассимиляцию нитратного азота растениями. В естественных условиях сравнительная ценность для растений нитратных и аммиачных (аммонийных) форм азотных удобрений в значительной степени определяется их превращениями в почве и её свойствами.

Работами Ф.М. Турчина установлено, что аммиачное отравление растений можно предотвратить внесением калийных удобрений. При аммиачном питании происходит усиленное поглощение хлора, при нитратном – кальция. Молодые растения чувствительны к аммиачному отравлению, поэтому лучше при посеве вносить нитратную форму азота.

Синтез некоторых аминокислот идет за счёт присоединения аммиака к органическим кетокислотам.

Аспарагиновая и глутаминовая аминокислоты могут присоединять еще по одной молекуле аммиака, давая амиды – аспарагин и глутамин. Эти соединения служат для детоксикации избыточных количеств аммиака и в качестве источника аминок групп при синтезе различных аминокислот в реакциях переминарования.

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

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

Общее содержание азота в различных почвах. Содержание азота в почвах зависит от количества гумуса и составляет примерно 1/20 его часть. В черноземных почвах общее содержание азота достигает 0,4-0,5%, а в дерново-подзолистых почвах и сероземах его лишь 0,05-0,15%. Общий запас азота в пахотном слое разных почв колеблется от 600 до 15000 кг/га (табл. 60).

Таблица 60

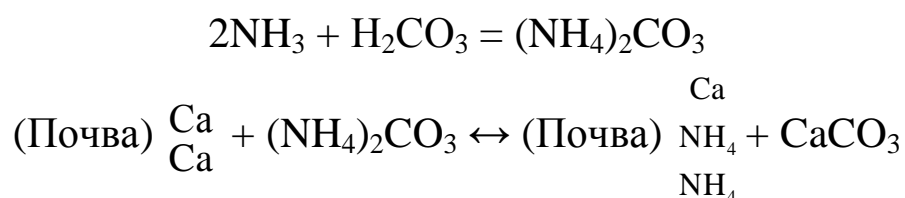
Относительное и валовое содержание азота
в пахотном слое разных почв (Минеев В.Г., 2006)

Почва	N		Почва	N	
	%	тыс. кг/га		%	тыс. кг/га
Дерново-подзолистая песчаная	0,02-0,05	0,6-1,5	Чернозем	0,2-0,5	6-15
Дерново-подзолистая суглинистая	0,05-0,13	1,5-4,0	Серозем	0,05-0,15	1,5-4,5

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

Превращения азота в почвах. Процессы аммонификации, нитрификации, денитрификации, гумификации и иммобилизации. Разложение органических азотистых веществ в почве в общем виде может быть представлено следующей схемой: *гуминовые вещества, белки → аминокислоты, амиды → аммиак → нитриты → нитраты → молекулярный азот.*

Распад органических азотсодержащих веществ почвы до аммиака называется *аммонификацией*. Аммонификацию осуществляют разнообразные аэробные и анаэробные почвенные микроорганизмы. Она происходит во всех почвах при разной реакции среды, но замедляется в анаэробных условиях и при сильноокислой и щелочной реакциях. Аммиак взаимодействует с угольной кислотой почвенного раствора, образуя карбонат аммония, а NH_4^+ поглощается почвой:



Аммонийный азот в почве подвергается *нитрификации* – окислению до нитратного азота: $\text{NH}_3 \xrightarrow{+\text{H}_2\text{O}} \text{NH}_4\text{OH} \xrightarrow{-2\text{H}^+} =$

$\text{NH}_2\text{OH} \xrightarrow{-2\text{H}^+} \text{HNO} \xrightarrow{+\text{H}_2\text{O}} \text{NH}(\text{OH})_2 \xrightarrow{-2\text{H}^+} \text{HNO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ (аммиак окисляется до аммония, затем до гидроксиламмония, далее до гипонитрита, нитрита и нитратов).

Нитрификация происходит в результате деятельности группы специфических аэробных бактерий, для которых окисление аммиака служит источником энергии. Одни из них (*Nitrosomonas*) окисляют NH_4^+ до NO_2^- , затем другие бактерии (*Nitrobacter*) окисляют NO_2^- до NO_3^- . Оптимальные условия для нитрификации – хорошая аэрация, влажность почвы 60-70% капиллярной влагоёмкости, температура 25-32°С и близкая к нейтральной реакция (рН 6,2-8,2). Интенсивность нитрификации – один из признаков культурного состояния почвы.

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

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

Кроме того, нитратный азот теряется из почвы в результате денитрификации и вымывания его из корнеобитаемого

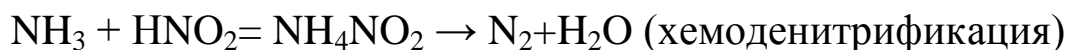
слоя осадками и поливными водами. Потери нитратов за счёт вымывания из почв тяжелого гранулометрического состава под растениями обычно незначительны (на суглинистых 5-6 кг/га). Однако на легких, особенно парующих, почвах в увлажненных районах, а также в условиях орошаемого земледелия такие потери могут быть значительными и достигать 25-30 кг/га. К отрицательным последствиям вымывания нитратов относится также загрязнение ими водных источников, в том числе питьевых ресурсов.

В основном потери азота из почвы происходят в газообразной форме в результате *денитрификации* – ($\text{HNO}_3^- \rightarrow \text{HNO}_2 \rightarrow (\text{HNO})_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$) процесса дессимиляторного восстановления нитратного азота до молекулярного (N_2) либо до газообразных оксидов азота (NO) и (N_2O). Общие потери за счёт денитрификации обычно составляют 10-20 % от дозы азота, внесенного с удобрениями, а средняя величина потерь азота, обеспечиваемая запасами его в почве, достигает 6 кг/га.

Биологическую денитрификацию осуществляет группа денитрифицирующих бактерий. Особенно интенсивно этот процесс идет в анаэробных условиях, при щелочной реакции почвы (рН 7,0-8,2) и в присутствии доступного микроорганизмам органического вещества богатого углеводами. Биологическая денитрификация протекает и в обычных условиях аэрации, реакции среды и увлажнения, поскольку в почвах даже при общих аэробных условиях неизбежно наличие анаэробных микростроек, а диапазон благоприятной реакции среды для развития денитрификаторов довольно широкий.

Наряду с биологической денитрификацией наблюдается косвенная, называемая хемоденитрификацией, которая связана с образованием газообразных оксидов азота и молекулярного азота в результате химических реакций: при разложении

промежуточных продуктов нитрификации – нитратов и гидроксиламина (особенно при кислой реакции), при взаимодействии нитритов с NH_4^+ , α -аминокислотами, ионами Fe^{2+} и Mn^{2+} и с органическими веществами почвы.



Следовательно, в круговороте азота в земледелии процессы нитрификации, наряду с положительным эффектом, имеют и отрицательное значение, так как образующиеся нитраты и нитриты могут вымываться и теряться из почвы в виде газообразных продуктов (N_2 , N_2O , NO) биологической и хемоденитрификации.

Один из продуктов денитрификации (закись азота – N_2O) характеризуется продолжительным временем пребывания в атмосфере (114-120 лет) и высоким потенциальным вкладом в развитие «парникового эффекта», который оценивается в 170-310 раз выше по сравнению с диоксидом углерода. Одновременно закись азота является предшественником соединений, взаимодействующих в ходе фотохимических реакций с озоном стратосферы, вызывая его разрушение. В результате ежегодного роста концентрации закиси азота на 0,5-1,2 % создаётся серьезная угроза изменения климата и химии атмосферы.

Объемы эмиссии закиси азота тесно связаны с состоянием азотного цикла, характеризуя степень его нарушенности. Чем больше азота вовлечено в биогеохимический круговорот и меньше эффективность его использования в земледелии (что, как правило, наблюдается при поступлении его избытка с высокими дозами азотсодержащих удобрений), тем больше закиси азота выделяется в атмосферу. Таким образом, нерациональное применение удобрений может вносить свой вклад в глобальные проблемы современности, связанные с нарушением газового режима атмосферы.

В почве одновременно с минерализацией органического азотсодержащего вещества происходят вторичные процессы синтеза, когда минеральные соединения азота переходят в органические, в белок плазмы микробных клеток. Этот процесс называется *иммобилизацией*. Предпосылками для процесса иммобилизации являются поступление в почву органических веществ с широким отношением C: N (20: 1 и более). Среднее отношение C: N в плазме разлагающих органические вещества микроорганизмов составляет 10: 1. После отмирания и гумификации белковый азот микроорганизмов становится частично доступным для растений.

Баланс азота в почвах. В расходной части баланса учитывают вынос элементов питания с урожаем основной и побочной продукции, вынос с растительными остатками, вымывание нитратов, эрозию почвы и денитрификацию. Как показали проводимые исследования, из внесённых удобрений 30-60% азота используется растениями, 15-30 – аккумулируется в почве, 10-30 теряется в результате денитрификации 1-5% вымывается в виде нитратов.

Естественное поступление азота осуществляется в результате биологической фиксации, с атмосферными осадками и семенами. В атмосфере над каждым гектаром почвы находится около 80 тыс. т азота, но молекулярный азот воздуха недоступен большинству растений (кроме бобовых). Только небольшое количество связанного азота (до 3-5 кг/га) образуется в самой атмосфере под действием грозových разрядов и с осадками в виде аммиака, азотистой и азотной кислот поступает в почву.

Единственный естественный источник восстановления почвенных запасов этого элемента – процесс *биологической*

фиксации молекулярного азота атмосферы. Гораздо большее значение для пополнения почвы азотом и питания растений имеет связывание (фиксация) молекулярного азота воздуха азотфиксирующими микроорганизмами, свободноживущими в почве (азотобактер, клубеньковыми бактериями, живущими в симбиозе с бобовыми растениями (*симбиотическая азотфиксация*), а также азотфиксирующими микроорганизмами в ризосфере небобовых растений (*ассоциативная азотфиксация*).

Свободноживущие и ассоциативные азотфиксаторы в тропической зоне, южных и умеренных широтах ассимилируют до 20-30 кг азота на 1 га, а в северных широтах при недостатке тепла, малом содержании органического вещества в почвах и неблагоприятной для азотфиксаторов кислой реакции – всего 5-10 кг/га.

Роль бобовых культур в балансе азота. Размеры симбиотической азотфиксации значительно больше и зависят от вида и урожайности бобовых растений. Так, клевер при хорошем урожае может накапливать 150-160 кг/га азота, люпин – 100-170, люцерна – 250-300 кг/га. Примерно $\frac{1}{3}$ связанного бобовыми травами азота сохраняется в послеуборочных и корневых остатках и после их минерализации может использоваться культурами, идущими в севообороте вслед за бобовыми. В среднем в 1 т сена бобовых трав имеется 25-30 кг азота, а в корневых и послеуборочных остатках содержится и поступает в почву 10-15 кг азота. Вклад биологического азота в азотный баланс определяется 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% общей посевной площади, а урожай

сена равен 4 т/га, то ежегодное поступление азота в почву на 1 га посевов бобовых составит 40- 60 кг, а в среднем на 1 га всей посевной площади – 4-6 кг. Зернобобовые культуры оставляют после себя в пожнивно-корневых остатках столько же азота, сколько используют для формирования урожая из почвы, то есть они не обедняют почву азотом и являются хорошим предшественником для других культур.

Суммарное поступление азота за счёт указанных источников далеко не компенсирует выноса его урожаями сельскохозяйственных культур и потерь из почвы в результате вымывания, эрозии и денитрификации. Чтобы не допустить обеднения почвы азотом и получать высокие, устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур, необходимо постоянно пополнять его запасы в почве путем внесения органических и минеральных удобрений. Поэтому для повышения урожаев всех культур и улучшения их качества огромное значение имеет внесение в почву содержащих азот органических и минеральных удобрений, получаемых путем искусственного синтеза из азота воздуха на химических заводах. Конечно, при этом должна максимально использоваться возможность вовлечения в круговорот питательных веществ фиксированного из атмосферы биологического азота путем расширения посева бобовых, особенно многолетних трав, и создания наиболее благоприятных условий для их выращивания и функционирования свободноживущих азотфиксаторов.

Диагностика азотного питания. Признаки недостатка и избытка азота в растениях. Характерные признаки азотного голодания: торможение роста вегетативных органов растений и появление бледно-зелёной или желто-зелёной окраски листьев из-за нарушения образования хлорофилла. Азот повторно используется (реутилизируется) в растениях, и при-

знаки его недостатка проявляются сначала у нижних листьев. Пожелтение начинается с жилок листа, затем распространяется к краям листовой пластинки. При остром длительном азотном голодании бледно-зелёная окраска листьев растений переходит (в зависимости от вида растений) в различные тона желтого, оранжевого и красного цветов, пораженные листья высыхают и преждевременно отмирают. У овощных культур при недостатке азота рост замедлен, стебли тонкие, волокнистые и твёрдые. У плодовых культур черешки листьев и их жилки приобретают красноватый оттенок. Угол наклона черешка к побегу становится острым, резко уменьшается число цветков и плодов, побеги красно-коричневые, короткие, тонкие, плоды мелкие, яркоокрашенные. При нормальном снабжении азотом листья темно-зелёные, растения хорошо кустятся, формируют мощный ассимиляционный стебле-листовой аппарат и полноценные репродуктивные органы.

При *избыточном азотном питании* листья крупные, часто свисающие. Избыточное, особенно одностороннее, снабжение азотом может замедлить развитие (созревание) растений и ухудшить структуру урожая, поскольку образуется большая вегетативная масса в ущерб товарной части урожая. При недостатке тепла в конце лета растения могут не достичь полной спелости. У корне- и клубнеплодов избыток азота приводит к израстанию в ботву, у зерновых культур и льна вызывает полегание посевов. В клубнях, корнеплодах, овощах, травах повышается содержание нитратов. У плодовых – понижается холодостойкость образуются мелкие, плохо окрашенные плоды, повышенное предуборочное опадение плодов, позднее их созревание, уменьшение прочности плодов, ухудшение лёжкости.

Почвенная диагностика проводится по содержанию легкогидролизуемого азота по Тюрину и Кононовой, щелоче-

гидролизуемого азота – по Корнфилду, по содержанию нитратного и аммиачного азота и нитрификационной способности. Градация почв по содержанию легкогидролизуемого азота по Тюрину и Кононовой или щелочегидролизуемого азота по Корнфилду и нитрификационной способности приведена в таблице 61.

Таблица 61

Группировка почв по содержанию гидролизуемого азота и нитрификационной способности, мг/кг почвы (Кротких Т.А., 2012)

№ группы	Легкогидролизуемый азот (по Тюрину и Кононовой)	Щелочегидролизуемый азот (по Корнфилду)	Нитрификационная способность мг NO_3^-
1	Менее 30	Менее 100	Менее 5,0
2	31-40	101-150	5,1-8,0
3	41-50	151-200	8,1-15,0
4	51-70	Более 200	15,1-30,0
5	71-100	-	30,1-60,0
6	Более 100	-	Более 60

В нашем крае не разработан единый показатель обеспеченности почв азотом, поэтому картограммы по азоту отсутствуют. Для определения потребности в азотных удобрениях весной предлагается использовать следующую шкалу (табл. 62).

Таблица 62

Содержание N-NO_3 в почве в слое 0-40 см и потребность растений в азотных удобрениях (Пискунов А.С., 1988)

N-NO_3 , мг/кг почвы в слое 0-40 см	Потребность растений в азотных удобрениях
0-3	очень сильная
4-6	сильная
7-10	средняя
11-14	слабая

При расчете доз азотных удобрений важно знать, сколько доступного азота может накапливаться под растениями за

вегетационный период за счёт самой почвы. В условиях Сибири с этой целью определяют текущую нитрификацию, не беря во внимание содержание аммонийного азота в почве.

Формула расчета текущей нитрификации (N_T) имеет следующий вид:

$$N_T = N_2 + B_6 - N_1, \text{ кг/га},$$

где N_2 – содержание $N-NO_3$ в почве перед уборкой культуры, кг/га;

N_1 – содержание $N-NO_3$ в почве до посева (посадки) культуры, кг/га;

B_6 – вынос азота биомассой урожая, кг/га.

Оптимальными сроками для определения текущей нитрификации в почве под яровыми зерновыми в условиях Предуралья начало - середина июня, для пропашных – конец июня - середина августа, для озимой ржи – середина-конец сентября и май – середина июня.

Определение азота в биомассе растений лучше проводить в фазе наибольшего его содержания. Для зерновых культур – это в фазах кущения – выход в трубку, для пропашных – фаза 7-8 листьев, у картофеля в фазу бутонизации, у капусты – начало завязывания кочана, у земляники – начало цветения.

На основании длительных исследований А.С. Пискуновым рассчитана величина текущей нитрификации для почв Предуралья (табл. 63).

Величина текущей нитрификации сильно изменяется в зависимости от кислотности и гранулометрического состава почв, влажности и температуры почв, в меньшей степени от содержания гумуса. Исследования А.С. Пискунова показали, что под яровыми зерновыми, пропашными и бобово-злаковыми культурами в дерново-подзолистых, серых лесных и черноземных почвах накапливается почти одинаковое количество нитратного азота.

Приведенные цифры нельзя считать постоянными, они могут изменяться в зависимости от погодных условий, густоты посевов и посадки, особенностей сельскохозяйственных культур и сортов, технологии возделывания растений. Содержание нитратного азота сильно возрастает в окультуренных почвах и при внесении органических и минеральных удобрений, мелиорантов (известии).

Таблица 63

Величина текущей нитрификации (N_т) в почвах Предуралья, кг/га
(Пискунов А.С., 1988)

Значение рН(сол.)	Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, содержание гумуса 2,5- 3,0 %	Серая лесная тяжело- суглинистая, содер- жание гумуса 4,0-8,0 %	Чернозем оподзолен- ный тяжелосуглини- стый, содержание гу- муса 9-12 %
Под яровыми и озимыми зерновыми культурами			
4,0-4,5	10-15	15-20	—
4,6-5,0	15-25	20-25	30-35
5,1-5,5	30-35	30-40	36-45
5,6-6,0	35-40	40-45	45-50
> 6,1	40-45	45-50	50-55
После клевера и люцерны			
4,0-4,5	—	—	—
4,6-5,0	20-30	20-35	35-40
5,1-5,5	35-45	40-50	40-50
5,6-6,0	45-50	50-55	50-60
> 6,1	50-55	55-60	60-65
Под пропашными культурами			
4,0-4,5	25-30	—	—
4,6-5,0	30-35	35-40	35-40
5,1-5,5	35-40	45-50	45-55
5,6-6,0	45-55	50-60	55-65
> 6,1	56-60	60-65	65-70

Ассортимент и классификация азотных удобрений, состав, свойства, применение

На многих почвах нашей страны, особенно в достаточно увлажненных районах на дерново-подзолистых, серых лесных и выщелоченных черноземах, а также при орошении на других почвах азотные удобрения имеют решающее значение в повышении урожаев. Они обеспечивают до 50% общей прибавки урожая, получаемой от полного минерального удобрения (NPK).

Однокомпонентные азотные удобрения подразделяют на следующие группы (табл. 64):

- *нитратные удобрения* (соли азотной кислоты или селитры), содержащие азот в нитратной форме;
- *аммонийные и аммиачные удобрения* (твердые и жидкие), содержащие азот, соответственно, в аммонийной или аммиачной формах;
- *аммонийно-нитратные удобрения*, в них азот находится и в аммонийной, и в нитратной формах (аммиачная селитра, ИАС);
- *удобрение, в состав которого азот входит в амидной форме* (мочевина или карбамид);
- *водные растворы мочевины (карбамида) и аммиачной селитры*, получившие название *КАС* (карбамид-аммиачная селитра).

Таблица 64

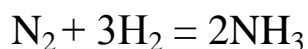
Характеристика основных азотных удобрений

Удобрения	Химическая формула	Содержание, N %
Нитратные удобрения		
Натриевая селитра (чилийская селитра)	NaNO_3	N-15,5-16,4%; (Na-26%)
Кальциевая селитра	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$	N-15,0-17,5%; Ca-

Окончание таблицы 64

Удобрения	Химическая формула	Содержание, N %
Аммонийные удобрения		
Сульфат аммония или сернокислый аммоний	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	N-20,8-21,0%; (S-24%)
Хлористый аммоний	NH_4Cl	N-25%; (Cl-67%)
Аммиачные удобрения		
Жидкий аммиак	NH_3	N-82,3%
Аммиачная вода	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{OH}$	N-16,4-20,5%
Аммонийно-нитратные удобрения		
Аммонийная селитра	NH_4NO_3	N-34,6-34,8%
Известково-аммиачная селитра (ИАС)	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$	N 22-26 (CaCO_3 -17-23%)
Амидные удобрения		
Карбамид (мочевина)	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	N-46%
КАС – водные растворы аммиачной селитры и мочевины		
КАС	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CO}(\text{NH}_2)_2$	N-28-32%

Производство различных азотных удобрений основано, главным образом, на образовании синтетического аммиака из молекулярного азота и водорода и является энергоёмким и технологически сложным процессом. Азот получают, пропуская воздух через генератор с горящим коксом, а источником водорода служат природный газ, нефтяные и коксовые газы. Из смеси N_2 и H_2 (в отношении 1:3) при высокой температуре и давлении в присутствии катализаторов получают аммиак:



Синтетический аммиак используют для производства не только мочевины, аммонийных солей и жидких аммиачных удобрений, но и азотной кислоты, которая идет для получения аммонийно-нитратных и нитратных, а также комплексных удобрений.

Мощности по производству аммиака в России достигают свыше 15 млн. т. Сейчас выпускают, главным образом, аммиачную селитру и мочевину, которую практически пол-

ностью экспортируют за рубеж. За счёт реконструкции устаревших для производства этих удобрений агрегатов налажен и будет расширяться выпуск жидких азотных удобрений, в том числе КАС.

Нитратные удобрения

Нитратные удобрения – натриевая и кальциевая селитры – являются побочным продуктом основных химических производств и всегда составляли небольшую долю (менее 1%) выпускаемых азотных удобрений.

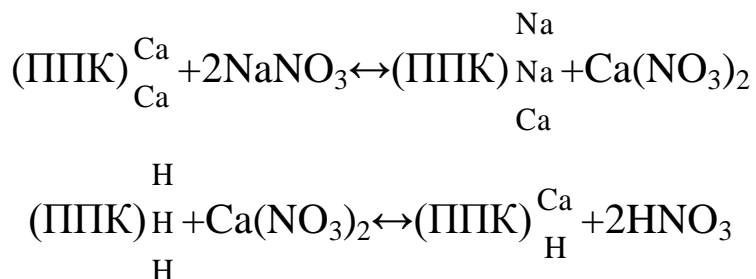
Натриевая селитра (чилийская селитра) $[NaNO_3]$ используется 3-х видов: 1-го сорта с содержанием 16,4% азота; 2-го сорта – 16,3% (ГОСТ 828-77Е); и техническая – 15,5% азота (МРТУ 0-45-66). Содержание натрия составляет 26%. Это мелкокристаллическая соль белого или желтовато-бурого цвета, хорошо растворимая в воде, горько-солёная. Обладает слабой гигроскопичностью, но при хранении в неблагоприятных условиях может слеживаться. При правильном хранении не слеживается и сохраняет хорошую рассеваемость. В почве вызывает подщелачивание среды, так как растение потребляет больше анион NO_3^- в обмен на выделяющийся анион HCO_3^- , который с Na образует гидролитически щелочную соль $NaHCO_3$ по уравнению: $NaHCO_3 + HON = Na^+ + OH^- + H_2CO_3$. Поэтому удобрение физиологически щелочное.

В первую очередь в хозяйствах её следует использовать в качестве подкормки озимых зерновых, многолетних злаковых трав, ягодных и овощных культур. Удобрение эффективно на озимой ржи, сахарной, кормовой и столовой свекле и других корнеплодах. Высокая эффективность натриевой селитры при внесении под корнеплоды вызвана ролью натрия. Он усиливает отток углеводов из листьев в корни, в результате повышаются урожай корнеплодов и содержание в них са-

хара. Перед внесением натриевую селитру можно смешивать с суперфосфатом и хлористым калием.

Кальциевая селитра $[Ca(NO_3)_2 \times 3H_2O]$ (ТУ2181-028-32496445-01) содержит 15,0-17,5% N и 14% воды. Это кристаллическая соль белого цвета, хорошо растворимая в воде. Обладает высокой гигроскопичностью и даже при нормальных условиях хранения сильно отсыревает, расплывается и слеживается. Хранят и перевозят её в специальной водонепроницаемой упаковке. Для уменьшения гигроскопичности кальциевую селитру гранулируют с применением гидрофобных покрытий, однако даже это полностью не устраняет неблагоприятные физические свойства удобрения. Это физиологически щелочное удобрение, поэтому подщелачивает почвенный раствор. Является хорошим удобрением на кислых дерново-подзолистых и серых лесных почвах. Удобрение эффективно на яровой пшенице, многолетних злаковых травах, овощных культурах при использовании в подкормку и менее эффективно на картофеле. Это единственное удобрение из простых, содержащее кальций в водорастворимой форме, поэтому широко применяется в защищенном грунте для корневых и некорневых подкормок. Ввиду высокой гигроскопичности кальциевая селитра мало пригодна для внесения в рядки. Её также не рекомендуется смешивать с другими удобрениями, так как смеси удобрений приобретают тестообразную массу.

В почве селитры быстро растворяются и вступают в обменные реакции с катионами ППК:



Катионы Na^+ или Ca^{2+} поглощаются почвой, а анионы NO_3^- остаются в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность. Поэтому в условиях влажного климата или при обильном орошении, особенно на легких почвах, нитратный азот может вымываться, а также теряться в виде газообразных продуктов в ходе денитрификации. Селитры не рекомендуют вносить осенью, их лучше заделывать весной под предпосевную обработку почвы.

Эти удобрения чаще приобретают овощеводческие хозяйства. Кальциевая селитра с успехом используют в овощеводстве защищенного грунта.

Ввиду невысокого содержания азота в этих удобрениях транспортировать их на далекие расстояния экономически невыгодно, затраты на транспортировку не окупаются прибавками урожая.

Аммонийные удобрения

Твердые аммонийные удобрения составляют около 4% валового производства азотных удобрений. К твердым аммонийным удобрениям относят сульфат аммония сульфат аммония-натрия и хлористый аммоний.

Сульфат аммония или сернокислый аммоний $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ (ГОСТ 9097-82) выпускается высшего сорта и технический в порошковидном виде. В России является отходом капролоктама и побочным продуктом коксохимического производства. В высшем сорте азота содержится 21,0-20,8%, в техническом – 20,8-19,0%. Синтетический сульфат аммония белого цвета, а коксохимический из-за органических примесей имеет серую, синеватую или красноватую окраску.

Содержит около 24% серы и служит хорошим источником этого элемента для питания растений.

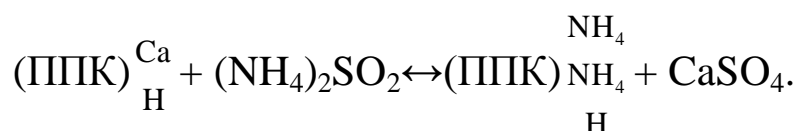
Кристаллическая соль, хорошо растворимая в воде. Гигроскопичность её очень слабая, поэтому при нормальных условиях хранения слеживается мало и сохраняет хорошую рассеваемость.

Сульфат аммония-натрия – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4$. Содержит 16-17% азота и 8% натрия. Его получают также при производстве капролактама. Кристаллическая соль белого, темно-серого или желтого цвета. Его используют так же, как и сульфат аммония, целесообразно вносить под сахарную свёклу и другие корнеплоды из-за содержания в нём натрия.

Хлористый аммоний $[\text{NH}_4\text{Cl}]$ (ГОСТ 2210-75). Побочный продукт при производстве соды. Удобрение содержит 25% азота. Из-за большого количества хлора (67%) NH_4Cl малопригоден для культур, чувствительных к этому элементу (табак, цитрусовые, картофель и др.).

Сульфат аммония и хлористый аммоний – удобрения физиологически кислые, так как растения из этих солей быстрее и в большем количестве потребляют катионы NH_4^+ , чем анионы SO_4^{2-} (или Cl^-). При однократном внесении умеренных доз этих удобрений заметного изменения реакции почвы не наблюдается, но при систематическом использовании на малобуферных почвах происходит значительное их подкисление.

После внесения в почву аммонийных удобрений они быстро растворяются в почвенной влаге и вступают в обменные реакции с катионами ППК:



Поглощенный аммоний хорошо доступен для растений. Подвижность его в почве и опасность вымывания в условиях

обычного увлажнения уменьшаются. Аммонийные удобрения можно применять заблаговременно, с осени под вспашку.

Аммонийные удобрения применяют преимущественно до посева в качестве основного удобрения, а в рядки или подкормку лучше вносить нитратные удобрения. С течением времени различия в подвижности нитратных и аммонийных удобрений нивелируются, так как аммонийный азот постепенно подвергается нитрификации и переходит в нитратную форму.

Хлористый аммоний нитрифицируется медленнее, чем сульфат аммония, что связано с отрицательным влиянием хлора на деятельность нитрифицирующих бактерий. Это удобрение целесообразно применять под рис.

В результате нитрификации аммонийных удобрений образуется HNO_3 , освобождается H_2SO_4 или HCl . Эти кислоты подкисляют почвенный раствор и вытесняют основания из почвенного поглощающего комплекса. При систематическом применении аммонийных удобрений, особенно на малобуферных и слабокультуренных 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 и развития растений и снижается эффективность удобрений. Возрастает потребность в известковании.

На подкисляющее действие аммонийных удобрений особенно сильно реагируют культуры, чувствительные к почвенной кислотности: клевер, пшеница, ячмень, свёкла, капуста. Для них аммонийные удобрения уже с первых лет применения менее эффективны, чем нитратные. Известкование устраняет отрицательное влияние аммонийных удобре-

ний на свойства почвы. Хорошая заправка почвы навозом, повышая её буферность, также снижает отрицательное действие этих удобрений на свойства почвы и имеет важное значение для более эффективного их применения.

Аммиачные удобрения

К жидким аммиачным удобрениям относят безводный аммиак и аммиачную воду. Доля производства этих удобрений постоянно возрастает.

Аммиак жидкий синтетический $[NH_3]$ (82,0% N – ГОСТ 6221-90 марка В). Получают сжижением газообразного аммиака под давлением. По внешнему виду бесцветная, подвижная жидкость, плотность при 20°С составляет 0,61, температура кипения – 34°С. При хранении в открытых сосудах быстро испаряется. Обладает высокой упругостью паров (при 10°С 0,51 МПа и при 38°С 1,37 МПа), поэтому его хранят и транспортируют в стальных баллонах или цистернах, выдерживающих высокое давление.

Аммиак водный (аммиачная вода) $[NH_4OH + NH_3]$ (ТУ 9-92) – это раствор аммиака в воде. Промышленностью выпускается двух сортов:

- первый сорт содержит азота 20,5% (25% NH_3);
- второй сорт – не менее 18,0% азота и 22% NH_3 . В ассортименте азотных удобрений в 1980 г. составлял 11%, в 2009 г. – 1%.

Азот в аммиачной воде представлен двумя формами: свободным аммиаком – NH_3 и гидратом окиси аммония – NH_4OH .

Бесцветная или желтоватая жидкость с резким запахом аммиака (нашатырного спирта). Упругость паров небольшая. Хранить и транспортировать можно в герметически закры-

вающихся резервуарах (цистернах, баках), рассчитанных на невысокое давление. В аммиачной воде азот находится в форме NH_3 и NH_4OH , причем, аммиака содержится больше, чем аммония. Этим обусловлена вероятность потерь азота за счёт улетучивания NH_3 при перевозке, хранении и внесении удобрения. Использовать её в качестве удобрения проще и безопаснее, чем безводный аммиак. Однако это удобрение имеет существенный недостаток – содержит мало азота.

Преимущество жидких азотных удобрений заключается в том, что производство и применение их значительно дешевле, чем твёрдых. При производстве жидких аммиачных удобрений отпадает необходимость строительства цехов азотной кислоты, а также кристаллизации, упаривания, гранулирования, сушки. Это позволяет значительно снизить капиталовложения на строительство азотнотукового завода равной (по азоту) мощности. Стоимость единицы азота в безводном и водном аммиаке примерно в 1,5-2 раза меньше, чем в аммиачной селитре. Кроме того, в 2-3 раза сокращаются затраты труда на внесение жидких удобрений. Это связано с тем, что исключаются все работы по подготовке удобрений к внесению (дробление, просеивание, засыпка в туковые сеялки и т. д.), а все операции по их использованию (погрузка, выгрузка, внесение в почву) полностью механизированы. При правильном применении жидкие азотные удобрения дают такие же прибавки урожаев культур, как и равная доза азота в аммиачной селитре.

Однако обеспечение технологии транспортировки, хранения и внесения жидких аммиачных удобрений, особенно безводного аммиака, требуют больших капитальных затрат (на создание специальных транспортных средств, хранилищ и агрегатов для внутрипочвенного внесения с герметичными,

а для безводного аммиака – рассчитанными на высокое давление емкостями). Кроме того, к работе с технологическим оборудованием по применению жидких удобрений допускают только специально обученный персонал.

Жидкие аммиачные удобрения вносят специальными машинами, обеспечивающими немедленную заделку их на глубину не менее 10-12 см на тяжелых почвах и 14-18 см – на легких. Поверхностно внесение этих удобрений недопустимо, так как аммиак быстро испаряется. При более мелкой заделке также возможны значительные его потери, особенно на легких песчаных и супесчаных почвах. Из влажной почвы потери аммиака значительно меньше, чем из сухой.

При внесении жидких аммиачных удобрений ион аммония (безводный аммиак превращается в газ и связывается почвенной влагой с образованием гидроксида аммония), обменно поглощается и поэтому слабо передвигается в почве. В первые дни после заделки удобрений почва подщелачивается, а затем, по мере нитрификации аммиачного азота, её реакция сдвигается в сторону подкисления. При нитрификации азота удобрений возрастает его подвижность в почве. В зоне внесения безводного аммиака происходит временная стерилизация почвы, и скорость нитрификации замедляется.

Жидкие аммиачные удобрения можно применять для основного (допосевного) внесения под все культуры не только под предпосевную культивацию, но и осенью под вспашку. Их можно использовать и для подкормки пропашных культур. В этом случае во избежание ожогов растений удобрения заделывают в середину междурядий или на расстоянии не менее 15 см от растений.

В почве водный аммиак вступает в физико-химические связи с её коллоидами, прочно закрепляется, поэтому его

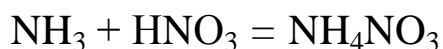
можно вносить с осени под зяблевую вспашку, не боясь потерь азота. Водный аммиак можно применять также в составе основного удобрения в весеннее время под все культуры и летом в подкормку овощных и пропашных культур.

В поглощенном состоянии находится он недолго. При температуре почвы 20°C и выше уже через месяц почти весь аммонийный азот в результате нитрификации переходит в нитратную форму, то есть образуются нитраты – соли азотной кислоты [KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, NaNO_3 и др.]

При работе с жидкими аммиачными удобрениями следует соблюдать правила техники безопасности, так как пары аммиака вызывают раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей, удушье и кашель. При осмотре и ремонте емкостей из-под этих удобрений необходимо соблюдать меры предосторожности, так как смесь аммиака с воздухом взрывоопасна.

Аммонийно-нитратные удобрения

Аммиачная селитра (азотнокислый аммоний, нитрат аммония) – NH_4NO_3 . Это основное поставляемое сельскому хозяйству одностороннее азотное удобрение, содержит 34% азота. Получается нейтрализацией азотной кислоты аммиаком:



Удобрение выпускают в виде кристаллов белого цвета или гранул размером 1-3 мм, различной формы (сферической, в виде чешуек, пластинок). Негранулированная кристаллическая аммиачная селитра обладает высокой гигроскопичностью, при хранении слеживается, поэтому хранить её следует в водонепроницаемых мешках в сухом помещении. Гранулированная селитра менее гигроскопична, меньше слеживается, сохраняет хорошую рассеиваемость, особенно если в процес-

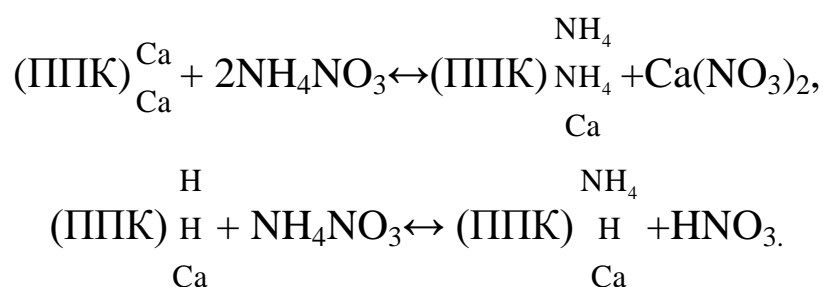
се получения в неё в небольших количествах вводят специальные кондиционирующие (гидрофобные) добавки. Доля аммонийной селитры в ассортименте азотных удобрений 55-60%.

Следует помнить, что аммонийная селитра пожаро- и взрывоопасна, при хранении в больших количествах способна к детонации. Поэтому при работе с ней соблюдают особые меры предосторожности; её складировуют в специально оборудованных помещениях, вдали от легковоспламеняющихся и взрывчатых веществ.

Аммонийная селитра – хорошо растворимое безбалластное высококонцентрированное универсальное удобрение. Её можно применять под любые культуры и на всех почвах перед посевом, при посеве в рядки или лунки и в подкормку.

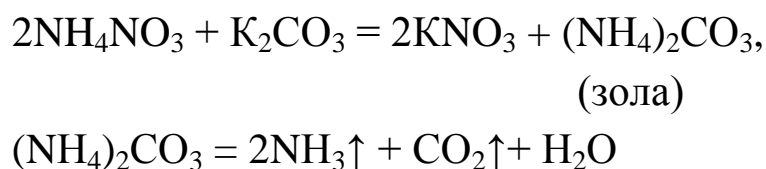
Одна половина азота в удобрении находится в нитратной, а другая – в аммонийной форме. В полевых условиях аммиачная селитра обладает явным, но более слабым по сравнению с сульфатом аммония подкисляющим действием на почву, что является следствием как проявления её возможной физиологической кислотности, так и трансформации удобрения в почве.

При взаимодействии NH_4NO_3 с ППК катион NH_4^+ поглощается почвой, а анион NO_3^- остается в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность:



Аммоний удобрения подвергается процессу нитрификации, переходит в NO_3^- при благоприятной температуре 25-28°C и влажности 60-70% от ПВ при доступе O_2 .

Аммонийную селитру можно смешивать с суперфосфатом и хлористым калием в день внесения в почву. При заблаговременном смешивании смесь становится влажной, липкой, неравномерно вносится на поверхность поля. Нельзя смешивать аммонийное удобрение со щелочными удобрениями (известь, томасшлак, зола), это приводит к потере азота в виде аммиака:



На почвах, насыщенных основаниями, в растворе образуется селитра кальциевая (или магниевая), и почвенный раствор не подкисляется даже при систематическом внесении высоких доз удобрения. Для этих почв аммиачная селитра – одна из лучших форм азотных удобрений.

На кислых дерново-подзолистых почвах, содержащих в поглощенном состоянии мало кальция и много ионов H^+ , в почвенном растворе образуется HNO_3 , поэтому он подкисляется. Подкисление носит временный характер, так как исчезает по мере потребления нитратного азота растениями. В первое же время, особенно при внесении большой дозы аммиачной селитры и неравномерном её рассеивании, в почве могут создаваться очаги с высокой кислотностью.

При длительном применении аммиачной селитры на малобуферных дерново-подзолистых почвах подкисление может быть довольно сильным, в результате эффективность

этого удобрения, особенно при внесении под культуры, чувствительные к повышенной кислотности, заметно снижается.

Для повышения эффективности NH_4NO_3 на кислых почвах большое значение имеет их предварительное известкование (или нейтрализация кислотности самого удобрения известью или доломитом в соотношении 1:1).

На кислых дерново-подзолистых почвах более высокий эффект, особенно при систематическом применении, даёт нейтрализованная, или *известково-аммиачная селитра* ($\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$). Её получают сплавлением или смешиванием нитрата аммония с определённым количеством извести, мела или доломита. Известково-аммиачная селитра не подкисляет почву, значительно меньше слеживается при хранении и не взрывоопасна. Выпускаемое удобрение содержит 26% (марка А) и 22% (марка В) азота и, соответственно, 17 и 27% карбоната кальция.

Амидные удобрения

Карбамид (мочевина) $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$. По ГОСТ 2081-92 высший сорт содержит азота 46,2%, первый сорт – 46,0%. Получают синтезом из аммиака и диоксида углерода при высоких давлениях и температуре. Белый мелкокристаллический продукт, хорошо растворимый в воде. Гигроскопичность при температуре до 20⁰С сравнительно небольшая. При хороших условиях хранения слеживается мало, сохраняет удовлетворительную рассеваемость. Особенно хорошими физическими свойствами обладает гранулированная мочеви́на.

Во время грануляции мочевины образуется биурет $[(\text{CONH}_2)_2\text{NH}]$, обладающий токсичным действием, однако содержание его в гранулированном удобрении не превышает 1% и практически безвредно для растений при обычных способах применения.

В почве под влиянием уробактерий, выделяющих фермент уреазу, мочевины быстро (за 2-3 дня) аммонифицируется с образованием карбоната аммония:



В первые дни после внесения мочевины вследствие образования $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (гидролитически щелочная соль) происходит временное местное подщелачивание почвы. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ поглощается почвой и постепенно нитрифицируется (причем нитрификация его протекает быстрее, чем $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, и временное подщелачивание почвы сменяется некоторым подкислением).

На малобуферных легких почвах смещение реакции почвенного раствора может быть особенно заметным. Для нейтрализации подкисляющего действия 1 ц мочевины требуется 0,83 ц CaCO_3 .

Мочевина – одно из лучших азотных удобрений и по эффективности равноценна аммиачной селитре, а на рисе – сульфату аммония. Её можно применять как основное удобрение или в подкормку под все культуры и на различных почвах.

При внесении мочевины в почву её необходимо своевременно заделать, так как при поверхностном размещении удобрения возможны потери азота вследствие улетучивания аммиака из углекислого аммония, легко разлагающегося на воздухе, особенно на карбонатных и щелочных почвах:



Значительные потери в форме аммиака могут происходить при использовании мочевины в подкормку на лугах и пастбищах, поскольку дернина обладает высокой уреазной активностью. Мочевину с успехом можно применять для не-

корневой подкормки овощных и плодовых культур, а также для поздних подкормок пшеницы с целью повышения содержания белка в зерне. В отличие от других азотных удобрений, мочевины даже в повышенной концентрации (> 5%) не обжигает листья и хорошо усваивается растениями при использовании её в виде некорневой подкормки.

Кроме того, мочевины применяют в животноводстве как азотную добавку к углеводистым кормам.

КАС – водные растворы аммиачной селитры и мочевины

Смеси водных растворов карбамида и аммиачной селитры $[NH_4NO_3 \times CO(NH_2)_2]$ – (КАС) с содержанием 28-32% азота получили широкое распространение за рубежом, и производятся в нашей стране (табл. 65).

Таблица 65

Состав и свойства растворов КАС, (Минеев В.Г., 2006)

Показатели	КАС-28	КАС-30	КАС-32
Состав по массе, %:			
NH_4NO_3	40,1	42,2	43,3
$CO(NH_2)_2$	30,0	32,7	36,4
H_2O	29,9	25,1	20,3
Плотность при 15,6 °С, т/м ³	1,283	1,303	1,327
Температура выпадения кристаллов, °С	-18	-10	-2

Растворы КАС получают из плавов карбамида и аммиачной селитры, производимых по традиционной технологии (себестоимость единицы азота в этом случае ниже, чем в твёрдых удобрениях, из-за исключения дорогостоящих и энергоёмких операций доупаривания, гранулирования и кондиционирования), а также по еще более экономичной интегральной схеме – путём получения плава карбамида упрощенным способом и нейтрализации непрореагировавшего аммиака азотной кислотой. В качестве противокоррозионного агента в КАС вводят небольшие количества фосфатов.

В отличие от жидких аммиачных удобрений КАС практически не содержит свободного аммиака, её можно вносить с помощью высокопроизводительных агрегатов без одновременной заделки в почву, а также с поливной водой.

КАС с ингибитором коррозии можно перевозить в обычных железнодорожных цистернах и автоцистернах; особенно выгодна транспортировка КАС по трубопроводам и водным транспортом.

Низкая температура кристаллизации и замерзания позволяет транспортировать и хранить КАС круглогодично, особенно в заглубленных в почву естественно утеплённых хранилищах из бетона и асфальта с внутренним покрытием из плёнки, армированного стекловолокна или мягкой стали.

КАС имеет высокий удельный вес, что позволяет значительно сократить капитальные вложения в транспортировку и хранение. При равном объеме удобрений в КАС-32 содержится в 1,3 раза больше азота чем в гранулированной мочеvine, и в 1,5 раза больше чем в аммиачной селитре.

При использовании КАС обеспечиваются высокая точность дозирования и равномерность внесения по всей площади. Для транспортировки и внесения КАС можно использовать ту же технику, что и для жидких комплексных удобрений, аммиачной воды и гербицидов. В условиях интенсивных и энергосберегающих технологий возделывания культур немаловажное значение приобретает возможность введения в КАС микроэлементов и пестицидов.

Таким образом, использование КАС в сельском хозяйстве имеет несомненные преимущества перед твердыми удобрениями: обеспечивается полная механизация всех погрузочно-разгрузочных работ, резко уменьшаются потери азота, снижаются затраты на производство и применение, улучшаются условия труда, исключаются расход тары и слёживаемость, обеспечивается высокая равномерность внесе-

ния азота, упрощается приготовление необходимых тукоسمесей, в том числе с добавкой микроэлементов и пестицидов.

КАС можно с успехом применять в зональных технологиях возделывания культур, особенно в крупных хозяйствах. Однако для использования КАС необходима высокопроизводительная техника для транспортировки и внесения этих удобрений, а также приготовленных на их основе жидких комплексных удобрений.

Пути повышения эффективности азотных удобрений

Коэффициенты использования азота из удобрений. Коэффициент использования азота из удобрений составляет в среднем 40-50%. В зависимости от культур изменяются от 5 до 65% (табл. 66).

Таблица 66

Средние коэффициенты использования растениями азота из минеральных удобрений в год внесения в почву в Нечерноземной зоне (Справочник агрохимика, 1976; Дудина Н.Х. и др., 1991)

Культура	Коэффициенты использования, %	Культура	Коэффициенты использования, %
Яровые зерновые	40-50	Огурец	40
Озимые зерновые	40-50	Томат	35
Лен	30-40	Свёкла	65
Картофель	40-50	Лук	30
Кормовые культуры	50-60	Редис	5
Капуста белокочанная	60-65	Яблоня, груша	18

На эффективность азотных удобрений оказывают влияние следующие факторы:

- 1) географические закономерности их действия;
- 2) комплекс агрономических и мелиоративных мероприятий, применяемых в севообороте или под конкретную культуру;

- 3) научно обоснованная технология применения самих азотных удобрений (дозы, сроки, способы, формы);
- 4) совершенствование форм азотных удобрений;
- 5) использование наиболее эффективных методов диагностики применения азотных удобрений.

Азотные удобрения наиболее эффективны в районах достаточного увлажнения. Каждая тонна азота даёт дополнительно 10-15 т зерна, 30-40 т корнеплодов сахарной свёклы, 40-50 т кочанов капусты, 20-30 т сена луговых трав, 2 т льноволокна. Действие их устойчиво проявляется в Нечернозёмной зоне на дерново-подзолистых почвах, серых лесных, а также выщелоченных и оподзоленных чернозёмах.

Действие азотных удобрений может быть разным и внутри крупных земледельческих зон. Так, в Нечернозёмной зоне 1 кг азота при оптимальных дозах удобрений даёт дополнительно 8-15 кг зерна, 50-70 кг картофеля, 70-100 кг силосной кукурузы, 20-30 кг кочанов капусты, 30-35 кг корнеплодов моркови и столовой свёклы, 6-7 кг лука репки. Особенно высокое действие азотных удобрений проявляется на супесчаных и песчаных почвах.

Повышение эффективности азотных удобрений связано с улучшением культуры земледелия (отсутствием засоренности, благоприятные водно-воздушные и тепловые режимы почвы, оптимальное содержание других питательных элементов в почве, посев высокопродуктивных сортов культур, применение интегральной системы защиты растений от вредителей, болезней и сорняков). Все мероприятия, направленные на повышение плодородия почв, их окультуренности, способствуют и повышению эффективности азотных удобрений.

Азот должен находиться в почве в оптимальном соотношении с другими элементами питания. Необходимо строгое соблюдение доз, форм, способов и сроков их внесения. Дозы

азотных удобрений под основные культуры: зернобобовые – 30-40 кг/га, однолетние травы – 40-60 кг, озимые зерновые – 60-90 кг, яровые зерновые – 30-60 кг, картофель – 90-120 кг, корнеплоды – 60-120 кг, плодово-ягодные – 60-90 кг/га.

Повышению эффективности удобрений способствует совершенствование методов оптимизации азотного питания в течение всей вегетации растения. При этом необходимо учитывать прямое действие удобрений и косвенное, связанное с мобилизацией дополнительного «экстраазота» вследствие минерализации органического вещества почвы.

Необходимо использование ингибиторов нитрификации для уменьшения потерь, совершенствование форм азотных удобрений в плане пролонгированного их действия, совершенствование технологии производства медленно действующих удобрений и выпуск капсулированных удобрений, применение их на известкованных почвах.

Вопросы для повторения:

1. Роль азота в растениях. 2. Содержание и вынос азота сельскохозяйственными культурами. 3. Динамика потребления азота различными сельскохозяйственными культурами. 4. Содержание азота в почвах нашей зоны. 5. Формы азота в почвах и их доступность растениям. 6. Что такое аммонификация? 7. Нитрификация и её роль в питании растений азотом. 8. Денитрификация и условия для её протекания. 9. Источники азотного питания растений. 10. Расскажите о мочеvine. Каков её состав, свойства, получение? 11. Что такое КАС, каковы их свойства и преимущества перед другими твердыми и жидкими азотными удобрениями? 12. Превращение мочевины в почве. 13. Какие свойства и особенности применения имеют жидкие аммиачные удобрения. 14. Аммиачно-нитратные формы азотных удобрений, их превращение в почве и особенности применения. 15. Физиологическая реакция азотных удобрений. 16. Опишите сходства и различия в свойствах и применении безводного аммиака и КАС. 17. От чего зависит эффективность азотных удобрений?

Лекция 2. Фосфор в почвах, растениях, удобрениях

- Агрохимические и физиологические основы применения фосфорных удобрений.
- Получение, состав и свойства, превращение в почве и особенности применения фосфорных удобрений.
- Условия эффективного применения фосфоритной муки.
- Пути повышения эффективности фосфорных удобрений.

Агрохимические и физиологические основы применения фосфорных удобрений

Роль фосфора в растении. Фосфор в растениях представлен органической и минеральной формой. Из органических соединений фосфора наиболее важную роль в растениях играют нуклеиновые кислоты – сложные высокомолекулярные вещества, состоящие из азотистых оснований, молекулы углеводов (рибозы или дезоксирибозы) и фосфорной кислоты. В растениях нуклеиновые кислоты (РНК и ДНК) по содержанию фосфора занимают первое место, на их долю приходится около 80% фосфора или 0,1-1% на сухое вещество. Они участвуют в самых важных процессах жизнедеятельности организмов – синтезе белка, росте и размножении, передаче наследственных свойств. Нуклеиновые кислоты образуют комплексы с белками нуклеопротеиды, участвующие в построении цитоплазмы и ядра клеток. Фосфор входит в состав фосфатидов (фосфоглицеридов), которые образуют белково-липидные клеточные мембраны и регулируют их проницаемость для различных веществ. Значительное количество фосфора в растениях находится в составе фитина – за-

пасного вещества семени, используемого как источник этого элемента во время прорастания. Важная группа фосфорорганических соединений в тканях растений – сахарофосфаты, образующиеся в процессах фотосинтеза, синтеза и распада углеводов. Фосфор входит также в состав витаминов и многих ферментов.

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

Фосфор имеет большое значение в энергетическом обмене и в разнообразных процессах обмена веществ в растительных организмах. Он участвует в углеводном и азотном обмене, в процессах фотосинтеза, дыхания и брожения. Энергия солнечного света в процессе фотосинтеза и энергия, выделяемая при окислении в процессе дыхания ранее синтезированных органических соединений, аккумулируется в растениях в виде энергии фосфатных связей макроэргических соединений. Важнейшее из таких соединений – АТФ. Накопленная в АТФ энергия используется для всех жизненных процессов роста и развития растения, в том числе для поглощения питательных веществ из почвы, синтеза органических соединений, их транспорта. При недостатке фосфора нарушается обмен энергии и веществ в растениях.

Содержание фосфора в растениях колеблется от 0,2 до 1,5%, больше его в бобовых и технических культурах (1,0-1,4%), меньше всего в овощных и кормовых культурах (0,01-0,05), зерновые занимают промежуточное положение (0,6-0,8%) (табл. 67, 68).

Таблица 67

Содержание фосфора в урожае различных сельскохозяйственных культур, % к общей массе (Минеев В.Г., 2006)

Культура	Зерно	Солома	Культура	Зерно	Солома
Озимая пшеница	0,85	0,20	Соя	1,04	0,13
Озимая рожь	0,85	0,26	Вика	0,99	0,27
Кукуруза	0,57	0,30	Кормовые бобы	1,21	0,29
Ячмень	0,85	0,20	Синий люпин	1,42	0,35
Овёс	0,85	0,35	Лён (семена)	1,35	0,42
Просо	0,65	0,18	Люцерна (сено)	-	0,65
Гречиха	0,57	0,64	Клевер (сено)	-	0,56
Горох	1,00	0,35	Люпин (зел. масса)	-	0,11

Таблица 68

Содержание фосфора в овощах и плодах, % на сырую массу (Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н., 1988)

Культура	P ₂ O ₅	Культура	P ₂ O ₅
Капуста белокочанная	0,031	Томат	0,026
Капуста цветная	0,051	Огурец	0,042
Кабачок	0,012	Салат	0,034
Лук репчатый	0,058	Яблоня	0,011
Чеснок	0,140	Груша	0,016
Морковь	0,039	Земляника	0,030
Свёкла	0,043	Вишня	0,023

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

Вынос и динамика потребления фосфора растениями. Растения наиболее чувствительны к недостатку фосфора в самом раннем возрасте, когда их слаборазвитая корневая система обладает низкой усвояющей способностью. Отрицательное действие недостатка фосфора в этот период не может быть исправлено последующим даже обильным фосфорным питанием (см. табл. 18).

Источниками фосфорного питания растений могут быть соли орто-, мета- и полифосфорных кислот, а также органические фосфаты: сахарофосфаты и фитин. За вегетационный период растения потребляют из почвы на 1 т зерна около 10-15 кг фосфора (P_2O_5), а 1 т товарного урожая овощных культур, корне- клубнеплодов – 1,0-1,5 кг (табл. 69).

Таблица 69

Примерный вынос фосфора (кг) на создание 1 т товарной продукции
(Справочник агрохимика, 1976; Дудина Н.Х. и др., 1991)

Продукция	P_2O_5
Зерно:	
• пшеницы, ржи, ячменя, овса, кукурузы, крупяных культур (гречиха, просо),	
• бобовых (горох, вика)	11-15
Сено:	
• тимофеевка	7,0
• клевера	5,6
• люцерны	25-30
Клубни картофеля	2,0-2,2
Корнеплоды:	
• сахарной свеклы	5,0-6,0
• кормовой свеклы	1,0-1,1
• столовой свёклы	1,2-1,5
• столовой моркови	1,0-1,5
Кочаны капусты	1,1-1,2
Плоды томата	3,0-3,5
Плоды огурца	1,5-1,7
Яблоня	0,5-0,8
Груша	0,5-0,7
Вишня	1,5-1,7
Смородина чёрная	2,0-3,4
Смородина красная	1,8-2,5
Крыжовник	1,7-2,2
Земляника	2,0-3,2

Это 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 отчуждается с урожаем и не может быть возвращена в почву с навозом

или корневыми и стерневыми остатками. Кроме того, если запасы азота в почве пополняются в результате фиксации азота воздуха, то в отношении фосфора нет других источников, кроме фосфорных удобрений. Эти обстоятельства круговорота фосфора определяют высокую потребность в фосфорных удобрениях и большое значение их для повышения урожаев. Потребность в фосфорных удобрениях и их эффективность особенно возрастают при достаточном обеспечении растений азотом.

Признаки фосфорного голодания. При недостатке фосфора растения резко замедляют рост, листья приобретают (сначала с краев, а затем по всей поверхности) серо-зелёную, пурпурную или красно-фиолетовую окраску. Со временем на листьях появляются жёлто-бурые, а затем тёмно-бурые пятна по краям. Признаки фосфорного голодания особенно хорошо заметны в холодную погоду. У зерновых злаков при дефиците фосфора уменьшаются кущение и образование плодородных стеблей, стебель становится грубым и деревянистым, листья мелкие, расположены почти вертикально. У картофеля листья становятся морщинистыми, тёмно-зелёными, при остром голодании нижние листья приобретают фиолетовую окраску, края их долек закручиваются кверху, доли имеют чашеобразную форму. Растения жёсткие, прямые, листья мелкие. В клубнях могут появляться ржаво-бурые пятна. У капустных вдоль жилок старых листьев появляется багряная окраска, у томата сначала старые листья, а затем и молодые приобретают красно-фиолетовый оттенок. У плодовых – листья мелкие, темно-зеленые, с бронзовым или пурпурным оттенком, ветвление ограничено, листва редкая, плоды мелкие, сильно окрашенные.

Цветение и созревание у всех растений заметно задерживается. Признаки фосфорного голодания обычно проявля-

ются уже в начальный период развития растений, когда они имеют слаборазвитую корневую систему и не способны усваивать труднорастворимые фосфаты почвы.

Фосфор в почвах. Количество 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/га (табл. 70)

Таблица 70

Относительное и валовое содержание фосфора в пахотном слое
разных почв (Минеев В.Г., 2006)

Почва	P_2O_5		Почва	P_2O_5	
	%	тыс. кг/га		%	тыс. кг/га
Дерново-подзолистая песчаная	0,03-0,06	0,9-1,8	Чернозем	0,1-0,3	3-9
Дерново-подзолистая суглинистая	0,04-0,12	1,2-3,6	Серозем	0,08-0,2	1,6-6

Валовое содержание фосфора в почвах Предуралья представлено в таблице 71.

Таблица 71

Валовое содержание фосфора в пахотном слое почв Предуралья, кг/га
(Кротких Т.А., 2012)

Почвы	Фосфор (P_2O_5)
Дерново-подзолистые песчаные, супесчаные и легкосуглинистые разной степени оподзоленности	600-2400
Дерново-подзолистые глинистые, тяжело - и среднесуглинистые разной степени оподзоленности	2400-4800
Светло-серые лесные	3000-3900
Серые лесные	3900-5400
Темно-серые	4500-6000
Черноземы оподзоленные	6000-7500
Дерново-карбонатные, дерново-бурые и коричнево-бурые	3900-6000
Дерново-луговые глееватые	6000-6900
Торфяные	3000-6000

Фосфора больше в почвах с высоким содержанием органического вещества (типичные и обыкновенные черноземы), чем в бедных гумусом почвах (дерново-подзолистые и

серые лесные). В материнских породах фосфор содержится в основном в форме фторапатита $\text{CaF}(\text{PO}_4)_3$ и гидроксилapatита $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{HPO}_4)_3$. Основное количество фосфора находится в почве в форме минеральных и органических соединений, недоступных для растений.

Минеральный фосфор находится в виде ионов и солей в почвенном растворе, адсорбированный на поверхности неорганических компонентов почвы и в составе аморфных и кристаллических минералов.

Чем выше содержание в почве органического вещества, тем больше в ней органического фосфора. Органические соединения фосфора содержатся в гумусе от 1 до 3% от его массы, а также в пожнивно-корневых остатках и телах микроорганизмов. Органические фосфаты почвы (гумуса, сложных белков, простых и сложных фосфатов, сахарофосфатов, нуклеопротеидов и фитина) минерализуются фосфобактериями до минерального. В перегнойном горизонте серых лесных почв на долю органического фосфора приходится 30-40%, в дерново-подзолистых – 10-20%. Фосфор, входящий в состав органического вещества, почти недоступен для растений и участвует в питании растений, видимо, после гидролиза и отщепления фосфата.

Основная часть солей фосфорной кислоты почвы находится в форме соединений, малодоступных для растений. Нерастворимыми солями являются трёхзамещенные фосфаты двух- и трехвалентных катионов: $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$, AlPO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ и др. Водорастворимыми солями являются соли одновалентных катионов в любой степени замещения водорода H_3PO_4 на металлы KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, NaH_2PO_4 , однозамещенные соли двухвалентных катионов Ca и Mg: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Эти соли являются источником фосфора для растений и носят название доступного фосфора в почве.

При определении доступного фосфора навеску почвы обрабатывают слабыми растворами кислот и солей. Для дерново-подзолистых, серых лесных почв принят метод Кирсанова (вытяжка 0,2 н. HCl), для черноземных – метод Чирикова (вытяжка 0,5 н. CH₃COOH), карбонатных почв – метод Мачигина (1% (NH₄)₂CO₃). Агрохимическая служба подвижный фосфор и калий в дерново-подзолистых почвах определяет из одной вытяжки по Кирсанову. На основании аналитических данных почвы по обеспеченности доступным фосфором и калием объединяются в классы (группы). Группировка почв по фосфору приведена в таблице 72. По результатам полевых опытов Географической сети оптимальные уровни содержания подвижного фосфора для дерново-подзолистых, серых лесных почв составляют 100-150 мг/кг.

Таблица 72

Группировка почв по содержанию подвижного фосфора в вытяжке по Кирсанову, мг/кг [24]

Группы	Содержание P ₂ O ₅
1. Очень низкое	Менее 25
2. Низкое	26-50
3. Среднее	51-100
4. Повышенное	51-100
5. Высокое	101-150
6. Очень высокое	> 250

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

Значительная доля почв сельскохозяйственного назначения, в том числе пахотных земель России, имеет низкую обес-

печенность фосфором. Особенно бедны фосфором почвы легкого гранулометрического состава. Низкое содержание подвижного и, следовательно, доступного для растений фосфора характерно для кислых почв с высокой способностью к химическому поглощению его в труднодоступных формах. На черноземах и других почвах с повышенным содержанием гумуса фосфор является элементом питания, в первую очередь лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур.

В настоящее время более 30 млн. га пахотных земель России имеют содержание подвижного фосфора ниже среднего. Особенно заметное падение запасов подвижных форм фосфора в почвах за последнее десятилетие отмечается в Дальневосточном, Восточно-Сибирском, Уральском и Северо-Кавказском экономических регионах России.

С 1 га в год потери за счёт водной эрозии фосфора составляют 5-10 кг, вымывания в грунтовые воды – 3-5 кг, вынос урожаями сельскохозяйственных культур – 15-50 кг. В отличие от азота, никаких других источников восполнения запасов фосфора в почвах, помимо частичного его возврата с навозом и применения фосфорсодержащих минеральных удобрений, не существует.

При внесении в почву фосфор удобрений претерпевает ряд превращений, направленных на снижение его растворимости и доступности растениям:

- биологическую иммобилизацию почвенной микрофлорой;
- образование нерастворимых осадков с двухвалентными металлами, оксидами и гидрооксидами алюминия, железа, марганца;
- химическую необменную адсорбцию на поверхности аморфных плёнок и глинистых минералов;

- физико-химическую (обменную) адсорбцию минеральными и органическими коллоидами;
- осаждение фосфатов при коагуляции минеральных и органических почвенных коллоидов.

Получение, состав и свойства, превращение в почве и особенности применения фосфорных удобрений

Фосфорные удобрения, в зависимости от растворимости и доступности фосфора для растений, подразделяют на три группы (табл. 73):

- *содержащие фосфор в водорастворимой форме* – суперфосфат простой и двойной. Фосфор из этих удобрений легко доступен растениям;
- *фосфор которых не растворим в воде, но растворим в слабых кислотах* (2 %-ной лимонной кислоте) или в щелочном растворе цитрата аммония – преципитат, томасшлак, термофосфаты, обесфторенный фосфат. Фосфор в них находится в доступной растениям форме;
- *не растворимые в воде и плохо растворимые в слабых кислотах*, полностью растворимые только в сильных кислотах – фосфоритная и костяная мука. Это более труднодоступные источники фосфора для растений.

Источник получения фосфорных удобрений – природные фосфорсодержащие агоруды (фосфориты и апатиты), а также богатые фосфором отходы металлургической промышленности (томасшлак, мартеновские шлаки). Основное значение имеют апатиты и фосфориты.

Фосфорные удобрения производят путем кислотной и термической переработки фосфатов, они содержат фосфор в виде солей ортофосфорной кислоты. Кроме того, некоторые сложные фосфорсодержащие удобрения получают на основе полифосфорных (суперфосфорных) кислот.

Таблица 73

Характеристика основных фосфорных удобрений

Удобрения	Химическая формула	Содержание P_2O_5 , %
Водорастворимые фосфорные удобрения		
Суперфосфат простой	$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 2CaSO_4 + H_3PO_4$ (до 5%)	16-23,5 (до 40% $CaSO_4$)
Суперфосфат обогащённый	$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 2CaSO_4$	23,5-24,5 % P_2O_5
Суперфосфат двойной	$Ca(H_2PO_4)_2 \times H_2O + H_3PO_4$ (до 2,5%)	43-50
Суперфос	$Ca(H_2PO_4)_2 + CaHPO_4 \times 2H_2O$	38-40
Цитраторастворимые фосфорные удобрения		
Преципитат	$CaHPO_4 \times 2H_2O$	25-35
Обесфторенный фосфат	$3CaOP_2O_5 + 4CaP_2O_5 \times SiO_2$	28-32
Труднорастворимые фосфорные удобрения		
Фосфоритная мука	$Ca_3(PO_4)_2$ + примеси $CaCO_3$, CaF_2 , $MgCO_3$ и др.	высший сорт 30 I сорт 25 III сорт 22 III сорт 19

В настоящее время Россия располагает единственным действующим источником фосфатного сырья для производства первоклассных фосфорных удобрений – Хибинским месторождением апатитоневелиновых руд. Это – уникальное, одно из крупнейших и богатейших месторождений в мире. Его суммарные разведанные запасы составляют около 3,8 млрд. т руды, из которых 1,5 млрд. т являются государственным резервом. Промышленные запасы месторождения оцениваются в 1600 млн. т руды с содержанием P_2O_5 14%. Основной продукцией ОАО «Апатит», осуществляющего добычу и переработку руд Хибинского месторождения, является апатитовый концентрат с содержанием P_2O_5 39,4%. Он широко известен в мире под названием «Кольский апатит». Годовой выпуск апатитового концентрата сейчас составляет менее 6 млн. т (по сравнению с 20 млн. т в 1988 г.).

В ассортименте поставляемых сейчас на внутренний рынок фосфорсодержащих удобрений преобладают комплексные формы – аммофосы и нитрофоски.

Водорастворимые фосфорные удобрения

Суперфосфат простой – $[Ca(H_2PO_4)_2 + H_2O + 2CaSO_4 + H_3PO_4 \text{ (до 5\%)}]$ (ГОСТ 16306-80Е). Содержание P_2O_5 может быть от 16 до 23,5%, в том числе 75-90% водорастворимого, а усвояемого от 88 до 98%. В суперфосфате находится небольшое количество дикальцийфосфата ($CaHPO_4 \times 2H_2O$), а также трикальцийфосфата, фосфатов железа и алюминия. Суперфосфат оценивают по содержанию в нём усвояемого фосфора, то есть растворимого в воде и цитратном растворе (аммиачный раствор цитрата аммония). В составе удобрения имеется гипс, который занимает около 50% его массы. Простой суперфосфат с содержанием усвояемого фосфора 23,5% носит название «обогащенный с меньшим содержанием гипса». Содержание воды не более 5%, свободной ортофосфорной кислоты H_3PO_4 – не более 5%. В России для получения этого удобрения применяют Кольский апатитовый концентрат.

Простой и обогащенный суперфосфат представляет собой светло-серый порошок, кислый, с запахом серной и фосфорной кислот, способный комковаться. Для улучшения физических свойств и усвояемости фосфора растениями его подвергают грануляции, размер гранул 3-4 мм.

Гранулированный суперфосфат обладает благоприятными физическими свойствами: не слеживается, сохраняет хорошую рассеиваемость. При гранулировании свободная фосфорная кислота нейтрализуется и суперфосфат высушивается, поэтому количество воды и свободной фосфорной кислоты снижается, соответственно, до 1-4 и 1-1,5%.

При нейтрализации свободной кислотности суперфосфата аммиаком получают *аммонизированный суперфосфат* с

содержанием азота около 1,5-3,0%. Для снижения свободной кислотности используется также поверхностная нейтрализация гранул путем опудривания мелом.

Двойной суперфосфат – $[Ca(H_2PO_4)_2 \times H_2O + H_3PO_4]$ (ГОСТ 16306-80). Получают в две стадии. Сначала из апатитового концентрата или фосфорита получают ортофосфорную кислоту методом экстракции (обработка сырья концентрированной серной кислотой):



или методом возгонки из низкопроцентных фосфоритов при температуре 1400-1500 °С в электропечах:



Полученной ортофосфорной кислотой обрабатывают новую партию фосфатного сырья:



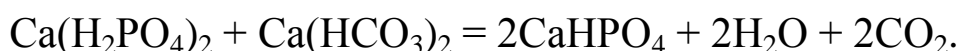
Двойной суперфосфат не содержит гипса $[Ca(H_2PO_4)_2 \times H_2O]$, выпускается в гранулированном виде, содержит 43-50% P_2O_5 . Согласно ГОСТ 16306-80Е, суперфосфат двойной гранулированный марки А содержит P_2O_5 49±1%, марки Б – 43-46±1%. Суперфосфат, содержащий более 45% фосфора, называют концентрированным или тройным. Фосфор находится в нем в виде водорастворимого монокальцийфосфата – $Ca(H_2PO_4)_2 \times H_2O$ и небольшого количества свободной фосфорной кислоты (2,5-5%). Двойной суперфосфат выпускают в гранулированном виде. Массовая доля гранул от 1 до 4 мм должна быть не менее 90%, воды – не более 4%. Химические и физические свойства, применение и эффективность его такие же, как и простого суперфосфата. Однако при удобрении

культур, положительно реагирующих на гипс (клевер и другие бобовые), более сильное положительное действие оказывает простой суперфосфат.

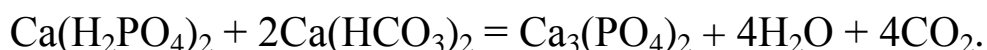
Гранулированный суперфосфат из апатитового концентрата может выпускаться также с добавками микроэлементов бора, марганца, молибдена, меди и кобальта.

К группе водорастворимых фосфорных удобрений относится *суперфос* (суперфосфатно-фосфорное удобрение), содержит не менее 38% фосфора, в том числе 50-65% водорастворимого. Это прочные, серые, малогигроскопичные, хорошо сыпучие гранулы размером 2-3 мм. Пригоден для приготовления различных тукосмесей. На кислых и известкованных почвах его эффективность равноценна суперфосфату. Основное внесение эффективно под ячмень, овес, гречиху, озимую рожь, плодовые и ягодные культуры, даёт хороший эффект и как припосевное и припосадочное удобрение. Выпускают в небольших количествах.

Взаимодействие с почвой. На нейтральных почвах при взаимодействии водорастворимых фосфорных удобрений с бикарбонатом кальция образуется дифосфат кальция (преципитат), нерастворимая в воде соль, но растворимая в слабых растворах кислот:

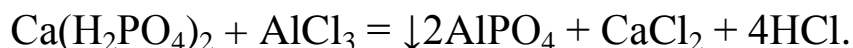
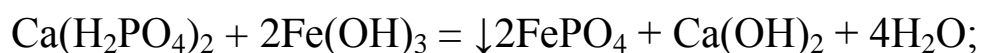
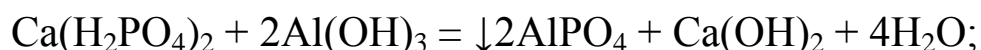


В щелочной среде и в присутствии большого количества бикарбоната кальция образуется трикальцийфосфат (фосфорит), соль нерастворимая в воде и слабо растворимая в слабых растворах кислот:



В кислых дерново-подзолистых почвах и красноземах, содержащих большое количество подвижных форм полудо-

раоксидов, образуются фосфаты алюминия и железа, фосфор из которых слабо доступен для растений. Чем больше в почве содержится подвижных форм полутораоксидов, тем сильнее происходит химическое поглощение фосфора суперфосфата. В результате уменьшается использование фосфора растениями и снижается его эффективность.



Химическое поглощение фосфорной кислоты суперфосфата называется *ретроградацией* фосфора, а фосфор в виде AlPO_4 и FePO_4 – свежесаживаемым.

Кроме химического связывания, часть фосфорной кислоты *адсорбируется* положительно заряженными коллоидными частицами в обмен на другие анионы, в основном на HCO_3^- . Адсорбированный фосфор почти полностью доступен растениям.

Фосфор суперфосфата почти полностью закрепляется в месте его внесения и очень слабо передвигается в почве. При внесении суперфосфата до посева в качестве основного удобрения его следует заделывать под плуг, чтобы удобрение находилось в более глубоком и постоянно влажном слое почвы, где размещается основная масса деятельных корней растений. Особое значение глубокая заделка суперфосфата имеет в засушливых условиях.

При мелкой заделке суперфосфата основная масса удобрения оказывается в верхнем слое почвы, который быстро высыхает. Корни в этом слое отмирают, поэтому фосфор удобрения хуже используется растениями. Поверхностное внесение его в подкормку без заделки (под зерновые и другие культуры сплошного посева) малоэффективно.

Связывание фосфора суперфосфата в кислых почвах происходит сильнее при более полном контакте удобрения с почвой (разбросное внесение, мелкие размеры частиц), фосфор гранулированного суперфосфата меньше закрепляется почвой, чем порошковидного. Поэтому и эффективность гранулированного суперфосфата на кислых почвах при одинаковых способах внесения (как при разбросном внесении до посева, так и при местном – в рядки или лунки при посеве) значительно выше порошковидного.

На нейтральных и карбонатных почвах фосфор удобрения лучше усваивается при более равномерном распределении в почве, и гранулирование суперфосфата существенно не влияет на эффективность удобрения.

При рядковом внесении небольшие дозы суперфосфата дают такие же прибавки урожая, как и значительно большие дозы при разбросном допосевном внесении. Это обусловлено снижением химического связывания фосфора вследствие уменьшения площади соприкосновения удобрения с кислой почвой, а также тем, что удобрение размещается вблизи прорастающих семян и обеспечивает питание растений легкодоступным фосфором с самого раннего периода роста.

В рядки при посеве зерновых, зернобобовых культур, льна и сахарной свеклы вносят 10-15 кг P_2O_5 на 1 га в виде суперфосфата; в лунки при посадке картофеля и овощных культур – 15-30, при посеве кукурузы – 4-8 кг/га P_2O_5 .

Коэффициент использования фосфора из суперфосфата в год его внесения при допосевном применении вразброс под вспашку составляет 10-15%, а при рядковом внесении возрастает в 1,5-2 раза. За 2-3 года коэффициент использования фосфора суперфосфата достигает 40%.

Для получения высокого урожая сахарной свеклы, кукурузы, льна, картофеля, зерновых, овощных и других куль-

тур целесообразно сочетать внесение суперфосфата в основном удобрении до посева с внесением небольшой дозы его в рядки или лунки при посеве. При этом создаются хорошие условия питания растений фосфором как в первый период роста за счёт рядкового удобрения, так и в последующие периоды за счёт основного удобрения, внесенного под плуг. Однако на почвах с высоким содержанием подвижного фосфора или при внесении больших доз фосфорных удобрений до посева применение суперфосфата в рядки при посеве может не дать эффекта.

Наличие свободной кислоты необходимо учитывать при приготовлении сухих смесей, так как резко возрастает влажность смеси туков. Для внесения NPK-тукосмесей в течение 7-10 суток после приготовления пригоден поверхностно-аммонизированный суперфосфат, влажность и свободная кислотность которого не превышает 4%.

Тройные тукосмеси хорошего качества, пригодные к хранению до 6 месяцев, могут быть получены при использовании поверхностно-аммонизированного суперфосфата при наличии свободной кислоты до 1,5 %.

Цитратнорастворимые формы

Преципитат $[(CaHPO_4 \times 2H_2O)]$ (ТУ 6-17-765-76) – двухзамещенный фосфат кальция (дикальцийфосфат). Содержит 38% фосфора (P_2O_5), воды – не более 8%, фтора – 0,1-0,2%, светло-серый или белый порошок, не слеживается. В гранулированном виде преципитат не выпускается. Получают преципитат путем кислотной переработки фосфатов при осаждении фосфорной кислоты известковым молоком или мелом, а также как продукт отхода при желатиновом производстве. Используют для минеральной подкормки скота и как удобрение.

Фосфор преципитата не растворим в воде, но растворяется в цитрате аммония и хорошо усваивается растениями. Удобрение обладает ценными физическими свойствами: не слеживается, сохраняет хорошую рассеиваемость, может смешиваться с любым удобрением. Вносят преципитат как основное удобрение на кислых и слабокислых почвах. В сравнении с простым и двойным суперфосфатом эффективность его на нейтральных почвах несколько ниже, а на кислых почвах более высокая. Его фосфор меньше, чем фосфор суперфосфата, закрепляется в почве, поэтому преципитат более эффективен на кислых почвах с высоким содержанием полутораоксидов железа и алюминия и карбонатных черноземах.

Обесфторенный фосфат [$3CaOP_2O_5 + 4CaP_2O_5 \times SiO_2$] получают из апатитового концентрата путем обработки водяным паром при высокой температуре – 1450-1550°C. В таких условиях апатит [$Ca_5F(PO_4)_3$] разрушается с выделением фтора, а фосфор переходит в усвояемые для растений формы. Обесфторенный фосфат из апатита содержит 30-32% P_2O_5 , растворимого в лимонной кислоте, из фосфорита – 20-22%. Это кристаллический порошок серого или салатного цвета, в гранулированном виде не выпускается, имеет хорошие физические свойства. Рекомендуется применять в качестве основного удобрения под все культуры на слабокислых и кислых почвах. На дерново-подзолистых и черноземных почвах он по эффективности не уступает суперфосфату. Обесфторенный фосфат нельзя смешивать с аммонийными удобрениями.

Аналогичным способом получают плавленный магниевый фосфат [$4(CaMg)OSiO_2 + 5(CaMg)OP_2O_5SiO_2$]. Содержит 20-35% P_2O_5 и 18-14% MgO . Состоит из стекловидных, прозрачных гранул различной величины. В зависимости от ис-

ходного сырья цвет гранул может иметь ярко-зелёный, чёрный и другие цвета. Удобрение с хорошими физическими свойствами.

Тонкоразмолотый плавленый магниевый фосфат используют в качестве основного удобрения под все культуры на кислых почвах, а также на овощных культурах в теплично-парниковых условиях.

Шлак фосфорный (мартеновский) $4CaOP_2O_5 + 5CaOP_2O_5SiO_2$ содержит 14,0-20,0% P_2O_5 в лимоннорастворимой форме. Порошок темно-серого цвета, получают в качестве отхода при выплавке богатых фосфором чугунов в мартеновских печах. Является фосфорно-известковым удобрением, содержит 10-12 % свободной окиси кальция (CaO), поэтому его нельзя смешивать с аммиачными солями. Это щелочное фосфорное удобрение. Он особенно эффективен на кислых известкованных дерново-подзолистых почвах. Применяют его в виде основного допосевного удобрения под вспашку или культивацию.

Труднорастворимые фосфорные удобрения

К труднорастворимым удобрениям относится *фосфоритная мука* [$Ca_3(PO_4)_2$ + примеси $CaCO_3$, CaF_2 , $MgCO_3$ и др.] (ГОСТ 5716-74). Получают путем размолла природных фосфоритов, поэтому содержание P_2O_5 , в зависимости от месторождения, может меняться от 14 до 29%. Выпускают четыре сорта фосфоритной муки, общее содержание фосфора в расчете на P_2O_5 в которых следующее: высший сорт – не менее 30%, I сорт – 25, II сорт – 22, III сорт – 19%. Фосфоритная мука негигроскопична, не слеживается, может смешиваться с любым удобрением, кроме извести.

Тонкоразмолотый фосфорит – пылящий порошок землисто-серого или бурого цвета, остаток на сите 0,18 мм не должен превышать 10%. Тонина помола влияет на её эффективность. Крупные частицы медленно разрушаются под действием кислотности почв. Фосфоритная мука – самое дешевое фосфорное удобрение. Для изготовления её могут быть использованы низкопроцентные фосфориты, не пригодные для химической переработки в суперфосфат.

Условия эффективного применения фосфоритной муки

1. Эффективность фосфоритной муки зависит от состава фосфоритов, тонины помола, особенностей растений, свойств почвы и сопутствующих удобрений. Фосфориты желвакового типа, более молодые, с точки зрения геологического возраста, и не имеющие хорошо выраженного кристаллического строения, доступнее для растений. При их размоле получают муку, пригодную для непосредственного удобрения. Фосфориты более древнего происхождения, имеющие кристаллическое строение, труднодоступны и поэтому не пригодны для приготовления фосфоритной муки.

2. Эффективность фосфоритной муки увеличивается с повышением тонины помола. Чем тоньше частицы, тем больше их поверхность и соприкосновение с почвой, и лучше происходит разложение фосфоритной муки под действием почвенной кислотности до усвояемых растениями соединений. Значение тонины помола для повышения эффективности фосфоритной муки особенно велико на почвах, имеющих недостаточную кислотность для разложения этого удобрения, на оподзоленных и выщелоченных черноземах. По стандарту не менее 80% частиц должно проходить через сито с размером ячеек 0,18 мм.

3. Лишь немногие растения (люпин, горчица, гречиха и отчасти эспарцет, горох и конопля) могут усваивать фосфор фосфоритной муки при нейтральной реакции почвенного раствора, то есть без предварительного разложения её под действием почвенной кислотности. В лаборатории Д. Н. Прянишникова было установлено, что кислые выделения корней люпина сильно подкисляют почву, оказывая растворяющее действие на трехзамещенный фосфат и способствуя его переводу в усвояемую форму. Исследования Ф.В. Чирикова показали, что у растений, способных усваивать фосфорит, соотношение $\text{CaO}:\text{P}_2\text{O}_5$ в золе больше 1,3, а у растений, не способных его усваивать, меньше 1,3. Значительно большее потребление растениями кальция по сравнению с фосфором приводит к обеднению питательной среды кальцием, в результате чего облегчается переход $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ в усвояемую форму.

Большинство растений – все злаки, лён, свёкла, картофель – могут использовать фосфорит только при определенной кислотности почвы, достаточной для его разложения. Поэтому на почвах с нейтральной реакцией (обыкновенные, типичные и южные черноземы) применение фосфоритной муки малоэффективно. На кислых дерново-подзолистых и серых лесных почвах, красноземах и выщелоченных черноземах она может не уступать суперфосфату.

4. Основным фактором, определяющим эффективность фосфоритной муки, является кислотность почвы. В разложении фосфоритной муки участвует не только активная, но и потенциальная кислотность. Под влиянием почвенной кислотности фосфоритная мука превращается в усвояемую форму для растений (CaHPO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) Это экспериментально доказано Б.А. Голубевым, и считается, что при гидролитической кислотности менее 2-2,5 ммоль в 100 г почвы фосфоритная мука не разлагается (рис. 7).

При одной и той же гидролитической кислотности действие фосфоритной муки тем выше, чем меньше ёмкость обменного поглощения катионов почвы и ниже степень насыщенности её основаниями. Фосфоритная мука часто действует более слабо на песчаных почвах, чем на глинистых, так как потенциальная кислотность песчаных почв меньше, чем

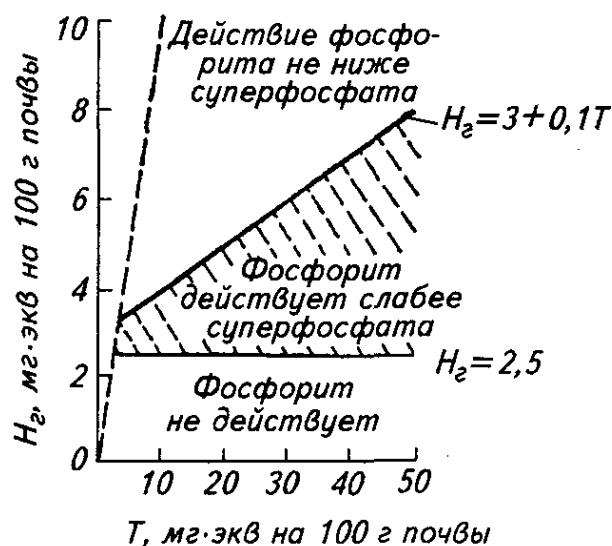


Рис. 7. Зависимость действия фосфоритной муки от гидролитической кислотности (H_r) и ёмкости катионного обмена (T) (график Голубева)

глинистых при одинаковом значении рН почвы.

Автором было предложено уравнение: $H_r > 3 + 0,1 \times \text{ЕКО}$, определяющее эффективность фосфоритной муки. Чем больше гидролитическая кислотность, тем выше эффективность фосфоритной муки. Однако действие её зависит не только от величины кислотности почвы, но и от ёмкости поглощения и степени насыщенности основаниями.

5. Растворимость фосфоритной муки повышается при совместном внесении её в виде компостов с навозом и торфом, физиологически кислыми удобрениями. Фосфоритная мука должна широко использоваться при подготовке и хранении навоза, при приготовлении всевозможных компостов. Добавляя к навозу 1-3 % фосфоритной муки (20-30 кг/т навоза), мы способствуем связыванию аммиака и предотвращению его потерь в атмосферу.

Под влиянием угольной и органических кислот при минерализации органической массы фосфор из фосфоритной муки переходит в дикальцийфосфат (преципитат) CaHPO_4 , из которого фосфор более доступен растениям, чем из фосфоритной муки $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$:



Фосфоритную муку к навозу можно добавлять в любое время года и даже в стойлах животных перед уборкой навоза.

Дозу фосфоритной муки устанавливают также в зависимости от обменной кислотности почвы. На сильно- и среднекислых почвах (рН 5 и менее) можно вносить ту же дозу фосфоритной муки, что и суперфосфата, а на слабокислых – двойную и даже тройную. На известкованных почвах эффективность её снижается. На кислых дерново-подзолистых и серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах, по обобщенным данным ВИУА, в удвоенной дозе она не уступала суперфосфату (табл. 74).

Фосфоритную муку применяют как основное удобрение, вносить её лучше заблаговременно, с осени, обязательно с глубокой заделкой под плуг. Наиболее эффективно внесение её вместе с навозом в пару под озимые культуры, а также под пропашные – сахарную свёклу, картофель, кукурузу и др. Положительное действие фосфоритной муки продолжается несколько лет. Чем больше доза этого удобрения, тем эффективнее и продолжительнее его действие.

Таблица 74

Влияние суперфосфата и фосфоритной муки на урожайность озимой ржи в зависимости от почв (среднее по опытам) (Кротких Т.А., 2012)

Почвы	Прибавки урожайности зерна			
	от суперфосфата		от фосфоритной муки	
	ц/га	%	ц/га	%
Подзолистые	3,5	38	3,1	33
Серые лесные	2,6	23	2,1	19
Черноземы деградированные	3,7	28	3,3	24
Черноземы выщелоченные	4,1	25	2,6	16
Черноземы обыкновенные	3,6	24	1,3	8

Исследованиями установлено, что оптимальное содержание подвижных форм фосфора в дерново-подзолистых и серых лесных почвах при выращивании культур в полевых зернотравяных севооборотах составляет около 200 мг P_2O_5 /кг почвы, в зернопропашных – 250, в овощных – 300 мг/кг. На выщелоченных черноземах под полевыми, зернопаровыми и зернопропашными севооборотами фосфатный уровень целесообразно доводить до 150-200 мг/кг почвы, а в кормовых и овощных севооборотах – до 200-300 мг/кг.

Для увеличения содержания подвижного фосфора в кислых почвах применяют *фосфоритование* – внесение высоких доз фосфоритной муки (1-3 т/га). При этом одновременно происходит некоторое снижение кислотности почвы. Для повышения содержания P_2O_5 на 10 мг/кг почвы в пахотном горизонте (в интервале 50-300 мг/кг) необходимо вносить в виде фосфоритной муки следующее количество P_2O_5 (кг/га): на дерново-подзолистых почвах в зависимости от гранулометрического состава – 60-120, на серых лесных – 70-140, на оподзоленных и выщелоченных черноземах – 90-120. В целом фосфоритование кислых почв – один из основных технологических элементов работ по комплексному агрохимическому окультуриванию полей (КАХОП). Лучшим полем для фосфоритования является черный или занятый пар, где интенсивно идет процесс нитрификации.

Дозы фосфоритной муки для проведения фосфоритования в Пермском крае приведены в таблице 75.

Таблица 75

Дозы фосфоритной муки с содержанием 19% P_2O_5 (т/га)
для проведения фосфоритования почв Пермского края

Планируемый фосфатный уровень в почве	Обеспеченность подвижным фосфором, мг / кг почвы	рН _{KCl}	Типы почв				
			дерново- подзолистые		серые лесные		перегнойно- торфяные
			тяжелые и средние суглинки	легкие суглинки и супеси	тяжелые и средние суглинки	легкие суглинки и супеси	
80-100 мг/ кг почвы	очень низкая (до 25)	до 4,0	2,8	2,2	1,8	1,6	1,4
		4,1- 4,5	2,4	2,0	1,6	1,4	1,2
		4,6- 5,0	1,8	1,6	1,6	1,4	1,0
		5,1- 5,5	1,6	1,4	1,2	1,2	1,0
	низкая (25-50)	до 4,0	2,2	2,0	1,6	1,4	1,4
		4,1- 4,5	1,8	1,6	1,6	1,4	1,2
		4,6- 5,0	1,6	1,4	1,4	1,2	1,0
		5,1- 5,5	1,6	1,4	1,2	1,2	1,0
100-150 мг / кг поч- вы	средняя (> 50)	до 4,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1
		4,1- 4,5	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1
		4,6- 5,0	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0
		5,1- 5,5	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0

Пути повышения эффективности фосфорных удобрений

Коэффициенты использования фосфора из удобрений.
Коэффициент использования фосфора из минеральных удобрений составляет в среднем 15-20%. В зависимости от культур изменяются от 10 до 40% (табл. 76).

Таблица 76

Средние коэффициенты использования растениями фосфора из минеральных удобрений в год внесения в почву в Нечерноземной зоне (Дерюгин И.П., 1998; Агрохимия, 2002)

Культура	Коэффициенты использования, %	Культура	Коэффициенты использования, %
Яровые зерновые	20-25	Огурец	8
Озимые зерновые	20-25	Томат	8
Лён	10-15	Свёкла	25-30
Картофель	15-20	Лук	5
Кормовые культуры	20-25	Капуста белокочанная	15-18
Многолетние травы (клевер)	15-20	Яблоня и груша	6

На эффективность фосфорных удобрений оказывают влияние следующие факторы:

- географические закономерности их действия;
- почвенные условия (рН, обеспеченность почв подвижным фосфором, условия увлажнения);
- усваивающая способность корневой системы культур;
- научно обоснованная технология применения фосфорных удобрений (дозы, сроки, способы, формы).

В Предуралье применение фосфорных удобрений под все сельскохозяйственные культуры на дерново-подзолистых почвах даёт хорошие результаты. В исследованиях В.Н. Прокошева и К.А. Гусевой (1970) урожаи зерна ржи без применения фосфорных удобрений в среднем за 3 года изменялись от 12 до 22 ц/га. При внесении суперфосфата прибавка составила 3,3 ц/га или 5,5 кг зерна на 1 кг д.в. удобрения.

Высокая эффективность фосфорных удобрений подтверждается обобщенными данными ЦИНАО и в работе С.С. Сигаркина (1963). На дерново-подзолистых почвах Среднерусской провинции с низким содержанием подвижного фосфора при внесении 30-120 кг/га P_2O_5 по фону азота и калия урожайность зерновых увеличилась на 2,1-5,0 ц/га, по Центральному району Нечернозёмной зоны – на 2,7-5,5 ц/га, по

Волго-Вятскому – на 2,0-3,8 и Уральскому – на 2,4-4,8 ц/га (Державин Л.М., 1992).

По мнению Н.А. Колосова (1965), Т.Н. Кулаковской (1990), высокое положительное действие фосфорных удобрений в Нечерноземье проявляется за счёт того, что они снижают, а иногда и полностью устраняют отрицательное действие подвижного алюминия. Фосфор выступает в качестве защитного средства. Внесение фосфорных удобрений обеспечивает меньшую изменчивость урожая от погодных условий. В экстремальных условиях наиболее резко проявляется количественная взаимосвязь между урожаем озимой ржи и фосфорными удобрениями (Небытов В.Г., 2005).

Как уже указывалось, фосфорные удобрения можно условно разделить на три группы – водорастворимые (однозамещённые); полурстворимые (двухзамещённые, растворимые в слабых кислотах); нерастворимые (трёхзамещённые, растворимые в сильных кислотах. Для повышения эффективности фосфорных удобрений необходимо учитывать их растворимость, сочетание с другими удобрениями, реакцию почвенного раствора, глубину заделки, дозу внесения, усвояющую способность культур, обеспеченность почвы фосфором.

Первостепенное значение для всех фосфорных удобрений имеет глубина заделки в почву. Анионы фосфорной кислоты передвигаются в почве очень слабо и в сухой почве «погибают» очень быстро, поэтому их необходимо вносить в нижний увлажнённый слой почвы. Корни в этом слое отмирают, поэтому фосфор удобрений хуже используется растениями. Поэтому поверхностное внесение фосфорных удобрений в подкормку без заделки (под зерновые и другие культуры сплошного посева) малоэффективно.

Эффективность всех фосфорных удобрений повышается при совместном внесении с навозом.

Для водорастворимых форм фосфорных удобрений реакция почвенной среды должна быть близкой к нейтральной. В результате образуются дифосфат кальция, который доступен растениям долгое время.

Двух- и трёхзамещённые фосфорные удобрения более эффективны на кислых почвах, при этом происходит переход их в более доступные формы.

Водорастворимые формы фосфорных удобрений для уменьшения химического связывания следует вносить локально и использовать гранулированные формы. Лучшим сроком внесения является весна.

Полурастворимые и нерастворимые удобрения надо вносить заблаговременно и добиваться более полного смешивания с почвой. Их эффективность повышается при совместном внесении с физиологически кислыми удобрениями и торфом.

Люпин, гречиха, горчица, горох, кормовые бобы, конопля, эспарцет, груша, яблоня, крыжовник хорошо усваивают фосфор полурастворимых и нерастворимых фосфорных удобрений, рожь, клевер, малина – частично.

Эффективность фосфорных удобрений зависит от содержания подвижного фосфора в почве. В опытах В.Н. Прокошева, К.А. Гусевой (1970) на дерново-подзолистой почве внесение 60 кг/га P_2O_5 на почве с содержанием подвижного фосфора до 25 мг/кг почвы обеспечило прибавку урожайности зерна ржи 5,2 ц/га; от 26 до 50 мг/кг – 2,9 ц/га; от 51 до 100 мг/кг – 1,6 ц/га, и по данным А.И. Безносова (1973), при содержании подвижного фосфора свыше 150-200 мг/кг почвы потребность озимой ржи в фосфорных удобрениях отсутствует.

Слабая подвижность фосфатов в почве позволяет вносить фосфорные удобрения за один приём. На почвах с недостаточным содержанием (низким и средним) подвижных фосфатов необходимо выделять часть общей дозы фосфора удобрений для припосевного (припосадочного) внесения.

В рядки при посеве зерновых, зернобобовых культур, льна и сахарной свеклы вносят 10-15 кг P_2O_5 на 1 га в виде суперфосфата; в лунки при посадке картофеля и овощных культур – 15-30, при посеве кукурузы – 4-8 кг/га P_2O_5 .

На почвах с высоким содержанием подвижного фосфора (V и VI классы обеспеченности) перенесение части общей дозы фосфора из основного в припосевное внесение малоэффективно.

Фосфор должен находиться в почве в оптимальном соотношении с другими элементами питания и в первую очередь с азотом. Необходимо строгое соблюдение доз, форм, способов и сроков их внесения. Дозы фосфорных удобрений под основные культуры: зернобобовые – 30-60 кг/га, однолетние травы – 30-40 кг, озимые зерновые – 60-90 кг, яровые зерновые – 40-60 кг, картофель, корнеплоды, овощные – 40-200 кг, плодово-ягодные – 60-120 кг/га.

По мнению Л.М. Державина (1992), в Нечернозёмной зоне долевое участие фосфорных удобрений в формировании прибавки составляет 22-41%. По данным В.А. Бугреева (1974), яровые зерновые наиболее отзывчивы на внесение азота, затем фосфора и, наконец, калия. Прибавки зерна от N_{60} на фоне $P_{60}K_{60}$ были в пределах 6,7-10,8 ц/га; от P_{60} по фону $N_{60}K_{60}$ – 1,8-2,6 ц/га.

Вопросы для повторения:

1. Какова роль фосфора в растениях? 2. Содержание и вынос фосфора сельскохозяйственными культурами. 3. Динамика потребления фосфора различными сельскохозяйственными культурами. 4. Формы фосфора в почвах и их доступность растениям. 5. Суперфосфат, его состав, свойства и превращение в почве. 6. Способы внесения суперфосфата. 7. Каким способом применяют фосфорные удобрения второй группы (преципитат, обесфторенный фосфат)? 8. Состав, свойства и особенности применения фосфоритной муки. 9. Как повысить эффективность фосфоритной муки? 10. Что необходимо учитывать при выборе формы фосфорных удобрений и определении способа их внесения? 11. Каковы коэффициенты использования растениями фосфора из удобрений в год их внесения и за ротации севооборота? 12. Баланс фосфора в земледелии России. 13. Основные пути повышения эффективности фосфорных удобрений.

Лекция 3. Калийные удобрения

- Содержание и роль калия в растениях.
- Калий в почвах.
- Калийные удобрения.
- Эффективность калийных удобрений.

Содержание и роль калия в растениях

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

Калий положительно влияет на интенсивность фотосинтеза, окислительных процессов и образование органических кислот в растении. Он участвует в углеводном и азотном обмене. Если калия не хватает, то синтез белка в растении тормозится, в результате происходит нарушение всего азотного обмена. Он необходим для включения фосфора в органические соединения. Недостаток калия особенно сильно проявляется при питании растений аммонийным азотом. При недостатке калия задерживается превращение простых углеводов (моносахаридов) в более сложные (ди- и полисахариды).

Калий усиливает отток сахаров из листьев в другие органы, повышает активность ферментов, участвующих в углеводном обмене, в частности, сахарозы и амилазы. Этим объ-

ясняется положительное влияние калийных удобрений на накопление крахмала в клубнях картофеля, сахара в корнеплодах, овощах и плодах (табл. 77, 78).

Таблица 77

Влияние калия на содержание редуцирующих сахаров, сахарозы и крахмала в листьях и черешках томата, % (Агрохимия, 2002)

Показатель	Листья		Черешки	
	с калием	без калия	с калием	без калия
Редуцирующие сахара	2,34	2,01	1,56	1,00
Сахароза	1,20	0,35	0,00	0,00
Крахмал и декстрины	2,48	1,00	4,22	0,96

Таблица 78

Влияние калийных удобрений на качество ягод черной смородины (по данным Международного института калия)

Вариант опыта	Количество ягод на 1 растение, %	Сахара, %	Витамин С, мг%	Антоцианы, мг%
N ₈₀ P ₆₀ -фон	100	8,1	80	160
Фон+K ₁₀₀₋₁₅₀	126	9,5	95	200

Повышение уровня калийного питания растений заметно увеличивает количество CO₂, поглощаемого на единицу ассимиляционной поверхности листьев. Под влиянием калия растения становятся морозоустойчивее, что связано с повышением содержания сахаров и увеличением осмотического давления в клетках. При достаточном калийном питании повышается устойчивость растений к различным заболеваниям, например, у хлебных злаков – к мучнистой росе и ржавчине, у овощных культур, картофеля и корнеплодов – к возбудителям гнилей. Калий способствует развитию проводящей сосудистой системы растений, утолщению стенок клеток, более мощному развитию лубяных пучков. Все это, в конечном итоге, способствует прочности стеблей и устойчивости их к полеганию. Особенно это заметно на озимой ржи, конопле, льне и яровой пшенице. Калий положительно влияет на выход и качество волокна льна и конопли.

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

Потребность сельскохозяйственных культур в калии обусловлена в основном их биологическими особенностями (табл. 79) и урожайностью.

Таблица 79

Среднее содержание калия в урожае некоторых сельскохозяйственных культур (Справочник агрохимика, 1976; Дудина Н.Х. и др., 1991)

Культура	Продукция	K ₂ O	Культура	Продукция	K ₂ O
% на абсолютно сухое вещество					
Озимые зерновые	Зерно	0,65	Горох	Зерно	1,46
	Солома	1,10		Солома	0,60
Яровые зерновые	Зерно	0,67	Кормовая свёкла	Корнеплоды	3,50
	Солома	1,30		Ботва	2,63
Картофель	Клубни	2,40	Клевер луговой	Сено	1,80
Люцерна	Сено	1,80	Вика	Сено	1,20
% на сырую массу					
Капуста белокочанная	Кочаны	0,18	Яблоня	Плоды	0,25
Морковь	Корнеплоды	0,20	Груша	Плоды	0,15
Томат	Плоды	0,29	Вишня	Плоды	0,26
Лук	Луковица	0,17	Земляника	Ягоды	0,16

Общий вынос калия сельскохозяйственными культурами намного превышает вынос фосфора и сопоставим с выносом азота (см. табл. 14).

Несмотря на то, что химический состав растений генетически обусловлен, содержание калия в вегетативных органах сельскохозяйственных культур может изменяться в зависимости от условий произрастания в 2-4 раза, в репродуктивных – в 1,2-1,5 раза. Широкое варьирование содержания калия связано с уровнем калийного питания растений, агротехническими и климатическими условиями.

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

Калия обычно больше в побочной продукции, чем в хозяйственной части: семенах, корнеплодах и клубнях. При недостатке калия развитие репродуктивных органов угнетается: задерживается развитие бутонов и зачаточных соцветий, зерно получается щуплым, с пониженной всхожестью, ухудшается качество и лёжка овощной продукции.

Динамика потребления калия растениями тесно коррелирует с накоплением сухой массы. Но в начале вегетации потребление его растениями идёт более быстрыми темпами, чем прирост сухой массы. Накопленный калий в начале вегетации используется растениями в последующие периоды роста и, тем самым, устраняет возможный дефицит его в дальнейшем.

В количественном отношении наиболее высокое потребление калия растениями наблюдается в период их интенсивного вегетативного роста: у зерновых культур в период от кущения до конца трубкования, у льна от фазы ёлочка до цветения. У свёклы (сахарной, столовой, кормовой), картофеля, капусты, моркови и других овощных культур, уборка которых не связана с физиологической спелостью, поглощение калия продолжается вплоть до уборки без явно выраженного максимума.

Размеры отчуждения калия из почвы зависят от культуры. С кочанами капусты отчуждается с поля 60-70% потреблённого калия, плодами томата – 65-75, корнеплодами моркови – 70-80, клубнями картофеля – 70-90, зерновыми культурами – 15-25%.

Явные внешние признаки *калийного голодания* наблюдаются у растений при снижении содержания в них калия в 3-5 раз по сравнению с нормальным. Они проявляются, прежде всего, на старых листьях. Это выражается в побурении краев листовых пластинок – так называемый «краевой запал». Края и кончики листьев приобретают обожженный вид, на пластинках появляются мелкие ржавые крапинки. При недостатке калия клетки растут неравномерно, что вызывает гофрированность, куполообразное закручивание листьев. У картофеля на листьях образуется также характерный бронзовый налет. У овощных культур стебли тонкие, постепенно становятся жёсткими и деревянистыми, корни слабо развиты. При недостатке калия листья яблони, вишни, сливы, красной смородины, крыжовника приобретают голубовато-зеленый цвет, груши – тёмно-коричневый, чёрной смородины – красно-пурпурный оттенок. У малины листья слегка закручены внутрь, отчего общий цвет листовой пластинки кажется серым (нижняя часть листьев малины более серая, чем верхняя). Иногда появляются листья с рваными краями, как бы повреждённые грызущими насекомыми. У земляники по краям листьев появляется красная кайма, которая потом буреет.

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.

Калий в почвах

Содержание калия (K_2O) в почвах колеблется от 0,5 до 3% в зависимости от их гранулометрического состава (табл. 80).

Таблица 80

**Относительное и валовое содержание калия
в пахотном слое разных почв (Минеев В.Г., 2006)**

Почва	K_2O		Почва	K_2O	
	%	т/га		%	т/га
Дерново-подзолистая песчаная	0,5-0,7	15-21	Чернозем	2-2,5	60-75
Дерново-подзолистая суглинистая	1,5-2,5	45-75	Серозем	2,5-3,0	75-90

Больше калия в мелкодисперсных фракциях почвы, поэтому тяжелые глинистые и суглинистые почвы богаче калием, чем песчаные и супесчаные. Очень бедны калием (0,03-0,05%) торфянистые почвы. В большинстве культурных суглинистых почв калия содержится 2-2,5%, то есть значительно больше, чем азота и фосфора. Кроме того, если основной запас азота сосредоточен только в гумусовом горизонте, фосфора – в пахотном и подпахотном слоях, то калия – во всем корнеобитаемом слое почвы. Общий запас K_2O в пахотном слое почвы достигает 50-75 тыс. кг/га, но основная часть калия (98-99%) находится в форме нерастворимых и малодоступных для растений соединений.

Среднее содержание валового калия в пахотном слое почв Предуралья следующее: в дерново-подзолистой легкосуглинистой – 0,8%, тяжелосуглинистой – 2,4%, серой лесной – 2,3%, черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом – 2,2%.

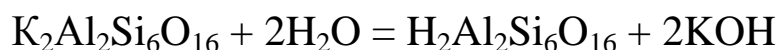
Калий в почве находится в органическом веществе (не более 0,05%) и в составе минералов: полевого шпата ($K_2Al_2SiO_{16}$), мусковита ($H_2KAl_3Si_3O_{12}$), биотита $[(H, K)_2(MgFe^{+2})_2]$, нефелина $[(Na, K)_2OAl_2O_3 \times 2SiO_2]$, лейцита ($K_2Al_2Si_4O_{12}$) и др. В процессе выветривания происходит из-

мельчение минералов, а вместе с ним снижается содержание минералов группы полевых шпатов и возрастает содержание глинистых минералов. В тяжелосуглинистых почвах общего калия содержится больше, чем в песчаных и супесчаных.

Почвы с высоким содержанием органического вещества и особенно торфяные содержат меньше валового калия, чем дерново-подзолистые малогумусные почвы.

В.Д. Панников и В.Г. Минеев (1987) по доступности растениям все соединения калия в почве подразделяют на пять групп:

1. Калий минерального скелета почв. Переход этой формы калия в доступное состояние проходит очень медленно, и в основном в результате химического, физического и биологического выветривания. Основными факторами физического выветривания являются температура, механические силы воды, ветра, ледников. Факторами биологического выветривания являются живые организмы и продукты их жизнедеятельности. Факторами химического выветривания являются атмосферная вода, углекислый газ и кислород. Основная реакция воды с минералами горных пород – гидролиз приводит к замене катиона калия на ионы водорода диссоциированных молекул воды, то есть происходит обменное разложение. Эту реакцию можно схематически представить на примере ортоклаза:



В дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Предуралья на долю этой фракции приходится 95-99 % или 70-80 т/га.

2. Калий в плазме микроорганизмов и пожнивно-корневых остатков.

Калий, входящий в состав микроорганизмов, в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве составляет 30-40 кг/га. В черноземных почвах содержание микроорганизмов в два, а иногда в три раза больше, поэтому можно предполагать, что его содержится около 100 кг/га. Калий содержится также в растительных остатках, остающихся на поле после уборки урожая (корни, солома, полова, ботва и др.), и в живых организмах (черви, насекомые и др.), обитающих в почве. Только после разложения растительных остатков и отмерших живых существ калий становится доступным для растений. Калий минералов и входящий в состав микроорганизмов ПКО непосредственно в питании растений не участвуют и не могут быть показателем обеспеченности растений данным элементом.

3. Поглощенный, обменно-поглощенный или адсорбционно-связанный калий. Этот калий находится на поверхности почвенных коллоидов и может легко вытесняться катионами почвенного раствора. Обменно-поглощенный калий – главный источник калийного питания растений.

Содержание обменно-поглощенного калия в меньшей степени зависит от типа почв и содержания в них гумуса, в большей степени зависит от гранулометрического состава и окультуренности их. В супесчаных почвах в среднем его содержится 0,5-0,8%, на суглинистых 1,3-2,5% от общего содержания калия, что составляет 30-250 мг на кг почвы. Эта фракция калия динамична во времени, может убывать в результате выноса урожаем и возрастать при внесении органических и минеральных удобрений. Длительные исследования кафедры агрохимии Пермской сельскохозяйственной академии показали, что ежегодное внесение высоких доз калия (более 120 кг/га K_2O) в течение 12-15 лет повысило содержание калия в дерново-подзолистой почве на 80-100 мг/кг. По-

ложительный баланс обменно-поглощенного калия в почве складывается только тогда, когда вносится ежегодно более 60 кг K_2O на га. Для того чтобы поднять содержание обменно-поглощенного калия в почве парового поля на 10 мг K_2O в 1 кг почвы, необходимо вносить 70-80 кг K_2O на га.

4. *Водорастворимый калий.* На долю этой фракции приходится всего лишь 1/5-1/10 часть обменно-поглощенного калия или 1,5-5 мг/кг почвы. Незначительная часть водорастворимого калия может появляться в результате перехода обменно-поглощенного калия в раствор под воздействием различных солей на почвенно-поглощающий комплекс. Водорастворимый калий полностью усваивается растениями. Ввиду незначительного его содержания в почве и не имеющего существенного значения в питании растений водорастворимый калий при оценке почв не определяют. При обработке навески почвы слабыми растворами кислот в вытяжку попадает и водорастворимый калий, поэтому определяемый обменно-поглощенный калий почвы представляет сумму собственно поглощенного калия и водорастворимого.

5. *Калий, фиксированный почвой.* Эта форма калия находится в необменном состоянии, в кристаллической решетке глинистых минералов. Фиксация калия тем сильнее, чем больше в почве глинистых минералов группы монтмориллонитов и гидрослюд. Переходить в фиксированное состояние может в равной мере как калий самой почвы, так и калий, вносимый с удобрениями. Черноземные почвы, почвы с повышенным содержанием органического вещества, унавоженные, известкованные фиксируют калий сильнее, чем кислые дерново-подзолистые. Усиливается фиксация калия при частом попеременном увлажнении и подсушивании почвы, причем, чем выше температура почвы, тем больше

фиксация. Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы способны фиксировать до 250 кг/га калия вносимых удобрений, а черноземные – до 700 кг/га. Кристаллической решеткой минералов одновременно с калием может фиксироваться и аммоний (NH_4^+). Поглощение одного из этих двух питательных элементов исключает фиксацию другого. В то же время следует признать, что фиксация калия, в равной мере и аммония, в необменное состояние является процессом не бесконечным.

Большинство исследователей считают, что в процессе поглощения растениями обменно-поглощенного калия и истощения почвы доступным калием происходит пополнение его, прежде всего за счёт фиксированного калия. В почве существует определенное равновесие между этими двумя формами калия. Пополнение доступной формы калия в почве может происходить не только за счёт перехода его из фиксированного состояния, но благодаря гидролизу самих глинистых минералов. Такой калий называют легкогидролизуемым. По данным кафедры агрохимии, в пахотном слое окультуренной дерново-подзолистой почвы легкогидролизуемого калия содержится 250-350 мг/кг или 750-1050 кг/га.

Закрепление калия удобрений в обменно-поглощенном и фиксированном состоянии способствует удержанию калия в почве. Последнее очень важно учитывать при «запасном» внесении калийных удобрений, то есть при внесении высоких доз калия один или два раза за ротацию севооборота. Опытными кафедры агрохимии (Чернова Л.А.), Пермского НИИСХ (Зиганшина Ф.М.) в 70-х годах XX в. установлено, что эффективность «запасного» внесения калийных удобрений на тяжелосуглинистых почвах выше, чем при их ежегодном внесении. Исследователями установлена положительная

связь урожайности с содержанием обменного калия практически на всех почвах. Слабая обеспеченность почв калием в отдельных случаях может быть основной причиной низкой продуктивности дерново-подзолистых почв. Это наблюдается в том случае, когда калий находится в минимуме и нарушается соотношение его с азотом и фосфором.

Агрохимическая служба обменный калий в дерново-подзолистых почвах определяет по Кирсанову. Группировка почвы по обеспеченности доступным калием приведена в таблице 81. По результатам полевых опытов Географической сети оптимальные уровни содержания доступного калия для дерново-подзолистых, серых лесных почв составляет для зернотравяных севооборотов 120-170 мг/кг, зернопропашных – 170 -250, для овощных – 250-300 мг/кг.

Таблица 81

Группировка почв по обеспеченности подвижными формами калия по Кирсанову, мг/кг (Методические указания..., 2003)

№ группы (класса)	Степень обеспеченности	K ₂ O
1	Очень низкая	<40
2	Низкая	40-80
3	Средняя	80-120
4	Повышенная	120-170
5	Высокая	170-250
6	Очень высокая	> 250

Баланс калия в почвах. Поступление калия в почву осуществляется в основном с органическими и минеральными удобрениями и незначительная часть около 2 кг/га в год с семенами. Потери в среднем за год за счёт водной и ветровой эрозии составляют 10-20 кг/га, вымывание в грунтовые воды – 10-12 кг/га, вынос сельскохозяйственными культурами – 40-300 кг/га.

Калийные удобрения

Калийные удобрения подразделяют на следующие основные группы:

- концентрированные калийные удобрения – продукты заводской переработки природных минералов (сырых солей). К ним относятся: хлористый калий (KCl), сульфат калия или сернокислый калий (K_2SO_4), калимагнезия ($K_2SO_4 \times MgSO_4 \times 6H_2O$);

- сырые калийные соли (сильвинит $KCl \times NaCl$, каинит $KCl \times MgSO_4 \times 3H_2O$);

- смешанные, получаемые из сырых солей и концентрированных удобрений. К ним относится калийная соль ($KCl + nKCl \times mNaCl$);

- отходы промышленности, содержащие калий (цементная пыль, калий углекислый, отработанный электролит и др.).

Характеристика удобрений приведена в таблице 82.

В мировом ассортименте калийных удобрений свыше 80% приходится на хлористый калий, в России – почти 90%. В 2003 году на комбинатах г. Соликамска и Березников Пермского края производилось около 10 млн. т высококачественного хлористого калия, однако хозяйства России закупали не более 15% от произведенного количества, основная масса удобрений шла на экспорт.

В современном ассортименте калийных удобрений *хлористый калий [KCl]* (ГОСТ 4568-95) выпускается в виде кристаллического рассыпчатого порошка или гранул следующих марок: марка «К» – получается кристаллизацией из растворов сильвинита и марка «Ф» – получаемая флотационным обогащением калийных руд. Выпускается 3-я форма методом гидроциклона – гранулированный хлористый калий. Марка «К» в зависимости от сорта содержит K_2O в %: высший сорт – 62,5; I сорт – 62,0; II сорт – 60,0.

Таблица 82

Характеристика основных калийных удобрений

Удобрения	Химический состав	Содержание K_2O , %	Масса, 1 м^3 , т	Примеси в 1 ц удобрения, кг			
				MgO	Na ₂ O	Cl	S
Калий хлористый	KCl	53,0-62,5 (ГОСТ 4568-83)	0,92-0,95	–	5	46	–
Калийная соль	KCl + nKCl × mNaCl	40,0 (ТУ 113-13-13-82)	1,0-1,2	–	20	50	–
Сульфат калия	K ₂ SO ₄	48,0-50,0 (ТУ 2184-020-00203344-97)	1,25-1,4	5	–	2,5	41
Калимагнезия	K ₂ SO ₄ × MgSO ₄ × 6H ₂ O	25,0-28,0 (ТУ 6-12-77-74)	1,0	9	4	66	40
Калийно-магниевый концентрат	K ₂ SO ₄ × 2MgSO ₄	18,5 (ТУ 6-13-7-76)	1,1	9	30	43	96
Хлоркалий-электролит	KCl + примеси	32,0 (ТУ 48-10-40-76)	1,0	до 6	25	156	–
Каинит	KCl × MgSO ₄ × 3H ₂ O	10,6-14,0 K ₂ O, до 22,0 MgSO ₄ (ТУ-6-13-8-83)	1,0-1,2	6-7	22-25	35	17
Сильвинит	nKCl + mNaCl	12,0-15,0-19,0	1,0-1,2	–	35-40	45-60	–
Калимаг (Березниковский)	KCl + MgCl ₂ + NaCl	41-42 K ₂ O до 12 MgO	1,0				2-4
Цементная пыль	K ₂ SO ₄ + CaCO ₃ . + Ca(OH) ₂ + CaO +. CaSiO ₄ .	K ₂ O до 40,0 ТУ 21-20-33-78		0,5			

Это мелкокристаллическая соль белого, сероватого, красноватого или других цветов. Характерной особенностью этого удобрения является однородность окраски. Продукт не гигроскопичен, не слеживается, сильно пылит. Для снижения слеживаемости в удобрения вводят различные органические добавки (амины, синтетические жирные кислоты), которые и окрашивают продукт.

Марка «Ф» II сорта содержит 60% K_2O и III сорта – 58,1%, соль крупнокристаллическая розового или красного цвета, содержащая не менее 80% частиц 2-4 мм. Практически не слеживается, отличается хорошей сыпучестью и рассеиваемостью.

Мелкий хлористый калий используют, как правило, в производстве комплексных удобрений – азофосок, нитрофосок и диаммофосок. Гранулированный хлористый калий пригоден для сухого смешивания и используется для изготовления смешанных и сложно-смешанных комплексных удобрений.

Согласно ТУ 113-13-4-93 возможны поставки крупнокристаллического обесцвеченного (1-3 мм), гранулированного (2-4 мм) и прессованного (гранулы неправильной формы 1-4 мм, от серовато-белого до красно-бурого цветов) со 100 % рассыпчатостью.

В качестве бесхлорных калийных удобрений выпускают *сульфат калия* [K_2SO_4](ТУ 2184-020-00203344-97), содержит K_2O 48,0-50,0%; *калимагнезию* [$K_2SO_4 \times MgSO_4 \times 6H_2O$] (ТУ 6-12-77-74) K_2O – 29,0%, MgO – 9% и *калимаг* (калийно-магниевый концентрат) [$K_2SO_4 \times 2MgSO_4$] (ТУ 6-13-7-76) K_2O – 18,5%, MgO – 9%. *Сульфат калия* (сернокислый калий), K_2SO_4 . это мелкокристаллическая соль сероватого цвета, растворимая в воде.

Небольшие количества сульфата калия по разным сложным и энергоемким технологиям выпускают в ОАО «Урал-

калий» (с 50% K_2O), а также на глиноземных заводах при переработке нефелиновых и других горных пород.

Сульфат калия имеет хорошие физические свойства, не гигроскопичен, не слеживается. Его можно применять на любых почвах и под все культуры, но особенно под чувствительные к хлору растения (табак, виноград, цитрусовые, лён, картофель и др.). Однако производство сульфата калия дорогое, поэтому он занимает незначительный удельный вес среди калийных удобрений.

Калимагнезия и калимаг (калийно-магнезиальный концентрат), содержат равное количество магния. На Соликамском магниевом заводе при переработке карналлита освоено производство калимага хлористого гранулированного с содержанием 45-65% KCl и 4,5-15,0% $MgCl_2$. Это хорошее удобрение для культур, потребляющих, наряду с калием, много магния (картофель, лён, клевер), особенно на бедных калием и магнием песчаных и супесчаных почвах.

Их желательно использовать под культуры чувствительные к хлору. Калимаг и калимагнезию целесообразно применять в качестве основного удобрения на легких почвах весной.

Калийная соль [$KCl + mKCl + nNaCl$] (ТУ 113-13-13-82). На основе хлористого калия готовят смешанные соли путем механического смешивания концентрированного KCl с сырыми калийными солями (чаще всего с сильвинитом или канинитом). Смешанные соли содержат от 40 до 42-43% K_2O .

К калийным удобрениям относится также *хлоркалий-электролит* [$KCl \times NaCl + MgCl_2$] (ТУ 48-10-40-76) – побочный продукт при электролизе карналлита. Удобрение марки «А» содержит не менее 45,5% K_2O , марки «В» – 31,6% K_2O до 0,2% MgO . Влияние схоже с хлористым калием марки «К», светлой окраски, слеживаемость слабая. По своей эффективности примерно равноценен хлористому калию.

Сырые калийные соли. Получают размолотом природных калийных солей. Характеризуются низким содержанием ка-

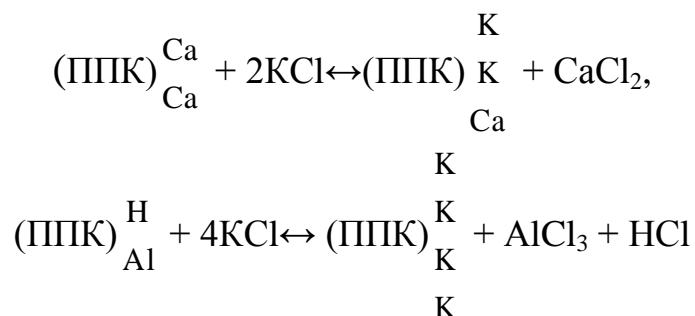
лия и большим количеством примесей, что значительно увеличивает расходы на транспортировку и внесение. Поэтому применять сырые калийные соли целесообразно лишь вблизи месторождений калийных руд. Из сырых калийных солей в России наиболее распространен сильвинит. Он содержит большое количество хлора (более 4 кг на 1 кг K_2O), что также ограничивает его применение.

Сильвинит [$nKCl + mNaCl$]. Содержит 12-15% K_2O и 35-40% Na_2O . Выпускается в грубом размоле (размер кристаллов 1-5 мм и более). Представляет смесь крупных кристаллов белого, розового, бурого и синего цвета. Обладает незначительной гигроскопичностью, но при хранении во влажном помещении отсыревает, а при подсушивании слеживается.

Содержание большого количества натрия (Na_2O) в сильвините (2,5 кг на 1 кг K_2O) полезно для свеклы, кормовых и столовых корнеплодов, некоторых других овощных культур.

Сильвинит целесообразно применять только в качестве основного удобрения и вносить с осени под зяблевую вспашку. При этом значительная часть хлора вымывается в нижние слои почвы, а калий поглощается почвой.

Все перечисленные калийные удобрения являются физиологически кислыми и при применении приводят к местному подкислению почвы. При взаимодействии с почвой образуется HCl , сдвигая рН почвы в кислый интервал:



Калий и другие катионы (Na^+ , Mg^{2+}), входящие в состав калийных удобрений, поглощаются коллоидной частью почвы, а хлор остается в почвенном растворе и легко вымывается. В результате перехода калия в поглощенное состояние снижается его подвижность в почве и предотвращается вымывание, за исключением песчаных и супесчаных почв с малой ёмкостью поглощения. Обменно-поглощенный почвой калий удобрений хорошо доступен растениям.

Отходы промышленности. В качестве калийных удобрений может использоваться *цементная пыль* [$\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{CaCO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaO} + \text{CaSiO}_4$] (ТУ 21-20-33-78) – отход цементных заводов. Содержание калия в ней составляет 10-15%. Она имеет щелочную реакцию среды, большая часть её представлена карбонатом (K_2CO_3). В цементной пыли кроме калия содержится в больших количествах кальций в виде CaCO_3 и используется для известкования кислых почв, а также магний, натрий, микроэлементы.

При переработке нефелинового сырья в качестве побочного продукта получается *углекислый калий* [K_2CO_3], содержит 52-55% K_2O . Удобрение хорошо растворимо в воде, имеет щелочную реакцию, исключительно эффективно на картофеле, плодово-ягодных, капусте и других культурах.

К местным удобрениям, содержащим калий, относится *зола*. Кроме калия, она содержит фосфор, кальций, микроэлементы. Так в золе соломы злаковых культур калия содержится 12-18%, в золе гречишной соломы – 35%, в золе стеблей подсолнечника – 35-40%, в золе после сжигания березовых дров – 15 %, сосновых – 6-8%. Калий в золе содержится в форме углекислого калия (K_2CO_3), хорошо растворимого в воде. Содержание в золе P_2O_5 3-7%, В – 0,06 %. Это прекрасное удобрение под картофель, овощные, клевер, многолетние травы как на кислых, так и на слабокислых почвах.

Эффективность калийных удобрений

Коэффициенты использования калия из удобрений. Коэффициент использования калия из минеральных удобрений в зависимости от культур изменяются от 25-35 до 80% (табл. 83).

Таблица 83

Средние коэффициенты использования растениями калия из минеральных удобрений в год внесения в почву в Нечерноземной зоне (Дерюгин И.П., 1998; Агрохимия, 2002)

Культура	Коэффициенты использования, %	Культура	Коэффициенты использования, %
Яровые зерновые	30-40	Капуста белокочанная	50
Озимые зерновые	30-40	Огурец	40
Лён	25-35	Томат	55
Картофель	50-60	Свёкла	75
Кормовые культуры	50-60	Лук	35
Многолетние травы (клевер)	25-30	Яблоня и груша	16

Внесение 1 ц K_2O обеспечивает прибавку с 1 га 2-3 ц зерна, 20-30 ц картофеля, 1-1,5 ц льноволокна, 20-30 ц сена сеяных трав и 8-18 ц сена луговых трав. В Пермском крае проведено много полевых и вегетационных опытов по изучению эффективности калийных удобрений. Установлено, что на дерново-подзолистых почвах Предуралья особенно эффективны калийные удобрения на картофеле, подсолнечнике, капусте, льне, клевере и некоторых других культурах. Все формы калийных удобрений обеспечивают примерно одинаковый уровень урожайности.

На почвах с низким и средним содержанием обменно-поглощенного калия на каждый килограмм внесенного калия удобрений в условиях Предуралья можно получить прибавку картофеля 35-40 кг, яровых зерновых – 1-1,5, льноволокна – 1-1,5, зелёной массы подсолнечника – 45, клеверного сена – 35, столовых корнеплодов – 15-20, плодов огурца и томата – 12-15, лука репки – 5-8 кг.

Соликамская опытная станция более чем за 70-летний период накопила огромный экспериментальный материал,

позволяющий сделать заключение о том, что на песчаных и супесчаных почвах калий обеспечивает прибавки выше, чем фосфорные удобрения. Особенно эффективны калийные удобрения на фоне азота и фосфора (табл. 84).

Таблица 84

Эффективность калийных удобрений при совместном внесении фосфора и азота (Кротких Т.А., 2012)

Варианты	Урожайность картофеля, ц/га	Прибавка от калия, ц/га	Урожайность ячменя, ц/га	Прибавка от калия, ц/га
Без удобрений	75,1	–	12,0	–
Калий	80,7	5,6	13,6	1,6
Фосфор	83,1	–	15,0	–
Фосфор + калий	107,4	24,3	23,5	8,3
Фосфор + азот	107,4	–	23,5	–
Фосфор + азот + калий	187,4	80,0	26,9	3,4

На почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава калийные удобрения необходимо вносить с осени под зяблевую обработку. Их размещают в более влажном слое почвы, где развивается основная масса деятельных корней, поэтому калий лучше усваивается растениями. На легких почвах с низкой ёмкостью поглощения катионов, особенно в районах с большим количеством осадков, где возможно вымывание калия, калийные удобрения целесообразно вносить весной под предпосевную обработку почвы.

Катион калия прочно закрепляется почвенно-поглощающим комплексом и не вымывается, учитывая физические свойства калийных удобрений целесообразно их вносить в «запас», то есть рассчитанные дозы под культуры в севообороте объединяют и вносят один или два раза за ротацию.

Дозы калийных удобрений устанавливают в зависимости от содержания в почве обменно-поглощенного калия и биологических особенностей возделываемых культур.

Для получения максимальной прибавки от калийных удобрений можно сформировать некоторые положения их эффективного применения:

– применять калийные удобрения с учетом обеспеченности почв обменно-поглощенным калием;

- применять калийные удобрения совместно с азотно-фосфорными удобрениями;
- в первую очередь на известкованных почвах;
- на средне- и тяжелосуглинистых почвах все хлорсодержащие калийные удобрения вносить с осени под зяблевую вспашку;
- калийные удобрения следует вносить, прежде всего, на почвах легкого гранулометрического состава и торфяных;
- ежегодно вносить калийные удобрения под любые культуры на осушенных торфяниках, на минеральных почвах целесообразно вносить калийные удобрения 1-2 раза в севообороте в «запас» на 3-4 года;
- на унавоженных полях вносить калийные удобрения под пропашные культуры прифермского севооборота;
- в полевых севооборотах калийные удобрения в первую очередь рекомендуются под культуры, возделываемые после клевера;
- применять калийные удобрения на клевере после первого и второго укоса, а также рано весной в подкормку клевера, выращиваемого на семена.

Вопросы для повторения:

1. Роль калия в растениях. 2. Содержание и вынос калия сельскохозяйственными культурами. 3. Признаки недостатка калия. 4. Содержание калия в почвах нашей зоны. 5. Формы калия в почвах и их доступность растениям. 6. Свойства и особенности применения хлористого калия и 40-% калийной соли. 7. Состав и применение сульфата калия и калийно-магнезиальных солей. 8. Какие калийсодержащие местные материалы можно использовать в качестве удобрений? 9. Сырые калийные соли и возможность их применения. 10. В чём заключаются особенности взаимодействия калийных удобрений с почвой? 11. Условия эффективного применения калийных удобрений на различных почвах. 12. Коэффициенты использования калия из минеральных удобрений.

Лекция 4. Магниевые удобрения

- Содержание и роль магния в растениях.
- Содержание магния в почвах.
- Магниевые удобрения и их применение.

Содержание и роль магния в растениях

Значение магния в жизни растений многообразно. Он входит в состав хлорофилла, принимает участие в фотосинтезе, следовательно, и в синтезе углеводов. В хлорофилле его содержится 15-30% от общего содержания. Вместе с кальцием магний входит в состав запасного вещества – фитина, так же как и фосфор используется растениями при прорастании семян.

Установлено, что, отличаясь большей подвижностью в тканях растений, чем кальций, магний способствует передвижению фосфора в растениях, участвует в окислительно-восстановительных процессах, при недостатке его снижается содержание аскорбиновой кислоты и инвертированного сахара. При достаточном содержании магния усиливаются восстановительные процессы, что приводит к накоплению восстановленных органических соединений – эфирных масел, жиров, входит в состав рибосом и регулирует образование белковых веществ. При недостатке его происходит накопление свободных аминокислот.

Наибольшее содержание магния характерно для масличных, наименьшее – для зерновых культур. В зерне яровых зерновых магния в пересчете на окись (MgO) содержится 0,11-0,17%, в соломе зерновых – 0,10-0,30%, горохе – 0,13%, клубнях картофеля – 0,06%, ботве картофеля – 0,20% на сухое вещество.

Вынос магния урожаем в пределах даже одной культуры разный и зависит от типа почв, их гранулометрического состава. С высокой урожайностью порядка 35 -45 ц/га зерновые культуры выносят около 30, картофель, капуста, свёкла – 70-100 кг/га MgO. В растениях магний должен быть в определённом соотношении с калием, на 1 часть MgO должно приходиться 2-2,5 части K₂O.

Недостаток магния сначала проявляется на более старых листьях, у злаковых, наряду с более светлой окраской, наблюдается накопление хлорофилла вдоль нерватуры листьев (мраморная или полосчатая окраска). Затем образуются цепочки желтой и оранжевой окраски. У двудольных растений сначала светлеют края листьев и участки между жилками. Вдоль жилок сохраняется зелёная кайма, позднее образуются некрозы, появляется красноватое или фиолетовое окрашивание. При теплой погоде у растений, страдающих от недостатка магния, наблюдаются признаки увядания (часто наблюдается в защищенном грунте), как и при недостатке калия. У картофеля и свёклы лист становится жёстким и хрупким. У картофеля иногда на листьях появляются выпуклости и утолщения. У овощных культур листья становятся мелкими, их края закручиваются кверху. У яблони на листьях, расположенных вблизи плода, между жилками появляются светло-зелёные пятна, которые потом желтеют; у груши листья почти чёрные, у ягодников – жёлтые, красные или пурпурные, окраска листьев напоминает «ёлочку». Прирост побегов может быть нормальным, но листья склонны к преждевременному отмиранию и могут опадать даже летом. Наблюдается также сильное опадание плодов.

Зерновые культуры менее требовательны к обеспеченности почв магнием, но больше страдают от его недостатка,

чем технические и овощные. Это связано с тем, что корневая система злаков располагается на небольшой глубине и слабо использует питательные вещества из подпахотного горизонта почвы.

Содержание магния в почвах

Содержание магния в почвах колеблется в пределах 0,05-1,5%. Наибольшее количество его в почвах чернозёмного типа (0,3-1,3%) и наименьшее – в дерново-подзолистых легкого гранулометрического состава (0,05-0,1%). В целом почвы Пермского края богаты магнием. По данным Н.Я. Коротаева (1962), содержание подвижного магния в оподзоленных чернозёмах и серых лесных почвах составляет 30-140 мг/100 г почвы, дерново-подзолистых глинистых – 22-97 мг, суглинистых – 4-36 мг, песчаных – 2-18 мг/100 г почвы. Ионы магния сильно гидратируются, поэтому слабо поглощаются почвой, что приводит к его вымыванию. Особенно возрастают потери магния при внесении физиологически кислых удобрений, на кислых почвах с малой ёмкостью поглощения и после зим с большим количеством осадков (до 20 кг/га). На доступность магния влияют и другие катионы. Высокая концентрация K^+ , H^+ , NH_4^+ , Ca^{++} противодействует поглощению магния. Поглощение магния зависит от соотношения $Ca:Mg$, оптимальным является 5:1. Доступность его в сильной степени зависит от pH, при pH менее 4,2 даже при достаточном содержании в почве растения испытывают недостаток данного элемента. Группировка по обеспеченности почв магнием приведена в таблице 85.

На почвах легкого гранулометрического состав (песчаных и супесчаных) растения почти ежегодно нуждаются в

магнии. Магний в почве является своеобразным спутником кальция. При определении суммы поглощённых оснований (S) и ёмкости катионного обмена (ЕКО) в почвенно-поглощающем комплексе всегда учитывается содержание этих двух катионов.

Таблица 85

Группировка почв по содержанию обменно-поглощенного магния [24]

Группа	Обеспеченность	MgO, мг/кг почвы	Группа	Обеспеченность	MgO, мг/кг почвы
1	Очень низкая	< 25	4	Повышенная	101-150
2	Низкая	25-50	5	Высокая	151-200
3	Средняя	51-100	6	Очень высокая	> 200

На почвах тяжелого гранулометрического состава магния и кальция как питательных элементов бывает достаточно. Не хватает магния растениям на песчаных, супесчаных и торфяных почвах. Большинство исследователей считают, что недостаток этого элемента проявляется тогда, когда обменно-поглощенного магния содержится меньше 20 мг/кг почвы и требуется вносить магнийсодержащие удобрения.

Магниевые удобрения и их применение

Формы магниевых удобрений разнообразны. В большинстве случаев внесение магния можно совместить с известкованием почвы магнийсодержащими материалами или с внесением других удобрений.

По степени растворимости магниевые удобрения подразделяют:

– на нерастворимые в воде, тонкоразмолотые природные минералы или породы – дунит, серпентинит, вермикулит, доломит, магнезит, брусит и доломитизированные известняки, которые при взаимодействии с кислой почвой выделяют магний в почвенный раствор;

– растворимые в лимонной кислоте и усвояемые растениями – магниевый плавный фосфат, дунитовый суперфосфат и др.;

– растворимые в воде – сырые соли и продукты их переработки – эпсомит, каинит, карналлит, сульфат магния и др.

Магниевого удобрения по составу делят на простые (магнезит, дунит и др.) и сложные, содержащие два и более питательных веществ: азотно-магниевые (аммошениит, доломит-аммиачная селитра); фосфорно-магниевые (магниевый плавный фосфат, дунитовый суперфосфат др.); калийно-магниевые (калийно-магниевый концентрат, калимагнезия, полигалит, каинит, карналлит и др.); бормагниевые (борат магния); известково-магниевые (доломит, доломитизированные известняки и продукты их переработки); содержащие азот, фосфор и калий (магнийаммонийфосфат). Большинство калийно-магниевых удобрений содержат серу. Характеристика основных магниевых удобрений приведена в таблице 86.

Таблица 86

Характеристика основных магниевых удобрений

Удобрения	Химическая формула	Содержание MgO, %
Простые магниевые удобрения		
Сульфат магния, эпсомит	$MgSO_4 \times 7H_2O$	до 13,7
Кизерит	$MgSO_4 \times H_2O$	до 29
Доломитовая мука	$CaCO_3 \times MgCO_3$	до 20
Полуобожжённый доломит	$CaCO_3 \times MgO$	27
Окись магния (жжёная магнезия)	MgO	75-87
Дунит	$Mg_2SiO_4, FeSiO_4$	41-47
Серпентинит (магниевый змеевик)	$Mg_2H_4Si_2O_9$	32-43
«Магуд»	$MgCO_3 + MgO + Mg(OH)_2$	75 (ТУ 2189-001-00493443-97)
Сложные магниевые удобрения		
Азотно-магниевые:		
Аммошениит	$(NH_4)_2SO_4 \times MgSO_4 \times 6H_2O$	10
Доломит-аммиачная селитра	$NH_4NO_3 + CaCO_3 \times MgCO_3$	10
Калийно-магниевые:		

Удобрения	Химическая формула	Содержание MgO, %
Калимагнезия	$K_2SO_4 \times MgSO_4 \times 6H_2O$	8-10
Калийно-магниевый концентрат	$K_2SO_4 \times 2MgSO_4$	8-9 (ТУ 6-13-7-76)
Калимаг (Березниковский)	$KCl + MgCl_2 + NaCl$	12
Каинит	$KCl \times MgSO_4 \times 3H_2O$	6-7 (ТУ-6-13-8-83)
Вермикулит (гидрослюда)		14-30
Карналлит	$KCl, MgCl_2 \times 3H_2O + NaCl$	14
Полигалит	$K_2SO_4 \times 2MgSO_4 \times 2CaSO_4 \times 2H_2O$	до 11
Фосфорно-магниевые:		
Магний-аммоний-фосфат (МАФ)	$Mg NH_4PO_4 \times nH_2O$	25,9
Плавленый магниевый фосфат (ПМФ)	$Ca_3(PO_4)_2 + MgSiO_3 \times SiO_3$	8-14

Сульфат магния, эпсомит $[MgSO_4 \times 7H_2O]$ содержит не менее 84% $MgSO_4 \times 7H_2O$ и не более 6% NaCl, MgO – 13,7%. Получают путём переработки природных солей. Удобрение не слеживается, хорошо высевается, хорошо растворимо в воде, светло-серого цвета. При внесении в почву магний в большей части переходит в обменное состояние.

В настоящее время химическая промышленность в качестве магниевого удобрения выпускает чистую соль сульфата магния с содержанием магния 17% и серы 13,5%.

Применяется сульфат магния под овощные, цветочные, декоративные культуры 12-15 г/м², под плодовые из расчёта 30-35 г/м² приствольного круга. Для некорневых подкормок используют рабочий раствор сульфата магния 15 г/10 л воды.

Кизерит $[MgSO_4 \times H_2O]$ – минерал, встречающийся среди отложений каменной соли, содержит MgO до 29%, 58% SiO₃ и 13% воды. В воде растворяется медленно, на воздухе постепенно переходит в эпсомит. Рекомендуются для применения на слабокислых и нейтральных почвах. Кизерит можно использовать на интенсивных лугах, в овощеводстве защищённого и открытого грунта.

Доломитовая мука $[CaCO_3 \times MgCO_3]$ – продукт размола доломита. Содержит до 20% MgO и 28% CaO.

Полубожжённый доломит $[CaCO_3 \times MgO]$ – продукт обжига доломита, содержит 27% MgO и 2% CaO и 57% CaCO₃. Удобрения применяются для известкования почв. В Пермском крае залежи доломитов находятся в Кунгурском, Суксунском и Чердынском районах.

Окись магния $[MgO]$ получают при обжиге высокосортного магнезита с содержанием окиси магния 75-87%. Все разновидности окиси магния можно использовать по дозам магниевых удобрений.

Дунит $[Mg_2SiO_4, FeSiO_4]$ – тонкий пылящий порошок тёмно-серого цвета, отход Нижнетагильского металлургического комбината. Содержит 41-47% MgO и 30-35% SiO₂ и 3-8% FeO. Удобрение слабо растворимо в воде, но хорошо в почвенном растворе под воздействием почвенной кислотности. С почвенно-поглощающим комплексом дунит взаимодействует медленнее, чем известь. Целесообразно вносить его под картофель, лён, люпин.

Серпентинит $[Mg_3H_4Si_2O_9]$ состоит в основном из метасиликата магния, нерастворимого в воде, с содержанием 32-43 % MgO. Является отходом асбестовой промышленности. Применяется в тонкоизмельчённом виде на кислых почвах как известковое удобрение. По сравнению с другими удобрениями, содержащими более подвижные формы магния, серпентинит необходимо вносить в повышенных дозах.

Аммошениит $[(NH_4)_2SO_4 \times MgSO_4 \times 6H_2O]$ – двойная соль сульфата аммония и сульфата магния. Представляет собой кристаллический продукт от светло-коричневого до серого цвета. Применяется как азотно-магниевое удобрение; содержит не менее 7% азота и 10% окиси магния. Магний удобрения хорошо усваивается растениями.

Доломит-аммиачная селитра $[NH_4NO_3 + CaCO_3 \times MgCO_3]$ – механическая смесь доломитовой муки и аммиачной селитры в соотношении 1:1. Содержит 17% N, 10% MgO и 14% CaO. В почву вносится по дозам азотного удобрения, обеспечивает одновременно потребность растений в магнии. За рубежом изготавливают сплав из этих двух удобрений в виде гранулированного продукта.

Калимагнезия $[K_2SO_4 \times MgSO_4 \times 6H_2O]$ содержит MgO 8-10% , *калимаг* (калийно-магниевый концентрат) $[K_2SO_4 \times 2MgSO_4]$ – 8-9% , K_2O – 17,5%. Характеристика их дана в калийных удобрениях.

Каинит $[KCl \times MgSO_4 \times 3H_2O]$ содержит окись калия до 10-12%, окись натрия 22-25%, окись магния 6-7%, серного ангидрида 15-17% и хлора до 32-35%. Удобрение низкопроцентное и малотранспортабельное. Применяется в основном на лугах и пастбищах, где часто имеет преимущество перед хлористым калием благодаря наличию в нём магния.

Карналлит $[KCl, MgCl_2 \times 3H_2O + NaCl]$ содержит калия до 16% и 14% магния. Является одним из главных минералов в калийных соляных месторождениях.

Полигалит $[K_2SO_4 \times 2MgSO_4 \times 2CaSO_4 \times 2H_2O]$ содержит 8-12% MgO и до 11% K_2O . В воде растворяется медленно, но и калий, и магний этого удобрения хорошо доступны растениям.

Вермикулит – гидрослюда содержит 14-30% MgO и до 5% K_2O , небольшая часть магния (1,3-1,7% массы минерала) находится в обменном виде, остальная часть разлагается под воздействием почвенной кислотности.

Магниевый плавный фосфат $[Ca_3(PO_4)_2 \times MgSiO_3]$ содержит усвояемый растениями фосфор 19-21% и магний 8-14%. Побочный продукт металлургии. Высокоэффективное удобрение при основном внесении на всех типах почв. Подробная характеристика приводится в разделе «Полурастворимые фосфорные удобрения».

Магнийаммонийфосфат $[Mg NH_4PO_4 \times nH_2O]$ – концентрированное удобрение, содержащее три питательных элемента: азот (10,9%), фосфор (45,7%) и магний (25,9%). При дозе 45-60 кг/га P_2O_5 вполне удовлетворяет потребность растений и в магнии. Характеристика приводится в разделе «Сложные удобрения».

При известковании почв карбонатными материалами, содержащими магний, растения полностью обеспечиваются данным питательным веществом на одну две ротации севооборота. Дунит и другие силикаты магния на кислых почвах следует вносить в повышенных дозах 5-10 ц/га под вспашку.

Калимагнезия, калимаг, каинит, внесённые по дозам калийных удобрений, обеспечивают одновременно и полную потребность растений в магнии.

Все растворимые магниевые удобрения в нашем регионе следует вносить при весенней обработке почвы.

Действие магниевых удобрений изучалось на Соликамской опытной станции и на кафедре агрохимии Пермской ГСХА.

На легких почвах Соликамской опытной станции изучалось действие магнезита и доломита (табл. 87).

Таблица 87

Действие магниевых удобрений на урожайность полевых культур на супесчаных почвах, ц/га (Васильева Л.В., 1976)

Варианты опыта	Озимая рожь (1956 г.)	Картофель (1957 г.)	Ячмень (1958 г.)	Клевер (1959- 1960 гг.)	Пшеница (1961 г.)
Без извести					
0 (без удобрений)	16,2	138,6	6,6	14,3	12,2
Магнезий, 240 кг/га MgO	18,6	155,6	10,0	51,7	16,6
Доломит, 240 кг/га MgO	19,6	159,1	10,9	57,2	16,8
По извести (1,3т/га)					
0 (без удобрений)	18,7	177,1	11,0	43,4	20,2
Магнезий, 240 кг/га MgO	16,9	162,8	13,8	52,0	18,2
Доломит, 240 кг/га MgO	17,6	164,2	13,6	54,6	19,9

Из приведенных данных видно, что в условиях песчаных почв применение карбонатов магния оказывает положительное влияние на урожайность озимой ржи, клевера, ячменя, картофеля и пшеницы. На песчаных и супесчаных почвах магниевые удобрения должны обязательно включаться в систему удобрения. Их дозы под различные культуры неодинаковы. Для зерновых, льна и трав они составляют 20-25 кг/га, для картофеля и кормовых – 40-50 кг/га д.в. При расчёте доз магниевых удобрений следует учитывать поступление данного элемента с органическими удобрениями. Содержание магния в навозе составляет 0,08%, в навозной жиже – 0,05%.

Из магнийсодержащих солей широко используется руда – магнезит (MgCO_3). В России его добывают в Челябинской (г. Сатка) и Иркутской областях. Магнезит в основном используют для выработки огнеупорного кирпича и высококачественного цемента. Магнезит не растворяется в воде и слабо – в кислой среде. Размолотый магнезит представляет кристаллический порошок. При термическом разрушении и размоле магнезита на заводах скапливается большое количество отхода в виде пыли, содержащего до 80% MgO . Отход (пыль) представляет собой аморфный светло-серый порошок, при хранении сильно слеживается. В слабокислой среде такой порошок растворяется быстрее, чем измельченный магнезит, следовательно, его больше находится в почвенном растворе. Кафедра агрохимии Пермской СХА провела большие исследовательские работы и выявила высокую эффективность отхода как магниевого удобрения на картофеле (табл. 88) и как мелиоранта на клевере (табл. 89).

Таблица 88

Эффективность «Магуда» на картофеле (Олехов В.Р., 1999)

Варианты	Урожайность, ц/га (1996-1998 гг.)	Прибавки			
		к контролю		к фону	
		ц/га	%	ц/га	%
1. Контроль	170,2	—	—	—	—
2. (NK) ₁₂₀ P ₁₀₀ – фон	199,3	29,1	17,1	—	—
3. Фон + MgO ₃₀ (M*)	223,8	53,6	31,5	24,5	12,3
4. Фон + MgO ₆₀ (M)	235,3	65,1	38,3	36,0	18,1
5. Фон + MgO ₉₀ (M)	207,9	37,7	22,2	8,6	4,3
6. Фон + MgO ₁₂₀ (M)	197,0	26,8	15,8	-2,3	-1,1
7. Фон + MgO ₃₀ (Э**)	225,9	55,7	32,7	26,6	13,3

*M** – магуд; *Э*** – эпсомит

Таблица 89

Эффективность «Магуда» на клевере розовом (Олехов В.Р., 1999)

Варианты	Урожайность, ц/га (1997-1998 гг.)	Прибавки			
		к контролю		к фону	
		ц/га	%	ц/га	%
1. Контроль	180,5	—	—	—	—
2. (PK) ₉₀ – фон	187,1	6,6	3,7	—	—
3. Фон + MgO (M*) по 1,0 Нг	223,0	42,5	23,5	35,9	19,2
4. Фон + MgO (M) по 1,5 Нг	211,2	30,7	17,0	24,1	12,9
5. Фон + CaO по 1,0 Нг	193,1	12,6	7,0	6,0	3,2
6. Фон + CaO по 1,5 Нг	191,9	11,4	6,3	4,8	2,5
7. Фон + MgO CaO по 0,5 Нг	206,8	26,3	14,5	19,7	10,5

На почвах тяжелого гранулометрического состава магнийсодержащие удобрения малоэффективны на зерновых культурах, эффективны на картофеле, кукурузе, капусте, томатах и других овощных культурах. Дозы MgO составляют 30 – 60 кг/га.

Вопросы для повторения:

1. Роль магния в растениях. 2. Содержание и вынос магния сельскохозяйственными культурами. 3. Признаки недостатка магния. 4. Содержание магния в почвах нашей зоны. 5. Формы магния в почвах и их доступность растениям. 6. Каковы свойства и особенности применения нерастворимых магниевых удобрений? 7. Состав и применение сульфата магния и калийно-магнезиальных солей. 8. Каковы условия эффективного применения магниевых удобрений на различных почвах?

Лекция 5. Микроэлементы в растениях, почвах и применение микроудобрений

- Роль и содержание бора в растениях, почвах и применение борных микроудобрений.
- Роль и содержание молибдена в растениях, почвах и применение молибденовых микроудобрений.
- Роль и содержание кобальта в растениях, почвах и применение кобальтовых микроудобрений.
- Роль и содержание меди в растениях, почвах и применение медных микроудобрений.
- Роль и содержание цинка в растениях, почвах и применение цинковых микроудобрений.
- Роль и содержание марганца в растениях, почвах и применение марганцевых микроудобрений.

Для увеличения производства качественной сельскохозяйственной продукции, наряду с основными удобрениями, важное значение имеют микроудобрения, содержащие микроэлементы. Микроэлементы необходимы растениям в очень небольших количествах: их содержание составляет тысячные и десятитысячные доли процента массы растений. Однако каждый из них выполняет строго определённые функции в обмене веществ, питании растений и не может быть заменен другим элементом.

При выращивании сельскохозяйственных культур на почвах с недостаточным, а в некоторых биогеохимических провинциях — с избыточным содержанием доступных форм микроэлементов, снижается урожай и ухудшается качество продукции. Недостаток или избыток отдельных микроэлементов в растениеводческой продукции и кормах может вызывать заболевания человека и сельскохозяйственных животных.

В условиях интенсификации сельского хозяйства рост урожаев сопровождается увеличением выноса всех питательных элементов, в том числе микроэлементов. Это повышает потребность в отдельных микроудобрениях на почвах не только с недостаточным, но и с умеренным содержанием соответствующих микроэлементов в доступной растениям форме.

Из сравнения полученных результатов с принятой агрохимической службой страны группировкой почв по содержанию подвижных форм микроэлементов видно, что большинство почв Пермского края средне обеспечены бором, молибденом и кобальтом (табл. 90).

Таблица 90

Группировка почв по содержанию подвижных форм микроэлементов с учётом генезиса почв, мг/кг (Ягодин Б.А., 2002)

Степень обеспеченности	В (водная вытяжка)	Мо (оксалатная вытяжка)	Сu (вытяжка 1 н. HCl)	Mn (вытяжка 0,1 н. H ₂ SO ₄)	Zn (вытяжка 1 н. KCl)	Со (вытяжка 1 н. HNO ₃)
минеральные почвы						
низкая	<0,2	<0,1	<2,0	<20,0	<1,0	<1,0
средняя	0,2-0,6	0,1-0,3	2,0-3,5	20,0-50,0	1,0-3,0	1,0-3,0
высокая	>0,6	>0,3	>3,5	>50,0	>3,0	>3,0
торфяно-болотные почвы						
низкая	<0,4	<0,2	<5,0	<40,0	<2,0	<2,0
средняя	0,4-1,0	0,2-0,6	5,0-7,0	40,0-100,0	2,0-6,0	2,0-6,0
высокая	>1,0	>0,6	>7,0	>100,0	>6,0	>6,0

Выявлена закономерность: содержание подвижного бора, кобальта и меди в почвах края увеличивается с увеличением гумуса в почвах, а содержание цинка и марганца, наоборот, снижается. Содержание молибдена не зависит от содержания гумуса в почве.

Роль и содержание бора в растениях, почвах и применение борных микроудобрений

Физиологические функции бора. Бор необходим для деления клеток, для формирования репродуктивных органов, играет важную роль в процессах опыления и оплодотворения цветков, созревания семян. Принимает участие в образовании и передвижении углеводов, участвует в белковом и нуклеиновом обмене, стимулирует образование клубеньков на корнях бобовых культур.

Бор активизирует процесс фотосинтеза. М.Я. Школьник (1950) показал, что при исключении бора из питательной смеси в листьях льна через 15 дней количество хлорофилла уменьшилось в 6 раз, в листьях суданской травы – в 5 раз. Ученый установил, что при достаточном количестве бора повышалось накопление и передвижение первичных углеводов.

Бор оказывает влияние на образование АТФ, на дыхание. Под влиянием бора ускоряется процесс синтеза нуклеиновых кислот, поддерживаются нормальные ростовые процессы и образование репродуктивных органов.

В настоящее время влияние бора на углеводный и белковый обмен в растениях связывают со способностью H_3BO_3 образовывать комплексные соединения с органическими кислотами, углеводами, спиртами, гидратами полуторных окисей. Бор с жиром маннит образует эфиры маннитоборной кислоты, соединения с сахарами, фенолами, которые устойчивы к окислению с пектиновыми веществами более кислыми, чем H_3BO_3 и пектины, больше образуется метилового спирта. Большая часть бора сосредоточена в клеточных стенках в виде комплексов, но выделить их не удаётся. При дефиците бора не образуется валин, лейцин и фенилаланин (не-

заменяемые аминокислоты). Бор повышает содержание пролина. С образованием пролина и белка связано образование и размеры хлоропластов, резко уменьшается содержание аминов аспарагина и глутамина, которые мешают переработке сахарозы на заводах в кристаллический сахар.

Бор повышает толерантность растений к избыточной концентрации в почвенном растворе токсичных элементов: железа, алюминия, марганца, меди. Повышает устойчивость к грибковым заболеваниям. Исследованиями установлено, что бор увеличивает вязкость цитоплазмы и содержание связанной воды и, тем самым, влияет на тургор и транспирацию, повышает засухоустойчивость и морозостойкость.

При *дефиците бора* наблюдаются отклонения в анатомическом строении растений, изменяется форма листьев, сильно задерживается развитие ксилемы, флоэмы, камбия, коневой системы и других органов и тканей.

При недостатке бора нарушается ритм деления клеток меристемы и структура клеточных стенок, а затем отмирают точки роста, нарушается углеводный обмен, у бобовых нарушается развитие клубеньков на корнях, цветки развиваются ненормально, не оплодотворяются и опадают, в результате резко снижается семенная продуктивность культур.

При недостатке бора у картофеля молодые листья верхушечной почки светлеют, причём светлая окраска наиболее отчётливо проявляется у основания листьев. Верхняя часть стебля отмирает или искривляется; междоузлия укорочены, отчего куст кажется густым. Листья утолщаются и закручиваются кверху; стерженьки долек становятся хрупкими. Клубни мелкие, часто с трещинами.

У овощных культур при дефиците бора черешки листьев и вновь образующиеся листовые почки светлые, ломкие,

часто уродливые. На концах побегов образуются розетки листьев. На поверхности корнеплодов (свёкла, турнепс, редис) появляются тёмноокрашенные участки уплотнённой ткани. Для кочанной и цветной капусты характерно образование полых стеблей, для сельдерея – растрескивание стеблей.

Из плодовых культур наиболее чувствительна к недостатку бора яблоня. Признаки недостаточности проявляются на листьях, ветвях, цветках и плодах. Верхние листья мелкие, скрученные, лодкообразные, опадают раньше времени, что приводит к оголению верхушки деревьев. Многие цветки из-за стерильности не способны образовывать плоды. На плодах вследствие ненормального развития кожицы появляются красно-коричневые и бурые, резко отграниченные от остальной ткани плода подкожные пятна опробковевшей ткани. В местах повреждений образуются трещины. У груши при недостатке бора на плодах образуются впадины, ткани под ними приобретают буроватый оттенок, пробковеют.

Недостаток бора вызывает ряд болезней: у сахарной, кормовой и столовой свёклы – гниль сердечка, побурение – у брюквы, капусты и турнепса, усыхание верхушки – у льна, некроз сосудов – у плодовых.

Визуальные признаки борной недостаточности проявляются вначале на молодых листьях и органах, поскольку бор слабо реутилизируется в растениях. Избыток бора вызывает постепенное увядание листьев, что заметно снижает продуктивность растений.

Содержание бора в растениях зависит от культуры и изменяется от 2 до 40 мг/кг сухого вещества, больше его в сене многолетних бобовых культур, меньше всего в зерновых культурах (табл. 91).

Таблица 91

Содержание бора в растениях, мг/кг сухого вещества
(Дерюгин И.П., 1998; Агрохимия, 2002)

Растение	Содержание бора	Растение	Содержание бора
Яровая пшеница:		Люпин:	
зерно	2	семена	16
солома	2-4	зелёная масса	21
Ячмень:		Кукуруза (зелёная масса)	1-2
зерно	2	Сахарная свёкла:	
солома	3-4	корни	12-17
Овес:		листья	20-35
зерно	2-3	Картофель (клубни)	6-9
солома	2-4	Капуста кормовая	5-20
Лён:		Капуста белокочанная (кочан)	5-38
семена	8	Свёкла столовая (корнеплод)	13-48
солома	12,5	Морковь столовая (корнеплод)	10-15
Тимофеевка (сено)	4	Томат	6-8
Клевер (сено)	12-40	Лук	10
Вика (сено)	22	Яблоня (плоды)	8,5
Люцерна (сено)	25-30	Груша (плоды)	10,5

Содержание бора у одних и тех же видов растений, произрастающих на почвах с разным уровнем его содержания, может отличаться в 2-5 раз. Как правило, содержание бора в растениях возрастает по мере повышения содержания его в почве в подвижной форме. Исключение составляют злаки, потребление ими бора мало зависит от условий питания.

Дефицит бора обычно наступает при содержании его в листьях менее 10 мг/кг сухой массы, а при содержании его более 50-100 мг/кг сухой массы может проявляться токсическое действие.

Для формирования урожая растения потребляют с 1 га от 20 до 250 г бора. Для создания 1 т зерна яровые и озимые зерновые потребляют 8-10 г бора, зернобобовые – 20-30 г. Особенно чувствительные к недостатку бора следующие культуры: подсолнечник, люцерна и другие бобовые культу-

ры, сахарная свёкла и кормовые корнеплоды, лён, картофель, конопля, овощные и плодовые.

Валовое содержание бора в почвах колеблется в пределах 1-120 мг/кг почвы. Наибольшее количество его в серозёмах и засоленных почвах (20-120 мг/кг), наименьшее – в темноцветных заболоченных и дерново-подзолистых легкого гранулометрического состава (1-2 мг/кг).

Содержание подвижного бора в дерново-подзолистых почвах составляет 0,02-0,6 мг/кг, в лесостепных – 0,3-0,9, чернозёмах – 0,5-1,8 и засоленных – 1,0-10 мг/кг почвы. Низким содержанием бора, как и других микроэлементов, отличаются песчаные и супесчаные почвы (табл. 92). Среднее содержание доступного бора в пахотных почвах России составляет примерно 5 кг/га.

Таблица 92

Содержание подвижного бора в зависимости от гранулометрического состава дерново-мелкоподзолистых почв Пермского края

Почвы	Содержание, мг/кг
Дерново-мелкоподзолистые:	
– Тяжелосуглинистые;	0,37
– Среднесуглинистые;	0,31
– Легкосуглинистые;	0,25
– песчаные и супесчаные	0,16

Борные удобрения и их характеристика. В качестве борных удобрений используют вещества, содержащие в своём составе бор в виде борной кислоты (табл. 93).

Таблица 93

Характеристика основных борных удобрений

Удобрение	Содержание бора, %	Форма
Бормагниевое удобрение	2,2-2,3	Водорастворимая
Борная кислота, H_3BO_3	17,1-17,3	Водорастворимая
Бура, $Na_2B_4O_7 \times 10 H_2O$	11,0	Водорастворимая
Простой борный суперфосфат (боросуперфосфат)	0,2	Водорастворимая
Двойной борный суперфосфат	0,4	Водорастворимая

Бормагниевое удобрение – отход производства борной кислоты (H_3BO_3). Порошок серого или тёмно-серого цвета с наличием частиц шлака, сухой, не гигроскопичен. Содержание бора 2,2-2,3%, MgO 15-20%. Можно использовать для внесения в почву, обработки семян и некорневой подкормки растений в период вегетации.

Гранулированный боросуперфосфат – гранулы округлой формы, окрашены красителем в синий цвет, с запахом ортофосфорной кислоты, содержание P_2O_5 18,5-19,3% и 0,2% В, не гигроскопичен, не слёживается. Использовать лучше всего как припосевное удобрение из расчёта 15-20 кг P_2O_5 на га.

Двойной борный суперфосфат – гранулы округлой формы, окрашены красителем в синий цвет, с содержанием P_2O_5 40-42% и 0,4% В, физические свойства аналогичны простому боросуперфосфату, применять при посеве, при посадке овощных культур из расчёта 15-20 кг P_2O_5 на га.

Борная кислота – H_3BO_3 , соль белого цвета, мелкокристаллическая, высококонцентрированная, хорошо растворяется в тёплой воде, содержит 17,1-17,3% В. Целесообразно использовать для обработки семян путём намачивания в слабых растворах (0,04%) при 12-часовой экспозиции или смачивание из расчёта от 30 до 160 г В на 1 т семян. Является прекрасным удобрением для некорневых подкормок в виде 0,05-0,10% растворов. Вносить в почву экономически невыгодно.

Техническая бура – $Na_2B_4O_7 \times 10 H_2O$, мелкокристаллическая соль светло-серого цвета, негигроскопична, не слёживается, хорошо растворима в воде, содержит 11% В, может использоваться для обработки семян, некорневых подкормок.

Бор содержится также в местных органических и некоторых минеральных удобрениях (табл. 94).

Таблица 94

Содержание бора в местных органических и некоторых минеральных удобрениях (Каталымов М.В., 1961; Анспок П. И., 1981)

Виды удобрений	В мг/кг*	Виды удобрений	В мг/кг*
Навоз на соломенной постилке	20,1	Известь	2,7
Торф:		Доломит	3,8-8,0
низинный	32,2-36,6	Магnezит:	
переходный	5,8-9,5	кристаллический	4,5
верховой	6,1-7,3	аморфный	3,9
Зола дров:		Сильвинит	5,8-8,2
осиновых	476	Карналлит	6,3
берёзовых	333,4-451,5	Цианамид кальция	6,3
еловых	202,8	Хлористый калий, электролит	следы

*– В мг/кг абсолютно сухое вещество в органических и на воздушно-сухое – в минеральных удобрениях.

Применение борных микроудобрений. Борные микроудобрения можно использовать для внесения в почву, некорневой подкормки растений и обработки семян. Он необходим в течение всего вегетационного периода.

Лучшим удобрением для внесения в почву является бормагниевое удобрение. При внесении в почву небольшие дозы удобрения необходимо смешивать с макроудобрениями, вносить весной под культивацию.

Наряду с основным внесением бор можно вносить путём обработки семян слабым раствором борной кислоты, технической буры в дозах г: на ц семян зерновых 0,3-0,4, зернобобовых 0,4-0,5; на кг корнеплодов 12-16 и овощей 10-15. Удобрения растворяются в 1-2 литрах воды. Лучшим способом является смачивание семян водным раствором из расчёта 1-2 литр на 1 ц семян.

Простой и двойной борные суперфосфаты рационально применять при посеве из расчёта 15-20 кг/га P_2O_5 .

Бор целесообразно вносить в подкормку многолетних бобовых культур путём опрыскивания в дозах от 50 до

150 г/га в фазе бутонизации, растворяя удобрения в 100-150 литрах воды.

В таблице 95 приведены рекомендуемые дозы бора под основные сельскохозяйственные культуры с учётом способов внесения.

Таблица 95

Дозы и способы применения бора под основные сельскохозяйственные культуры (Кротких Т.А., 2012)

Культуры	Внесение в почву, кг д.в. /га		Предпосевная обработка семян, г д.в./т	Некорневая подкормка, г д.в./га
	до посева	в рядки		
Зерновые	—	0,2	30-40	20-30
Зернобобовые	0,5-0,3	0,2	20-40	15-20
Бобовые (клевер, люцерна)	0,5-0,5*	0,1	20-40	25-50*
Лён	0,3-0,25*	0,1	50-60	5-10
Свёкла и корнеплоды	0,5-1,0*	0,15	120-150*	25-35
Картофель	0,5	—	50-100*	—

*— данные кафедры агрохимии ПГСХА

Эффективность борных удобрений. Необходимость внесения борных удобрений проявляется, прежде всего, на дерново-глеевых и темноцветных заболоченных почвах, а также на известкованных дерново-подзолистых и насыщенных основаниями почвах.

Использование борных удобрений на почвах с низким содержанием доступных форм бора полностью устраняет заболевание корнеплодов гнилью сердечка и дуплистостью корня, льна — бактериозом, картофеля — паршой, плодовых — суховершинностью деревьев, пятнистостью и опробковением плодов. В корнеплодах сахарной свёклы при внесении бора увеличивается содержание сахара, в клубнях картофеля — крахмала, улучшается качество волокна льна, повышается количество белка в бобовых, сахара и витаминов в овощах, ягодах и плодах.

Эффективность борных удобрений зависит от содержания подвижного бора в почве, биологических особенностей культур (табл. 96, 97, 98).

Возможные прибавки урожайности разных культур на дерново-подзолистых и серых лесных почвах Предуралья, (т/га) при внесении бора в почву: кормовая и столовая свёкла – 3-4; семена клевера, люцерны – 0,1-0,15; сено многолетних трав – 0,4-1,2; капуста – 2,5-3,0; морковь – 3,0-4,5.

Таблица 96

Эффективность бора на разных культурах в связи с его содержанием в почвах (Кротких Т.А., 2012)

В, мг/кг почвы	Прибавки, %			
	Лён		Клевер	Пшеница
	семена	соломка		
< 0,25	10-20	15-20	–	–
0,25-0,5	5-12	3-12	8-17	8-12
0,5-0,7	3-11	9	4-5	7-8
> 0,7	0-5	0,0	–	1-3

Таблица 97

Эффективность борных удобрений на дерново-подзолистых почвах (Агрохимия, 2002)

Культура	Средняя урожайность, т/га	Прибавка от бора, т/га
Сахарная свёкла	24,6	3,8
Лён (семена)	0,56	0,12
Картофель	21,6	4,0
Морковь	33,4	5,6
Капуста	49,2	12,4
Томат	55,7	5,1

Таблица 98

Эффективность предпосевной обработки семян борными удобрениями (данные ВИУА)

Культура	Число опытов	Прибавка урожайности от бора, ц/га
Пшеница, зерно	18	1,5
Ячмень, зерно	12	1,3
Лён, соломка	15	6,6
Лён, семена	15	1,0
Сахарная свёкла	11	25,0
Кукуруза, зел. масса	12	63,0
Клевер, семена	14	0,5
Кормовые бобы	8	2,2

Применение бора на почвах бедных этим микроэлементом приводит к улучшению качества продукции: увеличивается содержание белка в зернобобовых и в бобовых культурах в отдельных случаях до 2%, каротина – до 3-5 мг, витамина С – до 5-6 мг, снижается содержание свободных нитратов. Самое главное – при внесении с макроудобрениями их применение экономически и энергетически выгодно даже при современных ценах на удобрения.

Роль и содержание молибдена в растениях, почвах и применение молибденовых микроудобрений

Физиологические функции молибдена. Ключевой биохимической функцией молибдена в растениях является его участие в азотном обмене. В растениях молибден входит в состав фермента нитратредуктазы и оказывает влияние на процессы восстановления нитратов до аммиака, который идёт на образование аминокислот и белков, участвует в биохимических процессах, связанных с фиксацией клубеньковыми и свободноживущими микроорганизмами атмосферного азота. При недостатке молибдена в растениях накапливается большое количество свободных нитратов, вредных для организма животных и человека. Молибден входит в состав фермента нитрогеназы, благодаря которой идёт связывание азота из атмосферы. Он входит в состав бактериальной ткани клубеньковых бактерий, азотобактера, фиксирующих молекулярный азот атмосферы. В клубеньках бобовых культур усиливается активность дегидрогеназ – ферментов, обеспечивающих приток водорода, который обеспечивает связывание азота атмосферы.

Хорошая обеспеченность молибденом способствует увеличению использования растениями фосфора, кальция, магния и других элементов, а также синтезу фосфорорганических соединений.

Молибденовое голодание хорошо видно на бобовых растениях, капусте, шпинате, салате, плодово-ягодных культурах. У бобовых вследствие слабой фиксации атмосферного азота листья желтеют и опадают. Важнейшим признаком недостатка молибдена у бобовых растений является хлороз листьев, приводящий к их засыханию. Листья становятся узкими, края их закручиваются вовнутрь, жилки становятся светло-зелёными. У овощных культур на старых листьях появляется ясно выраженная крапчатость. Участки ткани, где появились крапинки, впоследствии вздуваются, края листьев закручиваются внутрь. Вдоль краёв и на верхушках листьев начинается отмирание тканей. При резком недостатке молибдена у цветной капусты не образуются головки, у белокочанной – не завязывается кочан, у огурцов – хлороз листьев и скручивание с краёв кверху, в отдельных случаях отмирает точка роста.

Его недостаток наблюдается в тех случаях, когда содержание элемента в растениях меньше 0,1 мг/кг сухой массы.

Все указанные внешние признаки недостатка молибдена у растений связаны с его физиологической ролью. Таким образом, молибден в растениях необходим для образования аммиака, идущего на построение белков. Поэтому молибден называют микроэлементом азотного обмена растений. Он участвует в биосинтезе нуклеиновых кислот, пигментов, витаминов.

Содержание и вынос молибдена растениями. Содержание молибдена в растениях составляет от 0,1 до 50 мг/кг сухого вещества. Меньше всего содержат злаки 0,2-0,55 мг, зернобобовые от 0,28 до 9 мг/кг сухой массы, а бобовые (клевер, люцерна) от 0,22 до 18 мг/кг (табл. 99), в корнях люпина до 50 мг/кг сухой массы корней.

Таблица 99

Содержание молибдена в растениях, мг/кг сухого вещества
(Дерюгин И.П., 1998; Агрохимия, 2002)

Растение	Содержание молибдена	Растение	Содержание молибдена
Озимая пшеница (зерно)	0,20-0,55	Тимофеевка (сено)	0,40-0,81
Яровая пшеница: (зерно)	0,25-0,50	Клевер (сено)	0,28-3,50
Рожь (зерно)	0,20-0,54	Кукуруза (зелёная масса)	0,20-0,80
Ячмень (зерно)	0,39-0,46	Сахарная свёкла:	
Овес:		корни	0,10-0,20
зерно	0,28-0,74	листья	0,40-0,60
солома	0,74	Огурец (листья)	0,75-2,90
Горох (зерно)	0,70-8,40	Томат (листья)	0,26-0,48
Вика посевная (зерно)	1,20-2,51	Яблоня (листья)	> 0,16

Результаты анализа растений показали, что нормальное содержание молибдена в тканях вегетирующих надземных органах составляет 0,5-5,0 мг/кг сухой массы. У небобовых культур оно варьирует в пределах 0,3-1,5 мг/кг, у бобовых – от 1 до 5 мг/кг сухой массы.

Наибольшее количество молибдена содержится в вегетативной массе растений, меньше – в репродуктивных органах. К числу культур с более высоким содержанием молибдена также относятся: томат, салат, капуста, сахарная свёкла и лён.

С площади 1 га бобовые культуры при урожайности 10 ц зерна выносят 3-5 г, а злаковые – 0,2-0,3 г. Средний вынос молибдена с урожаями сельскохозяйственных культур составляет от 1 до 10 г/га (табл. 100).

Таблица 100

Вынос молибдена с урожаями сельскохозяйственных культур, г/га
(Кидин В.В., 2009)

Культуры	Вынос молибдена
Зерновые	0,6-6
Картофель	0,7-6
Свёкла:	
сахарная	4-20
кормовая	4-20
Клевер красный	5-10
Люцерна	5-20

Молибден в почвах. Молибден в почвах находится в составе органического вещества, в составе минералов: молибденит (MoS_2), вольфенит (PbMoO_4), повелит ($\text{Ca} \times \text{MoO}_4$) и молибдат (MoO_3), на поверхности коллоидных частиц – обменный и водорастворимый в виде солей молибденовых кислот.

Общее молибдена содержание в почвах варьирует от 1 до 5 мг/кг, составляя в среднем 2,5 мг/кг почвы (табл. 101). Содержание его зависит от типа почв, их гумусированности, степени оподзоленности и гранулометрического состава.

Таблица 101

Общее содержание молибдена в различных почвах (Анспок П.И., 1981)

Почва	Содержание, мг/кг почвы
Дерново-подзолистая	2,1
Лесостепная	2,5
Чернозем	4,6
Каштановая	1,1
Засолённая	0,95
Серозем	1,3

Для земледелия наибольшее значение имеет содержание молибдена в почве в доступной форме для растений. Содержание подвижного молибдена составляет от 0,05 до 0,5 мг/кг почвы (табл. 102).

Таблица 102

Содержание подвижного молибдена в различных почвах
(Анспок П.И., 1981)

Почва	Содержание, мг/кг почвы
Дерново-подзолистая:	
песчаная	0,05
супесчаная	0,14
суглинистая	0,25
Серая лесная	0,32
Чернозем мощный	0,46
Темно-каштановая	0,42
Каштановая	0,45
Серозем типичный	0,50

Дерново-подзолистые почвы Пермского края бедны подвижным молибденом. В пахотном слое этих почв содержание его колеблется от 0,04 до 0,40 мг/кг почвы. Более богаты молибденом серые лесные и чернозёмы (от 0,16 до 0,72 мг/кг).

Подвижность соединений молибдена в почвах зависит от реакции среды. Нейтральная и щелочная среда повышает подвижность молибдена. На кислых дерново-подзолистых и серых лесных почвах при высоком содержании алюминия, железа и марганца подвижный молибден переходит в неусвояемое состояние в 3-х замещённые молибдаты железа и алюминия. Известкование кислых почв способствует образованию подвижных форм молибдена и усвоению его растениями за счёт выпадения в осадок железа и алюминия.

Характеристика молибденовых удобрений. В качестве молибденовых удобрений используют молибденсодержащие соли и различные отходы промышленности, включающие молибден (табл. 103).

Таблица 103

Характеристика основных молибденовых удобрений

Удобрение	Содержание молибдена, %	Форма
Молибденовокислый аммоний, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \times 4\text{H}_2\text{O}$	52-54	Водорастворимая
Молибдат аммония-натрия, $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \times \text{Na}_2\text{MoO}_4$	35-36	Водорастворимая
Суперфосфат простой гранулированный с молибденом	0,1	Водорастворимая
Суперфосфат двойной гранулированный с молибденом	0,2	Водорастворимая
Отходы электроламповой промышленности	5-8	Водорастворимая

Молибденовокислый аммоний $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \times 4\text{H}_2\text{O}$ – белое мелкокристаллическое вещество, кристаллы на солнце блестят, хорошо растворимое в подогретой воде до 50-60°, сильно сыпучее. Содержание молибдена 52-54%. Применяется для смачивания семян и некорневых подкормок.

Молибдат аммония–натрия $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \times \text{Na}_2\text{MoO}_4$ – беловато-желтоватого цвета аморфный порошок с наличием мелких кристаллов соды, при растворении в воде даёт эмульсию, напоминающую молоко. Содержание молибдена 36%. Применяется для смачивания семян и некорневых подкормок.

Простой гранулированный суперфосфат с молибденом. По внешнему виду не отличается от обычного суперфосфата. В своём составе содержит 18,7-19,0% P_2O_5 и 0,1% Мо в воднорастворимой форме. Использовать как рядковое удобрение при посеве зернобобовых культур из расчёта 15-20 кг P_2O_5 на га.

Суперфосфат двойной гранулированный с молибденом. Гранулы серого цвета 2-3 мм округлой формы, в воде полностью не растворим, содержит 43% P_2O_5 и 0,2% Мо. Используется при внесении в рядки при посеве зернобобовых культур из расчёта 15-20 кг P_2O_5 на га.

Отходы электроламповой промышленности – порошок светло-серого цвета с содержанием молибдена 5-8%, не гигроскопичен, растворим в воде, можно использовать для внесения в почву, в подкормки растений. Молибденовые отходы пригодны для производства молибденизированного суперфосфата и нитрофоски.

Некоторые виды минеральных и органических удобрений содержат небольшое количество молибдена (табл. 104).

Таблица 104

Содержание молибдена в местных удобрениях, (на сухое вещество)
(Каталымов М.В., 1961; Анспок, П. И., 1981)

Виды удобрений	Мо мг/кг	Виды удобрений	Мо мг/кг
Навоз на постилке:		Зола:	
соломенной	1,1	берёзовых дров	3,1
торфяной	1,3	низинного торфа	3,3
Торф:		Известь:	
низинный	2,2	гажа	0,2
переходный	1,9	доломит	0,3
верховой	1,4		

Применение молибденовых удобрений. Молибденсодержащие удобрения целесообразно использовать в первую очередь на дерново-подзолистых кислых почвах под отзывчивые на молибден культуры: клевер, люцерна, салат, картофель, томат, белокочанная капуста, огурец по фону высоких доз минеральных удобрений, особенно по фону фосфора. В таблице 105 приведены рекомендуемые дозы молибдена под основные сельскохозяйственные культуры с учётом способов внесения.

Таблица 105

Дозы и способы применения молибдена под основные сельскохозяйственные культуры на почвах Пермского края

Культуры	Внесение в почву, кг д.в. /га		Предпосевная обработка семян, г д.в./т	Некорневая подкормка, г д.в./га
	до посева	в рядки		
Зерновые	0,5*	0,15	100-120	100-250
Зернобобовые (горох, вика)	0,5*	0,05	150-125*	30-75*
Клевер, люцерна	0,5-0,3*	—	500-100*	150*
Лён	0,5	—	150-160	150-250
Свёкла и корнеплоды	0,5	0,15	110-150*	100-200
Картофель	—	—	—	25-30

*— данные кафедры агрохимии ПГСХА

Самым простым и экономически выгодным является предпосевная обработка семян (табл. 106, 107).

Таблица 106

Эффективность молибдена при обработке семян яровой вики на дерново-среднеподзолистых почвах в производственных опытах (Кротких Т.А., 2012)

Место и годы проведения опытов	Урожайность зерна, ц/га		Урожайность зелёной массы, ц/га	
	без Мо	Мо 25 г/га	без Мо	Мо 25 г/га
Карагайский ГСУ, 1959 г.	9,0	15,9		
Учхоз «Липовая гора», 1961 г.	6,7	8,7	44,6	61,8
—//— —//—	4,9	7,0	23,2	44,9
Колхоз «Горд Кужим», 1961 г.	11,3	16,4	53,4	105,2
Колхоз им. Куйбышева, 1961 г.	2,4	3,1	20,2	24,9

Эффективность предпосевной обработки семян молибденовыми удобрениями (данные ВИУА)

Культура	Число опытов	Прибавка урожайности от молибдена, ц/га
Ячмень, зерно	12	2,0
Лён, соломка	15	4,5
Лён, семена	15	0,7
Сахарная свёкла	11	18,2
Кукуруза, зел. масса	12	54,0
Клевер, семена	14	0,5
Кормовые бобы	8	2,7

Молибденовокислый аммоний применяют из расчёта на 1 ц гороха – 25 г, яровой вики – 50 г, клевера и люцерны – 500 г. Указанные дозы молибденовокислого аммония растворяют в 1-2 литрах тёплой воды. Семена рассыпают слоем 10-15 см на ровной поверхности (плотный пол или брезент), опрыскивают из опрыскивателя в 2-3 приёма, хорошо перемешивают, проветривают. Смачивание семян раствором молибденовокислого аммония можно проводить в день посева или за несколько дней при условии хорошего просушивания. Обработку семян молибденом можно сочетать с обработкой ризоторфином.

Вместо молибденовокислого аммония можно использовать молибдат натрия-аммония. При замене молибденовокислого аммония молибдатом натрия-аммония рекомендуемые выше указанные дозы необходимо увеличить на $\frac{1}{3}$. Однако нельзя допускать и превышения доз, снижается всхожесть семян.

Некорневое внесение молибдена проводится в период вегетации, когда вегетативная масса достаточно хорошо покрывает поверхность почвы. Дозы молибденовокислого аммония на клевере 300 г, яровой вике – 150 г, горохе и бобах – 75 г на гектар. Указанные дозы растворяются в 500-600 литрах воды. Внесение проводят опрыскивателями.

В овощеводстве молибден целесообразнее всего применять при выращивании рассады, а также при некорневых подкормках. Под действием молибдена у помидоров повышается устойчивость против бурой пятнистости.

Дозы молибденовокислого аммония: под цветную капусту 0,4 г на 1 м², белокочанную капусту, помидоры – 0,4 г на 2,5 л воды. Некорневую подкормку капусты и помидоров можно проводить и в открытом грунте из расчёта 200 мг соли на 1 л воды, расход раствора 400-500 л на га. Из ягодников на молибден отзывчива земляника.

Эффективность молибденовых удобрений. Эффективность молибдена зависит от биологических особенностей растений, содержания подвижного молибдена в почве, доз и способов применения.

Исследованиями Т.А. Кротких установлено, что высокая эффективность молибдена при внесении под яровую вику и горох наблюдалась на почвах с содержанием меньше 0,33 мг/кг; лучшим способом является смачивание семян растворами солей. В опытах с яровой викой на дерново-мелкоподзолистых почвах Пермского края обработка семян молибденом повышала урожайность зерна на 3,4 ц, сена – на 5,9 ц с гектара.

Подкормка рассады капусты молибденовокислым аммонием обеспечивала повышение урожайности на 10-50%, подкормка томатов 0,01-0,001% раствором – на 15-27%.

По данным опытов кафедры растениеводства Пермского сельскохозяйственного института (ныне академия), молибден резко повышал урожайность клевера, люцерны, бобов. Так, в этих опытах прибавка зелёной массы клевера по годам составляла от 51 до 90 ц/га, люцерны – от 39 до 86 ц/га (Корляков Н.А., 1968).

Применение молибдена на кислых почвах повышает урожайность семян гороха на 0,3-0,4 т/га, сена клевера и вики – соответственно, на 0,8-1 и 0,7-0,9, семян клевера – на 0,05-0,1, моркови – на 7-8 т/га, салата, редиса и капусты – на 20-30%.

Под влиянием молибдена значительно улучшается и качество продукции: увеличивается содержание белка в зерне и сене бобовых культур, витаминов и сахара в овощах. По данным Т.А. Кротких, содержание белка в сене вики повышалось на 2,8%, каротина – на 2,5-10 мг/кг, значительно снижалось содержание клетчатки.

Наиболее эффективно применение молибдена под зерновые бобовые и овощные культуры, многолетние и однолетние бобовые травы, на лугах и пастбищах с бобовым компонентом в травостое на кислых дерново-подзолистых, серых лесных почвах (табл. 108).

Таблица 108

Средние прибавки урожая бобовых культур
от применения молибдена, т/га (данные ВИУА)

Культура	Дерново-подзолистые почвы		Серые лесные почвы	
	число опытов	прибавка от Мо	число опытов	прибавка от Мо
Горох (зерно)	34	0,29	22	0,36
Вика:				
зерно	10	0,51	14	0,49
зелёная масса	2	3,40	9	5,16
Соя (зерно)	13	0,27	1	0,19
Кормовые бобы (зерно)	22	0,49	5	0,32
Клевер:				
сено	58	1,30	–	–
семена	18	0,08	–	–
Люцерна (семена)	15	0,93	9	1,82

Подвижных форм молибдена в кислых почвах очень мало, так как при кислой реакции он находится в недоступной для растений форме. При известковании кислых почв увеличивается подвижность молибдена в почве и его доступность для растений, уменьшается или полностью устраняется потребность в молибденовых удобрениях.

Если в почве содержание молибдена больше 0,5 мг/кг почвы, дополнительное внесение молибдена нецелесообразно и может оказать вредное действие на организм животных через растение.

Роль и содержание кобальта в растениях, почвах и применение кобальтовых микроудобрений

Физиологические функции кобальта. Кобальт относится к числу редко рассеянных тяжёлых металлов. В природе преобладают соединения 2-валентного кобальта, встречается большое количество изотопов с массой ^{60}Co .

В середине XX века кобальту было посвящено большое количество научных исследований за рубежом и в России. Он был найден в горных породах, почвах, воде, в составе живых организмов: микроорганизмов, животных, растений и человека.

В жизни растений кобальт, прежде всего, оказывает влияние на растяжимость тканей клеток в первоначальные фазы развития. Кобальт входит в состав витамина B_{12} . Его активность при достаточном количестве кобальта в 100000 раз выше, чем неорганического. Это имеет огромное значение для животных и человека. Витамин B_{12} , получаемый с кормами и продуктами питания, из желудочно-кишечного тракта животных и человека всасывается в кровь и участвует в процессах кроветворения. Содержание кобальта в витамине B_{12} – 4,5%.

Недостаток витамина В₁₂ в продуктах питания человека приводит к заболеванию злокачественным малокровием, при котором наблюдается постепенное уменьшение содержания гемоглобина в крови.

При недостатке кобальта в кормах меньше 0,25 мг/кг сухого вещества крупный рогатый скот, овцы, козы, особенно молодняк, заболевают сухоткой или акогобальтозом. Сущность заболевания проявляется в потере животными аппетита, истощении организма, грубошёрстности, слабости. Пороговая концентрация кобальта в кормах для животных 0,25-1,00 мг/кг сухой массы, а > 1,00 мг является избыточной (Ковальский В.В., 1970).

Кобальт активизирует работу фосфатаз, альдолазы, органы, глицил-глициндепоптидазы, ферментов белкового обмена – лецитиназы и аминопептидазы. Работами Б.А. Ягодина (1970) показана роль кобальта в фиксации молекулярного азота клубеньковыми бактериями, описан химизм восстановления N₂ до NH₃ в растениях. Кобальт играет определенную роль при заболевании людей эндемическим зобом в соотношении с йодом и медью. Нормальное соотношение в продуктах питания: йода 0,2; кобальта 0,32; меди 6,2 мг на кг сухого вещества, а отношение кобальта 3,2 части к 1 части йода может оказывать тормозящее действие на функцию йода.

В значительных количествах кобальт накапливается в пыльце растений, ускоряет её прорастание. В кобальте особенно нуждаются бобовые культуры, он усиливает деятельность клубеньковых бактерий; из злаковых растений – ячмень.

Кобальт в растениях. Содержание кобальта в растениях изменяется от 0,03 до 0,85 мг/кг сухого вещества, составляя в среднем 0,25 мг/кг (табл. 109).

Таблица 109

Содержание кобальта в растениях, мг/кг сухого вещества
(Агрохимия, 2002)

Растение	Содержание кобальта	Растение	Содержание кобальта
Озимая пшеница (зерно)	0,06-0,10	Клевер	0,13-0,42
Яровая пшеница (зерно)	0,05-0,13	Люцерна (сено)	0,20-0,85
Рожь (зерно)	0,05-0,21	Кукуруза (зелёная масса)	0,07-0,40
Ячмень (зерно)	0,05-0,11	Сахарная свёкла:	
Овес (зерно)	0,02-0,14	корни	0,05-0,29
Горох (зерно)	0,12-0,35	листья	0,25-0,50
Вика посевная (зерно)	0,17-0,44	Картофель (клубни)	0,14-0,69
Тимофеевка	0,05-0,28	Капуста (кормовая)	0,04-0,20

Согласно данным Б.А. Ягодина (2002), содержание кобальта в зерне яровых зерновых растений составляет 0,05-0,14 мг/кг сухого вещества, в озимой ржи – до 0,21 мг; в зернобобовых – 0,12-0,44 мг; в бобовых (клевер, люцерна) – 0,13-0,85 мг; картофеле – 0,14-0,69 мг; в корнеплодах – 0,06-0,35 мг/кг сухой массы. Содержание кобальта в растениях в большей степени зависит от вида растений, а не от типа почвы.

Вынос кобальта сельскохозяйственными культурами приведён в таблице 110.

Таблица 110

Вынос кобальта с урожаем сельскохозяйственных культур, г/га
(Агрохимия, 2002)

Культуры	Вынос Со	Культуры	Вынос Со
Зерновые	1-2	Клевер красный	2-3
Картофель	1-5	Люцерна	2-5
Свёкла:		Травостой:	
сахарная	2-8	сенокосов	1-2
кормовая	2-8	пастбищ	1-3

Недостаток кобальта растения испытывают на всех типах почв, хорошо обеспеченных всеми макроэлементами, с реакцией, близкой к нейтральной. Не нуждаются в нем растения, если на поле внесён навоз, так как с ним в почву поступает довольно большое его количество.

Кобальт в почвах. Содержание кобальта в почвах зависит от материнских пород, типа почв, их гранулометрического состава и антропогенного фактора. Валовое содержание кобальта в почвах составляет 5,0 – 20,0 мг/кг; подвижного от 0,5 до 6,0 мг/кг. Меньше всего его содержат дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы, наибольшее – горнолесные и почвы дернового типа (серые лесные, дерново-глееватые, дерново-карбонатные) тяжёлого гранулометрического состава. С уменьшением степени оподзоленности возрастает содержание подвижного кобальта. Подвижность кобальта в почве и доступность его растениям зависит от температурного и водного режимов. В засушливые годы содержание подвижного кобальта в почве и потребление его растениями значительно меньше, нежели во влагообеспеченные годы.

В Пермском крае почвы с очень низкой и низкой обеспеченностью подвижным кобальтом занимают 32,5% площади пашни, со средней – 55,3% и лишь 12,2% высоко обеспечены. Из этого следует, что территорию края следует отнести к провинции с низкой обеспеченностью почв и кормов кобальтом.

Кобальтовые удобрения. В качестве кобальтовых удобрений используют химически чистые соли: сернокислый, азотнокислый и хлористый кобальт, а также промышленные отходы (табл. 111).

Таблица 111

Характеристика основных кобальтовых удобрений

Удобрение	Содержание кобальта, %	Форма
Сернокислый кобальт $\text{CoSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$.	20-21	Водорастворимая
Хлористый кобальт $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	21,2-24,8	Водорастворимая
Азотнокислый кобальт $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \times 5\text{H}_2\text{O}$	20,3	Водорастворимая

Сернокислый кобальт $CoSO_4 \times 7H_2O$. В своём составе содержит 20-21% кобальта. По внешнему виду кристаллы бруснично-розового цвета, сильно гигроскопичны.

Хлористый кобальт $CoCl_2 \times 6H_2O$. Красное кристаллическое вещество, сильно гигроскопичное, хорошо растворимо в воде при температуре 20°C, содержание Co 21,2-24,8%.

Азотнокислый кобальт $Co(NO_3)_2 \times 5H_2O$ – крупнокристаллическое вещество красного цвета, при внесении в почву приобретает фиолетовый цвет, хорошо растворимо в воде, сильно гигроскопичное, содержание Co 20,3%.

Сульфат, хлорид и нитрит кобальта хорошо растворимы в воде. Эти удобрения необходимо применять для обработки семян и некорневых подкормок, при внесении в почву в составе комплексных и местных удобрений.

Примесь кобальта есть и в других удобрениях (табл. 112).

Таблица 112

Содержание кобальта в некоторых удобрениях (на сухое вещество)
(Каталымов М.В., 1961; Анспок, П. И., 1981)

Виды удобрений	Co, мг/кг	Виды удобрений	Co, мг/кг
Зола:		Фосфоритная мука	6,7-54,0
хвойных пород	5,4-5,9	Мел	2,2
лиственных пород	7,1-7,3	Дунит	27,8
каменного угля (Донбасс)	11,0	Колчеданный огарок	145,0
Торф:	2,0-4,1	Суперфосфат (из фосфоритов Кара-Тау)	10,6
низинный			
верховой	1,5	Навоз подстилочный	1,1-1,6

Применение кобальтовых микроудобрений. На почвах края, кобальтовые удобрения можно применять под лён, клевер, ячмень, горох, лук, белокочанную капусту. Дозы и способы применения кобальтовых удобрений под основные сельскохозяйственные культуры приведены в таблице 113.

Доза кобальта для смачивания семян зерновых составляет 25-50 г на ц, которую растворяют в 2,5 л воды; для клевера 10 г на гектарную норму высева семян растворяются в 0,5-1,0 л воды. Семена рассыпают тонким слоем (10-15 см) на выровненной поверхности и опрыскивают из опрыскивателя в 2-3 приёма, затем хорошо просушивают.

Таблица 113

Дозы и способы применения кобальта под основные сельскохозяйственные культуры (Кротких Т.А., 2012)

Культуры	Внесение в почву, кг д.в./га		Предпосевная обработка семян, г д.в./т	Некорневая подкормка, г д.в./га
	до посева	в рядки		
Зерновые	0,30-0,50*	0,1	25-50*	—
Зернобобовые (горох, вика)	0,15-0,30	—	40-50	25-50
Клевер на сено	—	—	250*	50*
Свёкла и корнеплоды	0,15-0,30	0,1	100-120	50-100
Картофель	0,30	—	15-25*	15-25

*— данные кафедры агрохимии ПГСХА

Эффективность кобальтовых удобрений. На применение кобальтовых удобрений отзывчивы пшеница, ячмень, лён, озимая рожь, свёкла, капуста и виноград. На дерново-подзолистых почвах внесение кобальтовых удобрений повышало урожайность семян льна на 0,7-1,5 ц/га, льносоломки 3-5 ц/га, повысилась устойчивость льна к поражению ржавчиной. Прибавка урожайности зерна ячменя от предпосевного смачивания и опудривания семян сернокислым кобальтом составила 1,6-3,8 ц/га; сена клевера — 10,7-21,9 ц/га. Обогащение кормовых культур кобальтом ликвидирует необходимость его использования в качестве кормовых добавок.

Кобальт оказывает положительное влияние на качество культур. Применение кобальта на яровой пшенице повысило содержание белка и сырого протеина и снизило количество клетчатки (табл. 114).

Таблица 114

Влияние кобальта на качество зерна яровой пшеницы
(среднее за 2 года) (Кротких Т.А., 2012)

Вариант	Содержание, %					
	общего азота	белкового азота	небелкового азота	протеина	белка	клетчатки
НРК (фон)	2,3	2,0	0,27	14,2	11,57	3,18
Фон + Со	2,58	2,15	0,41	16,36	12,28	2,81

Применение кобальтовых удобрений на виноградниках увеличивало массу ягод в среднем на 35%, сахаристость – на 14%, и снизило кислотность на 10%. Отмечено положительное влияние кобальта на капусте (табл. 115).

Таблица 115

Влияние кобальта на урожайность ранней капусты и её химический состав (Кротких Т.А., 2012)

Вариант опыта	Урожайность		Сухое вещество, %	Сахар, %	Аскорбиновая кислота, мг %
	ц/га	% к контролю			
Контроль	391	100	5,4	2,20	28,2
Кобальт	458	117	7,0	3,85	33,0

Роль и содержание меди в растениях, почвах и применение медных микроудобрений

Физиологические функции меди. В природе медь встречается в горных породах, в воде и во всех живых организмах. Она участвует в процессах дыхания, входит в состав ферментов полифенолоксидаз, участвующих в окислительных и восстановительных процессах, способствует синтезу белков, сахаров пентозанов и жира.

Доказано значение меди в переработке аммиака в белок, описана взаимосвязь между действием гетероауксина и меди, повышая всхожесть семян, когда её меньше в семенах.

Медь принимает участие в азотном обмене, входя в состав нитритредуктазы, который способствует связыванию бобовыми молекулярного азота атмосферы, усвоению всеми культурами азота почвы и удобрений. Она принимает участие в образовании медьсодержащих белков и ферментов. Важнейшим медьсодержащим белком является – пластоцианин. Хорошо изучен медьсодержащий фермент – цитохромоксидаза. Она стабилизирует действие хлорофилла и задерживает процесс старения листа. Регулирует содержание в растениях и активность ауксинов и ингибиторов роста фенольной природы.

При недостатке меди повышается интенсивность дыхания, что ведёт к разрушению хлорофилла, снижению образования углеводов. Это приводит к хлорозу листьев, к побелению их кончиков, зерновые легче поражаются шведской мухой.

Недостаток меди в кормах отрицательно влияет на рост и развитие животных. Анализами кормов установлено, когда содержание меди в сене менее 3-4 мг/кг сухой массы, крупный рогатый скот заболевает «лизухой». Поэтому очень важно получать корма с достаточным содержанием меди.

При остром недостатке меди для растений характерны специфические заболевания: болезнь верещатиков (Германия) и белая чума или пустозёрность (в России).

Медное голодание бывает хорошо заметно на зерновых культурах, особенно на торфяных почвах. Растения злаковых приобретают бледно-зелёную окраску, усиленно кустятся вследствие отмирания точки роста стебля, кончики листьев белеют, не формируется зерно в колосе. От недостатка меди страдают горох, вика, горчица, рис, яблоня, груша, слива. Болезнь плодово-ягодных культур – “экзантема” или “суховер-

шинность”. У плодовых древесных культур образуется большое количество молодых побегов с хлоротичными пятнистыми листьями, кора трескается, выделяется смола, верхние побеги отмирают и погибают. Признаки недостатка проявляются, прежде всего, на более молодых частях растений.

Медь в растениях. Содержание меди в различных растениях колеблется в широких пределах (табл. 116).

Таблица 116

Содержание меди в растениях, мг/кг сухого вещества
(Каталымов М.В., 1961; Анспок, П. И., 1981)

Растение	Содержание меди	Растение	Содержание меди
Озимая пшеница (зерно)	3,7-10,2	Кукуруза (зелёная масса)	3,0-11,5
Яровая пшеница:		Сахарная свёкла:	
зерно	4-13,0	корни	5-7
солома	1,5-3,0	листья	6,9-8,4
Рожь (зерно)	3,4-18,3	Картофель (клубни)	3,6-8,2
Ячмень:		Картофель (ботва)	18,0
зерно	3,9-14,3	Капуста (кормовая)	3,5-6,9
солома	3,8-6,6	Капуста белокочанная	3,0-4,5
Овес:		Салат	5,0-8,0
зерно	3,6-13,9	Свёкла столовая	5,0-8,5
солома	3,7-7,5	Морковь столовая	4,0-8,5
Горох (зерно)	5,2-23,3	Лук репчатый	4,0-6,0
Вика посевная (зерно)	5,4-12,2	Огурец	8-12
Люцерна (сено)	6,2-20,3	Томат	8-18
Тимофеевка (сено)	5,8-26,3	Яблоня (листья)	5-20
Клевер (сено)	4,5-20,8	Земляника (листья)	8,5-9,5

Много меди в зерновых. Больше всего в зерне озимой ржи – от 3,4 до 18,3 мг; ячменя – до 14 мг/кг, а в сене тимopheевки – до 26,3 мг, меньше в картофеле, корнеплодах, овощах. Содержание меди в растениях зависит от наличия меди в почвах, типа почвы, биологических особенностей культур и применения медных удобрений.

Вынос меди некоторыми культурами приведён в таблице 117.

Вынос меди с урожаем сельскохозяйственных культур, г/га
(Каталымов М.В., 1961; Анспок, П. И., 1981)

Культуры	Вынос меди	Культуры	Вынос меди
Зерновые	7,3-70	Клевер красный	70-114
Картофель	40-169,4	Люцерна	70-90
Свёкла:		Травостой:	
сахарная	52,5-120	сенокосов	30-60
кормовая	20-120	пастбищ	48-65

Медь в почвах. Общее содержание меди в почвах зависит от минералогического и гранулометрического состава почвообразующих пород. В почвах, сформированных на магматических горных породах, содержание меди может достигать 80-120, на осадочных породах – 5-40 мг/кг. Для характеристики уровня обеспеченности сельскохозяйственных культур медью учитывают содержание подвижной меди. Количество подвижной меди составляет примерно 5-10% от общего её содержания.

Согласно исследований В.В. Ковальского (1969), на почвах с содержанием менее 6-15 мг валовой меди животные страдают анемией, лизухой, заболеванием костной системы, отмечается полегаемость и невызреваемость злаков, сухoverшинность плодовых деревьев. Оптимальным следует считать содержание меди от 15 до 60 мг/кг почвы, токсичным – свыше 60. Использование медных удобрений зависит от содержания меди в почве в усвояемой форме.

В дерново-подзолистых и серых лесных почвах Пермского края валовое содержание меди изменяется от 1,5 до 20 мг, подвижной – от 0,9 до 5,3 мг/кг. Меньше всего меди в дерново-подзолистых почвах лёгкого гранулометрического состава, а больше – в серых лесных и чернозёмах оподзоленных – более 5 мг/кг. Недостаток меди проявляется в посевах на дерново-глееватых и оторфованных почвах Пермского края.

Характеристика медных удобрений. В качестве медных удобрений применяют пиритные огарки, сернокислую медь, меднокалийные удобрения (табл. 118).

Таблица 118

Характеристика основных медных удобрений

Удобрение	Содержание меди, %	Форма
Сернокислая медь (медный купорос) $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$	25,4	Водорастворимая
Пиритные огарки $\text{CuSO}_4 \times \text{Cu}(\text{OH})_2 \times \text{CuS}_2$	0,25	Лимоннорастворимая
Меднокалийные удобрения	1,0	Водорастворимая

Сернокислая медь (медный купорос) $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ в своём составе содержит 25,4% меди. По внешнему виду кристаллическая голубовато-синего цвета соль, хорошо растворима в воде.

Пиритные огарки $\text{CuSO}_4 \times \text{Cu}(\text{OH})_2 \times \text{CuS}_2$ – это отход химической промышленности, рассыпчатый аморфный порошок вишнёвого, тёмного цвета. В своём составе содержит медь в усвояемой для растений форме от 0,3 до 0,7%, небольшое количество примесей цинка, кобальта и молибдена. Применяют в первую очередь на осушенных болотах. Вносят в почву под зяблевую вспашку в дозах 5-6 ц/га один раз в 5-6 лет.

Меднокалийные удобрения – обогащённый хлористый калий сернокислой медью (56,8% K_2O и 1,0% Cu), мелкокристаллический порошок, предназначенный для внесения в почву под культивацию под зерновые, кормовые и овощные культуры на дерново-глебоватых и торфоболотных почвах.

Медь поступает в почву и с органическими удобрениями (табл. 119).

Таблица 119

Содержание меди в местных удобрениях (на сухое вещество),
(Каталымов М.В., 1961; Анспок, П. И., 1981)

Виды удобрений	Сu, мг/т	Виды удобрений	Сu, мг/т
Торф: низинный	1,9	Навоз подстилочный на соломистой подстилке	2,1
переходный	1,6	Зола	6,0
верховой	0,9		

Применение медьсодержащих удобрений. Дозы и способы применения медных удобрений приведены в таблице 120.

Таблица 120

Дозы и способы применения меди под основные сельскохозяйственные культуры на дерново-подзолистых и серых лесных почвах

Культуры	Внесение в почву, кг/га		Предпосевная обработка семян, г/т	Внекорневая подкормка, г/га
	до посева	в рядки		
Зерновые	0,5-1,0	0,2	170-180	20-30
Свёкла и кормовые корнеплоды	0,8-1,5	0,3	80-120	70
Зерновые бобовые	—	—	120-160	20-25
Овощи и картофель	0,8-1,5	0,0	—	20-25
Кукуруза	3,0	0,5	120-140	20-30
Люцерна, клевер	3,0	1,5	150-160	20-35

Для внесения в почву целесообразно использовать пиритные огарки из расчёта 1,0-1,5 кг д.в. на га или меднокалийные из расчёта по K_2O 60-90 кг/га. Сернокислую медь лучше всего использовать для предпосевной обработки семян методом смачивания или намачивания с экспозицией 6-12 часов 0,01-0,02% растворе, это 50-100 г $CuSO_4 \times 5H_2O$ на 1 литр воды, для некорневых подкормок – 0,02-0,05% раствор 200-400 л/га. Пиритные огарки вносят 1 раз в 4-5 лет с осени под зяблевую обработку почвы (0,8-1,5 кг Cu на 1 га) или весной, не позднее, чем за 10-15 дней до посева.

Эффективность меди. Эффективность применяемых медных удобрений в значительной степени зависит от содержания доступной меди в почвах и особенностей растений. 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 – непереносимое условие получения высоких урожаев. Зерновые культуры на торфяниках без медных удобрений дают ничтожные урожаи зерна (0,2-0,3 т/га), а при их внесении урожайность повышается до 2,5 т/га. Хорошо отзываются на медь также лён, конопля, сахарная свёкла, подсолнечник, горчица, горох, тимopheевка; менее отзывчивы кормовая и столовая свёкла, турнепс, морковь. Медные удобрения положительно влияют и на качество продукции: увеличивается содержание белка в зерне, сахара в корнеплодах, витамина С в плодах и овощах. Наиболее устойчивы к недостатку меди картофель, капуста и рожь.

На дерново-подзолистых и серых лесных почвах при внесении меди прибавки урожая на зерновых достигают 2-6 ц/га, на чернозёмах и каштановых – 1,5-3,0 ц/га. Внесение меди на картофеле и сахарной свёкле увеличивает урожайность на 8-12%, многолетних бобовых и злаковых трав – 10-22%.

Эффективность меди на почвах Предуралья изучена крайне недостаточно. В единичных опытах В.А. Новосельского в 1936 году на дерново-глееватой тяжелосуглинистой почве с пшеницей в варианте с NPK урожайность зерна составила 12,9 ц, а там где вносили NPK и 2,5 ц пиритного огарка, – 15,6 ц/га.

В опытах А.А. Ламанова (1967) при внесении меди 1 кг/га на дерново-мелкоподзолистых и серых лесных почвах

прибавка урожайности зерна яровой пшеницы была на уровне 8%, на кукурузе ещё ниже, всего 4,7%, то есть они слабо реагировали на медьсодержащие удобрения.

В опытах Т.А. Кротких с белокочанной капустой на дерново-глебоватых почвах совхоза Верхнемуллинский по высокому фону NPK (около 300 кг га) положительного действия меди также не получено. Добавление меди к другим микроэлементам приводило к снижению и их положительного действия. Это связано с тем, что материнские породы почв, расположенных около Перми, богаты медью.

Исследования, проведённые в Белоруссии, Кировской и других областях, свидетельствуют о том, что вносить медные удобрения на чернозёмах, серых лесных, дерново-подзолистых почвах не эффективно. Высокая эффективность отмечается на торфяных, лугово-болотных, дерново-глебоватых и других высокогумусных болотных почвах.

Согласно исследованиям [23], почвы Пермской области (в настоящем край) содержат в основном от 1,2 до 5,3 мг/кг усвояемой меди, их можно считать среднеобеспеченными усвояемой медью и ожидать высокой эффективности от медьсодержащих удобрений нельзя, но при определенных условиях они без сомнения могут быть включены в систему применения удобрений:

- это при известковании почв, которое обуславливает снижение содержания усвояемой меди, переводя её в осадок;
- по фону высоких доз основных макроэлементов;
- обязательно на почвах лёгкого гранулометрического состава, торфяниках и на почвах, расположенных на ландшафтах с близким залеганием грунтовых вод.

Роль и содержание цинка в растениях, почвах и применение цинковых микроудобрений

Физиологическая роль цинка. Цинк является необходимым элементом в жизни растений. Он входит в состав ферментов и принимает участие в жизненно важных реакциях, протекающих в клетках растений. Роль цинка в жизни растений связана с наличием его в составе 30 ферментов и более 200 ферментов активизирует. Цинк участвует в образовании предшественников хлорофилла – железопорфиринов и протопорфиринов; при его недостатке нарушается в растениях превращение минеральных соединений фосфора до органического, снижается образование АДФ и АТФ кислот, замедляется транспорт фосфора из корней в наземные органы. При недостатке цинка в растениях накапливаются редуцирующие сахара, и уменьшается содержание сахарозы, крахмала, увеличивается количество органических кислот, снижается содержание ауксина, нарушается синтез белка, накапливаются амиды и аминокислоты.

Входит в состав фермента карбогидразы, который расщепляет угольную кислоту на углекислый газ и воду. Цинк усиливает активность каталазы, пероксидазы, липазы, протеазы, инвертазы. Благодаря этим ферментам происходит белковый, липоидный, углеводный, фосфорный и другой обмен.

Цинк способствует образованию витаминов С (аскорбиновая кислота) и РР (никотиновая кислота), тимина, ростовых веществ. Требовательны к цинку кукуруза, лён, бобы, соя, фасоль, все плодово-ягодные культуры. При цинковой недостаточности резко снижается деление меристемических клеток и нарушается их растяжимость.

При недостатке цинка растения плохо развиваются и перестают расти. Резко выраженное цинковое голодание

приводит к заболеванию растений, особенно плодовых культур, кукурузы, овса. На листьях растений появляются хлоротичные пятна, которые становятся светло-зелёными, а у некоторых растений – почти белыми. У картофеля на листьях, стержнях листьев, стеблях появляются пятна серо-бурого и бронзового цвета. Ткань на таких участках как бы проваливается, а затем отмирает. Томаты заболевают бурой пятнистостью, образуются мелкие листья, у огурца снижается устойчивость к галловой нематоде.

Внешние признаки недостатка цинка хорошо видны на яблоне, вишне, сливе. На концах молодых побегов видны укороченные междоузлия, листья мелкие и скручивающиеся. Болезнь называли «розеточность». У плодовых культур при недостатке цинка через несколько лет отмирают ветки и не образуются плоды. При резком голодании медленно проходит образование хлорофилла, листья могут приобретать оранжево-красную окраску. Такое состояние листьев хорошо видно на смородине.

Цинк в растениях. Его содержание в растениях колеблется от десятитысячных до тысячных, а иногда и сотых долей процента на сухое вещество. Цинк является необходимым элементом в жизни растений. Из полевых культур наибольшее содержание цинка в зерновых – от 8,5 до 75 мг/кг и в сухой массе кукурузы – 14-180 мг/кг. Среди овощных культур богат цинком сельдерей, около 12 мг/кг зеленой массы, в петрушке – 4,8-7,76, салате, шпинате – 3-5 мг, столовой свёкле – 5,0 мг, моркови – 2,65 мг/кг и очень мало в белокочанной капусте до 1,3 мг, огурцах всего 1 мг и томатах в среднем 0,8 мг/кг сырой массы.

Цинк у растений больше содержится в вегетативной массе, меньше – в репродуктивных органах. В клубнях кар-

тофеля цинка содержится в 3-4 раза меньше чем в ботве, в листьях томата больше в 2,5 раза чем в плодах.

Вынос цинка с 10 т свежих овощей составляет: капуста – 32, морковь – 48, столовая свёкла – 74, петрушка – 92, сельдерей – 187, томаты – 38, огурцы – 3,3 г/га.

Много цинка содержит сахарная свёкла, подсолнечник, овёс. Овёс с урожаем зерна 20 ц и 21 ц соломы выносит 145 г, ячмень с урожаем 15 ц зерна и 20 ц соломы выносит 97 г цинка, яблоня – до 1,8 кг, кормовая свёкла – до 2 кг на гектар. Вынос отдельными культурами может быть до 2,25 кг/га и более.

Цинк в почвах. Валовое содержание цинка в почвах колеблется от 25 до 90 мг/кг почвы. Наибольшее содержание валового цинка найдено в высокогумусных чернозёмах – до 90 мг/кг. Меньше всего в дерново-подзолистых лёгкого гранулометрического состава – от 20 до 67 мг/кг (Ягодин Б.А., 2002). Бедны им карбонатные почвы, особенно зафосфаченные, вследствие систематического применения высоких доз фосфорных удобрений. На этих почвах потребность в цинковых удобрениях возникает чаще. Более подвижен и доступен растениям цинк в кислых почвах (табл. 121).

Таблица 121

Содержание подвижного цинка в почвах, мг/кг (Анспок П.И. 1981)

Почва	Содержание цинка
Дерново-подзолистая	2,0-4,0
Серая лесная	1,0-2,0
Серозем	0,2-0,6
Каштановая	0,2-0,5
Чернозем	0,4-0,8

В почвах Пермского края содержание подвижного доступного для растений цинка составляет от 0,2 до 3,5 мг/кг. Отмечается более высокое содержание цинка в коричнево-бурых глинистых почвах от 0,92 до 2,5 мг/кг и дерново-подзолистых от 0,5 до 3,3 мг/кг (Ламанов А.А., 1967).

Б.А. Ягодин и соавторы (2002) указывают, что на подвижность цинка влияет реакция среды и содержание глинистых минералов. При $pH < 6$ подвижность цинка возрастает, что приводит к его выщелачиванию в нижележащие горизонты почв. По обеспеченности подвижным цинком большую часть почв Пермского края следует отнести к бедным (обменного цинка $< 1,0$ мг/кг) и около одной четвертой – к среднеобеспеченным (1,1-3,0 мг/кг).

Цинксодержащие удобрения. В качестве цинковых удобрений используют сернокислый цинк и различные отходы промышленности (табл. 122).

Таблица 122

Характеристика основных цинковых удобрений

Удобрение	Содержание цинка, %	Форма
Сернокислый цинк безводный, $ZnSO_4$	45,5	Водорастворимая
Сернокислый цинк водный, $ZnSO_4 \times 7H_2O$	24-25	Водорастворимая
Цинковые полимикродобрения, ПМУ	19,6-25,0	Цитраторастворимая
Шлаки медеплавильных заводов	2-7	Цитраторастворимая

Сернокислый цинк. Выпускается двух видов: безводный ($ZnSO_4$) с содержанием элемента 45,5% и водный ($ZnSO_4 \times 7H_2O$) с содержанием около 24-25%. По внешнему виду белая кристаллическая соль, хорошо растворима в воде. Используется для внекорневой подкормки и смачивания семян.

Цинкосодержащие молотые шлаки медеплавильных заводов содержат 2-7% цинка и небольшие количества других микроэлементов. Применяется при внесении в почву в дозах 0,5-1,5 ц/га. При тонком размоле могут быть использованы для предпосевного опудривания семян в дозах 200-400 г на 1 ц семян.

Цинковые полимикродобрения – отходы химических заводов цинко-белильного производства, сокращенно ПМУ.

ПМУ выпускается различных видов. Наибольшее распространение получило ПМУ номер 7, выпускаемое Ростовским химическим заводом. В состав удобрения входит 19,6-25,0% ZnO, 13,0% CuO, 0,4% MnO, 0,01% В, следы молибдена и других микроэлементов. Пермский лакокрасочный завод также освоил выпуск ПМУ-7 с содержанием цинка 12%, небольшим количеством меди и марганца. Внешне тонкоизмельчённый порошок темно-серого цвета с частицами шлака, негигроскопичный, не слёживается, цинк в усвояемой форме.

Цинк поступает в почву и с другими удобрениями (табл. 123).

Таблица 123

Содержание цинка в местных и известковых удобрениях
(Каталымов М.В., 1961)

Виды удобрений	Zn, г/т	Виды удобрений	Zn, г/т
Торф: низинный	84	Навоз подстилочный на со- ломистой подстилке	50
переходный	80	Зола	30-58
верховой	76	Доломитовая мука	16-18

Применение цинкосодержащих удобрений. Недостаток цинка чаще всего проявляется у плодовых и цитрусовых культур на карбонатных почвах с нейтральной и слабощелочной реакцией. Среди полевых культур к недостатку цинка более чувствительны кукуруза, фасоль, соя, картофель и некоторые овощные растения. Многочисленные опыты в Латвии показали высокую эффективность применения цинка под зерновые, лён, кукурузу. Урожайность зерна озимой пшеницы и ржи в опытах при внесении цинка увеличивалась на 1,6-2,4 ц/га.

Дозы и способы применения цинковых удобрений приведены в таблице 124.

Полевые и вегетационные опыты кафедры агрохимии Пермского сельскохозяйственного института (ныне акаде-

мия), проведённые в 1963-1964 гг. с ПМУ-7 Ростовского химического завода и Пермского лакокрасочного завода, показали высокую эффективность цинка на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах. Наиболее отзывчивыми культурами на полимикродоброения оказались ячмень, пшеница, вико-овёс и кормовые бобы.

Таблица 124

Дозы и способы применения цинка
под основные сельскохозяйственные культуры
на дерново-подзолистых и серых лесных почвах (Агрохимия, 2002)

Культуры	Внесение в почву, кг/га		Предпосевная обработка семян, г/т	Некорневая подкормка, г/га
	до посева	в рядки		
Зерновые	1,2-3,0	—	100-150	20-25
Зернобобовые	2,5	0,5	80-100	17-22
Овощи и картофель	0,7-1,2	—	150-200	50-65
Кукуруза	1,0-3,0	1,5	150-200	17-22
Клевер, люцерна	1,0-3,0	—	100-120	55-65
Свёкла и кормовые корнеплоды	1,2-3,0	0,5	140-150	55-65
Злаковые травы на зелёный корм	0,7-1,2	—	100-120	55-65

Сернокислый цинк целесообразнее использовать для обработки семян из расчёта при смачивании 50-100 г на центнер семян, количество воды 2 л; при некорневых подкормках в фазе перед бутонизацией бобовых, а злаковых в фазе кущения из расчёта 50-100 г (0,05-0,1% раствор) на гектар.

Эффективность цинковых удобрений. Цинковые удобрения наиболее эффективны на песчаных и супесчаных почвах, карбонатных черноземах, каштановых почвах, серозёмах, а также на почвах, богатых фосфором, содержащих большое количество медленно разлагающегося органического вещества, при возделывании зерновых, овощных, плодовых и ягодных культур.

Предпосевная обработка семян цинковыми удобрениями повышает урожайность яровых зерновых на 1,8-2,4 ц/га, кукурузы при возделывании на зелёную массу – на 38 ц/га, на зерно – 6,8 ц/га (табл. 125).

Таблица 125

Эффективность предпосевной обработки семян цинковыми удобрениями (Агрохимия, 2002)

Культура	Число опытов	Прибавка урожайности от цинка, ц/га	Культура	Число опытов	Прибавка урожайности от цинка, ц/га
Пшеница, зерно	18	2,4	Кукуруза, зел. масса	12	38,0
Ячмень, зерно	12	1,8	Кукуруза, зерно	18	6,8

В овощных культурах цинк повышает содержание сухого вещества и сахаров (табл. 126).

Следует отметить, что потребность в цинковых удобрениях возникает в том случае, если в почву с навозом возвращается только часть растительных остатков. При средней насыщенности севооборота навозом 5-8 т/га полностью удовлетворяется потребность культур в цинке. Применение цинковых удобрений не эффективно.

Таблица 126

Влияние цинка на урожайность ранней капусты и её химический состав (Дерюгин И.П., 1998)

Вариант опыта	Урожайность		Сухое вещество, %	Сахар, %	Аскорбиновая кислота, мг %
	ц/га	% к контролю			
Контроль	391	—	5,4	2,20	28,2
Цинк	432	110	6,3	3,05	26,7

Роль и содержание марганца в растениях, почвах и применение марганцевых микроудобрений

Роль марганца в растениях. Основная часть марганца сосредоточена в листьях и хлоропластах. Он активизирует реакции превращения ди- и трикарбоновых кислот, входит в состав около 30 металлоферментных комплексов. Принимает участие в окислительно-восстановительных процессах, являясь составной частью многих ферментов, таких как гидроксиламинредуктаза; восстанавливающий гидроксиламин до аммиака и ассимиляционный фермент, восстанавливающий диоксид углерода при фотосинтезе; увеличивает содержание сахаров, их отток из листьев в корни, усиливает дыхание. При использовании растениями азота в форме нитратов он действует как восстановитель и, наоборот, при использовании азота аммония — как окислитель. Он активизирует действие индомилуксусной кислоты на рост клеток растений.

При исключении марганца из питательной среды накапливаются неорганические соединения основных макроэлементов, нарушается в тканях растений баланс основных макроэлементов. Марганец влияет на передвижение фосфора из стареющих нижних листьев в верхние и репродуктивные органы. При резком недостатке марганца не формируются органы плодоношения у редиса, капусты, томатов, гороха. Он оказывает влияние на углеводный и белковый обмен.

Недостаток марганца могут испытывать сахарная, столовая и кормовая свёкла, овёс, горох и некоторые другие культуры на щелочных и известкованных почвах.

Внешним признаком *недостатка марганца* у растений является хлороз листьев, проявляющийся по-разному: у зерновых — в виде длинных полос на листьях или серой пятни-

стости; у картофеля на молодых листьях появляется множество мелких бурых крапинок, число которых со временем увеличивается, у кормовой и столовой свеклы листья приобретают темно-красную с фиолетовым оттенком окраску; у белокочанной капусты частичный хлороз листьев с краев, слабое формирование кочана; у огурцов хлороз выражен в пожелтении листьев, у черешков листьев окраска темная, плети короткие, тонкие, легко ломающиеся; у плодово-ягодных культур на листьях появляется серая пятнистость, происходит усыхание молодых веток.

Марганец в растениях. Содержание марганца в растениях варьирует от тысячных до сотых долей процента на сухое вещество. Наибольшее количество марганца в бобовых растениях (клевер, люцерна), листовой капусте, в зерновых; меньше – в овощных растениях. Причем, больше марганца в вегетативной массе и меньше – в репродуктивных органах. В зерне пшеницы его содержание 11-12 мг, соломе – от 60 до 146 мг/кг; в зерне ячменя – 8-40 мг/кг, соломе – 37-90 мг/кг; в клубнях картофеля – 8-12 мг, ботве – 298-325 мг/кг; в корнеплодах столовой свёклы – 34-77 мг, в листьях – 240-770 мг, в листьях огурца – 40-120, томата – 100-120 мг/кг, в листьях яблони – 20-200 мг/кг, плодах – 1-3 мг/кг сухой массы.

Вынос марганца с удобрениями сельскохозяйственных культур более высокий, чем других микроэлементов (порядка от 40 до 450 г/га, в отдельных случаях до 2-3 кг/га). Зерновые выносят 160-400 г/га, картофель – 300-450, клевер – 300-400, люцерна – 400 г/га, яблоня – до 2,8 кг, столовая свёкла – до 4 кг, капуста – до 8 и томаты до 12 кг/га. Недостаточным количеством марганца в кормах для животных, по данным П.И. Анспок и соавт. (1981), считается его содержание менее 30 мг/кг, нормальным – 30-60, токсичным – более 60 мг/кг сухой массы.

Содержание марганца в почвах. Марганец входит в состав 150 минералов, находящихся в почвах в распылённом состоянии в виде 2-х, 3-х и 4-валентного, растениям доступен только 2-валентный как катион. Его избыток может оказать вредное действие. Валовое содержание марганца в почвах от 130 до 1000 мг/кг почвы. Больше всего его в лугово-дерновых и торфяных почвах, кислых дерново-подзолистых тяжелосуглинистых. Меньше марганца в дерново-карбонатных и аллювиальных дерновых почвах.

Эффективность марганцевых удобрений зависит от количества подвижного марганца в почвах. Это суммарное содержание обменного и водорастворимого марганца (табл. 127).

Его подвижность зависит от реакции среды, от окислительно-восстановительных реакций в почве. Двухвалентный марганец может переходить в 4-х валентный и становиться недоступным для растений и, наоборот, 4-валентный в результате восстановления может переходить в 2-валентный. При нейтральной реакции среды марганец в виде MnO_2 выпадает в осадок. Окультуривание почв за счёт внесения органических удобрений повышает содержание подвижного марганца в почве, а нейтрализация кислотности почвы известью снижает его подвижность. Возникают условия проявления недостатка марганца и на кислых почвах.

Таблица 127

Содержание подвижного марганца в почвах, мг/кг
(Анспок И.П., 1981)

Почва	Содержание марганца
Дерново-подзолистая	2,0-300
Чернозем	1,0-75
Серозем	1,5-125
Каштановая	1,5-75
Бурая	1,5-75

В дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах Пермского края содержание подвижного марганца от 13,8 до 62,5 мг/кг, серых лесных – от 6,3 до 52,5 мг/кг и преобладают пахотные угодья слабо и среднеобеспеченные данными элементами [23].

Ассортимент марганцевых удобрений. В качестве марганцевых удобрений используют сернокислый марганец и различные отходы промышленности (табл. 128)

Таблица 128

Характеристика основных марганцевых удобрений

Удобрение	Содержание марганца, %	Форма
Сульфат марганца, $MnSO_4 \times 5H_2O$	21-22	Водорастворимая
Марганизированный суперфосфат	1-2	Водорастворимая
Марганизированная нитрофоска	0,9	Водорастворимая
Марганцевые шламы	0,8-1,1	Легкорастворимая

Сульфат марганца ($MnSO_4 \times 5H_2O$) – кристаллический порошок светло-серого или бледно-розового цвета с содержанием марганца 21-22%, хорошо растворим в воде, можно применять для смачивания и намачивания семян, внекорневых подкормок в концентрации 0,01-0,5% раствор удобрения.

Марганизированный суперфосфат ($Ca(H_2PO_4)_2 \times H_2O + CaSO_4 \times 2H_2O + Mn$) – обычный простой гранулированный суперфосфат с добавлением марганцевого концентрата, серовато-синеватого цвета, содержит 20% P_2O_5 и 1-2% Mn (ТУ 6-08-287-74). Лучше всего применять при посеве в рядки или посадке в гнездо.

Марганизированная нитрофоска – гранулированное удобрение светло-розового цвета с содержанием марганца 0,9%. Можно применять при посеве и в основное.

Марганцевые шламы – рассыпчатый порошок серого цвета, легкорастворимый с содержанием марганца 0,8-1,1%.

Марганец содержится также в местных органических и некоторых минеральных удобрениях (табл. 129).

Таблица 129

Содержание марганца в местных и некоторых минеральных удобрениях (Каталымов М.В., 1961; Анспок, П. И., 1981)

Виды удобрений	Mn, мг/кг*	Виды удобрений	Mn, мг/кг*
Навоз на соломенной постилке	868	Доломитовая мука	108
Торф:		Фосфоритная мука	508-610
низинный	326	Суперфосфат	142
верховой	43-44	Преципитат	250
Зола:		Сильвинит	18
каменного угля	205	Сульфат аммония	42
осиновых дров	4820	Цианамид кальция	15
берёзовых дров	21276		
сосновых дров	14706	Хлористый калий, электролит	следы

*– Mn мг/кг на абсолютно сухое вещество в органических удобрениях и на воздушно-сухое – в минеральных удобрениях (Каталымов М.В., 1961).

Применение и эффективность марганца. Марганцевые удобрения можно вносить под зерновые, злаковые травы, кормовую свеклу на почвах с содержанием подвижного марганца меньше 50 мг/кг почвы в дозах 1,5-3 кг/га д.в. под культивацию, при посеве зерновых в рядки 0,5 кг/га в виде марганезированного суперфосфата (табл. 130).

Таблица 130

Рекомендуемые дозы и способы применения марганца под основные сельскохозяйственные культуры (Агрохимия, 2002)

Культуры	Внесение в почву, кг/га д.в.		Предпосевная обработка семян, г/т	Некорневая подкормка, г/га д.в.
	до посева	в рядки		
Зерновые	1,5-3,0	1,5	80-100	15-25
Свёкла и кормо- вые корнеплоды	2,0-5,0	0,5	90-100	20-25
Зернобобовые	1,5-3,0	–	100-120	–
Картофель	2,0-5,0	–	100-150	–
Клевер	1,5-3,0	–	50-70	–
Кукуруза	2,0-4,0	1,5	50-60	–

Сульфат марганца – растворимая соль, её применяют для предпосевной обработки (намачивания или опудривания) семян (50-100 г/ц семян) и для некорневой подкормки (0,05%-ный раствор соли при норме расхода 400-500 л/га).

Марганцевые удобрения применяют, главным образом, под сахарную свеклу, кукурузу, картофель, овощные, плодовые и ягодные культуры, что способствует значительному повышению урожайности. Так, применение марганцевых удобрений на черноземах позволяет получать прибавку урожайности сахарной свеклы 1,4-2,5 т/га при одновременном увеличении сахаристости корнеплодов на 0,11-0,33%, озимой пшеницы – 0,32-0,47 т/га, капусты, картофеля, томатов и огурца – 3-5 т/га.

Весьма эффективно намачивание семян томатов в 0,5% растворах, содержащих марганец, цинк; лука-севка – 0,1% растворах меди, кобальта и марганца. Прибавка томатов при намачивании сернокислым цинком составила 142%, сернокислым марганцем 20%. Прибавки лука-севка от микроэлементов – от 110 до 154,7% к фону.

На дерново-подзолистых и серых лесных суглинистых почвах внесение марганцевых удобрений под различные

культуры, как правило, малоэффективно. Однако на известкованных почвах прибавки урожая от внесения марганцевых удобрений могут быть довольно высокими. Так, в опытах Т.А. Кротких (1993-1994) с кормовой свеклой по фону $N_{90}P_{60}K_{90}$ и извести из расчета по Нг при внесении марганца из расчета 1,5 кг/га прибавка урожайности составила 24,3%. Результаты опытов показывают, что при определённых условиях марганцевые удобрения могут быть эффективны и на кислых почвах.

Потребность в марганце и других микроэлементах частично покрывается за счёт органических удобрений (табл. 131).

Таблица 131

Среднее содержание микроэлементов в 20 т подстилочного навоза
с влажностью 75%, г

	Микроэлементы					
	Бор	Марганец	Кобальт	Медь	Цинк	Молибден
Содержание	101,0	1005,5	5,20	78,0	481,0	10,3

Вопросы для повторения:

1. Физиологическая роль бора, молибдена, кобальта, меди, цинка и марганца в растениях.
2. Содержание и вынос бора, молибдена, кобальта, меди, цинка и марганца сельскохозяйственными культурами.
3. Признаки недостатка бора, молибдена, кобальта, меди, цинка и марганца в растениях.
4. Содержание бора, молибдена, кобальта, меди, цинка и марганца в почвах.
5. Ассортимент борных удобрений и их применение.
6. Ассортимент молибденовых удобрений и их применение.
7. Ассортимент кобальтовых удобрений и их применение.
8. Ассортимент медных удобрений и их применение.
9. Ассортимент цинковых удобрений и их применение.
10. Ассортимент марганцевых удобрений и их применение.
11. Влияние известкования на подвижность микроэлементов.

Лекция 6. Комплексные удобрения, состав, свойства, условия эффективного применения

- Понятие о комплексных удобрениях. Факторы, обуславливающие необходимость их применения.
- Классификация комплексных удобрений.
- Характеристика комплексных удобрений.

Понятие о комплексных удобрениях. Факторы, обуславливающие необходимость их применения

Биологические особенности сельскохозяйственных культур, различное плодородие почв требуют применения удобрений с различным содержанием и соотношением питательных веществ, как макро- так и микроэлементов. Если использовать удобрения, содержащие один элемент, то возникает необходимость многократного внесения, что резко ухудшает свойства почвы. Увеличивает затраты на внесение, перевозку и хранение удобрений, что повышает себестоимость продукции. Всё это вызывает необходимость производства комплексных удобрений. Комплексными называются минеральные удобрения, содержащие не менее двух питательных элементов.

Преимущества комплексных удобрений по сравнению с простыми:

- являются более концентрированными;
- обеспечивают растения несколькими элементами питания в нужном соотношении;
- существенно сокращаются затраты на транспортировку, хранение и внесение удобрений;

- за счёт одноразового внесения уменьшаются отрицательное действие техники на агрофизические свойства почвы;
- отсутствие или более низкое содержание балластных элементов (хлор, сера, натрий и т.д.) создаёт меньшую концентрацию почвенного раствора;
- более равномерное распределение элементов питания в почве;
- лучшая позиционная доступность элементов питания для растений.

Классификация комплексных удобрений

Комплексные удобрения могут производиться как в заводских условиях, так и непосредственно в хозяйствах.

По количеству элементов питания их подразделяют на двойные (азотно-фосфорные, азотно-калийные, фосфорно-калийные), тройные (азотно-фосфорно-калийные), многосторонние (содержащие Mg и микроэлементы).

По физическому состоянию – на твёрдые и жидкие.

По способу производства комплексные удобрения делят на сложные, сложносмешанные (комбинированные) и смешанные.

Сложные удобрения – это такие удобрения, в которых питательные вещества находятся в одной молекуле этих удобрений [KNO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ и др.], получают в едином технологическом процессе при химическом взаимодействии исходных компонентов. В качестве их используются аммиак и ортофосфорная кислота, азотная кислота, серная кислота, аммиак, фосфорит или апатит и калийные соли.

Они содержат два или три питательных элемента в составе одного химического соединения. Например, аммофос

($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), калийную селитру (KNO_3), магни-аммоний-фосфат (MgNH_4PO_4). Соотношение между питательными элементами в этих удобрениях определяется их формулой. В последние годы термином «сложные удобрения» обозначают все комплексные твердые и жидкие минеральные удобрения (независимо от способов получения), в которых все растворы, частицы, кристаллы или гранулы имеют одинаковый или близкий химический состав.

К *сложно-смешанным удобрениям* относятся комплексные удобрения, получаемые в едином технологическом процессе и содержащие в одной грануле два или три основных элемента питания растений в виде разных химических соединений. Их производят с помощью специальной как химической, так и физической обработки первичного сырья или различных одно- и двухкомпонентных удобрений. К таким удобрениям относятся нитрофос и нитрофоска, нитроаммофос и нитроаммофоска, полифосфаты аммония и калия, карбоаммофосы, фосфорно-калийные прессованные удобрения, жидкие комплексные удобрения (ЖКУ). Соотношение между элементами питания в этих удобрениях определяется количеством исходных материалов при их получении.

Смешанные удобрения – это смеси простых и сложных удобрений, получаемые в заводских условиях, либо на ту-космесительных установках на местах использования удобрений путем сухого или мокрого смешивания.

Для сложных и сложно-смешанных удобрений характерны высокая концентрация основных питательных элементов и отсутствие либо малое количество балластных веществ, что позволяет уменьшить общую физическую массу минеральных

удобрений и объём их перевозок, следовательно, значительно снизить расходы на их транспортировку, хранение и внесение в почву. Расчеты показывают, что увеличение концентрации питательных веществ в удобрениях на 10% снижает транспортные перевозки в целом по стране на 5 млн. км в год.

Агрономическая эффективность равных доз питательных веществ в составе комплексных и смеси односторонних удобрений практически одинакова с некоторым преимуществом комплексных за счёт более равномерного распределения питательных веществ в почве и лучшей их доступности корневой системе растения. В то же время затраты на подготовку и применение односторонних удобрений при их раздельном внесении в 1,5-2 раза выше, чем комплексных. Однако соотношение между отдельными питательными элементами в составе комплексных удобрений не всегда соответствует потребностям культур при выращивании на почвах с различной обеспеченностью этими элементами. Поэтому нередко необходимо дополнять применение комплексных удобрений внесением односторонних удобрений либо использовать тукосмешение.

При производстве комплексных удобрений необходимо учитывать следующие условия:

- требование культур к соотношению элементов питания;
- соответствие с типом почв;
- не должно происходить ухудшение физических и химических свойств (все вещества должны быть в легкодоступной форме для растений);
- должна быть высокая концентрация элементов питания (не менее 43%).

Характеристика комплексных удобрений

Ассортимент комплексных удобрений приведен в таблице 132.

Сложные удобрения

Аммофос (моноаммонийфосфат, однозамещённый фосфат аммония) $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (АФ) и *диаммофос* (диаммонийфосфат, двузамещённый фосфат аммония) $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (ДАФ) получают нейтрализацией ортофосфорной кислоты аммиаком. Удобрения мало гигроскопичны, хорошо растворимы в воде.

В аммофосе содержится 9-11% N и от 42 до 50% P_2O_5 , то есть соотношение N: P_2O_5 в удобрении чрезмерно широкое (азота в 4 раза меньше, чем фосфора). Его доля в общем российском выпуске фосфорсодержащих удобрений в последние годы составляет более 40%. В диаммофосе может содержаться 19-21% N и 49-53% P_2O_5 , соотношение N: P_2O_5 составляет 1: 2,5. В нём содержание фосфора несколько ниже, а азота – выше. Это физиологически нейтральное удобрение. Диаммофос в сельскохозяйственном производстве РФ используется очень мало, в основном производится на экспорт. Аммонийный азот этих удобрений при внесении в почву переходит в поглощенное состояние, не вымывается, но при благоприятных условиях подвергается процессу нитрификации, образуя HNO_3 и её растворимые в воде соли селитры KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$. Это высококонцентрированные удобрения, содержащие азот и фосфор в хорошо усвояемой растениями преимущественно водорастворимой форме.

Таблица 132

Ассортимент основных сложных, сложно-смешанных удобрений,
выпускаемых отечественной промышленностью

Удобрение (ГОСТ, ТУ)	Состав	Содержание питательных веществ			P ₂ O ₅ , %	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	лимоннорас- творимый	водорас- творимый
1	2	3	4	5	6	7
Сложные						
Аммофос ГОСТ 18918-85	NH ₄ H ₂ PO ₄					
марка А						
высший сорт		12±1	52	—	44	48
1-й сорт		12±1	50±1	—	52	46
марка Б						
высший сорт		11±1	44	—	—	34
1-й сорт		10±1	42±1	—	—	32
Карбоаммофоска ТУ 6-08-371-77	CO(NH ₂) ₂ + NH ₄ H ₂ PO ₄ + (NH ₄) ₂ HPO ₄ + KCl	16 или 18-20	18 или 18-20	16 или 18-20	40	60
Фосфат магния-аммония	MgNH ₄ PO ₄ ·H ₂ O	10-11	39-40	15-16 MgO	20	80
Калийная селитра ГОСТ 19790-74	KNO ₃	13-15	—	39-45	—	—
Метафосфат калия	(KPO ₃) _n	—	57-59	38-40	60	—
Метафосфат аммония	(NH ₄ PO ₃) _n	17	80	—	40-60	50
Полифосфат калия	K _n H ₂ P _n O _{3n+1}	—	55-60	35-40	68,0	32,0
Полифосфат аммония	(NH ₄) _n H ₂ P _n O _{3n+1}	16-17	60-61	—	50	50
Карбамид-полифосфат	CO(NH ₂) ₂ + (NH ₄) ₄ H ₂ P _n O _{3n+1}	31	31	—	—	—
Сложно-смешанные						
Нитроаммофос ТУ 6-08-433-79	NH ₄ H ₂ PO ₄ + H ₄ NO ₃	21-25	20,0-25,5	—	—	—
Карбоаммофос ТУ 6-08-371-77	CO(NH ₂) ₂ + H ₄ H ₂ PO ₄ + (NH ₄) ₂ HPO ₄	27-30	27-30	—	80	20

Окончание таблицы 132

1	2	3	4	5	6	7
Диаммофоска	$(\text{NH}_4)_2\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{KCl}$	9-10	25-26	25-26	—	не менее 90
Нитроаммофоска ГОСТ 19691-84	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{KCl} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$					
Марка А		17-18	17-18	17-18	—	не менее 90
Марка Б		13-14	19-20	19-20		
Нитроаммофоска с марганцем		16	17,4	17,2 Mn-1,78		
Нитроаммофоска с кобальтом		17,5	18	16,7 Co-0,04		
Нитроаммофоска с молибденом		17,1	17,3	17,7 Mo-0,06		
Азофоска ТУ 113-03-466-82	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + \text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{KCl}$					
1:1:0		23	22	—	—	—
2:1:0		26	13	—	—	—
1:1:1		16	16	16	—	—
2:1:1		22	11	11	—	—
Нитрофоска сульфатная ГОСТ 11365-75	$\text{CaHPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}, \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times 2\text{H}_2\text{O}, + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2, + \text{NH}_4\text{NO}_3, + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{KNO}_3, + \text{CaSO}_4$					
Марка А		16	16	13	20	80
Марка Б		11	10	11	20	80
Марка В		12	12	12	20	80
Жидкие комплексные ТУ 113-08-414-91		10	34	—	20	80
		9	9	9	20	80
Суспендированное жидкое удобрение (СЖУ)		12	12	12	20	80

В небольшом количестве начат выпуск нового азотно-фосфорного удобрения – *аммофосфат*. Получают с меньшим расходом серной кислоты и энергоресурсов. Выпускают двух марок: А – 46% P_2O_5 , 7% N, Б – 39% P_2O_5 , 5% N. Фосфор примерно на 60-70% от общего – водорастворим. Гранулы темно-серого цвета, прочные и выровненные, 3-4 мм в диаметре и практически не слеживаются.

Аммофос и диаммофос используют в качестве основного удобрения, в рядки при посеве под все культуры и в подкормку для внутрипочвенного внесения под пропашные, технические и овощные культуры. Благодаря хорошим физическим свойствам и высокой концентрации питательных веществ они служат хорошим компонентом для тукосмесей.

Магний-аммонийфосфат, $MgNH_4PO_4 \times H_2O$ может быть в виде шестиводного, либо одноводного гидрата. Шестиводный очень неустойчив при хранении, одноводный хорошо хранится, не выделяет в процессе хранения аммиак.

Тройное сложное удобрение, содержащее 10-11% азота, 39-40 доступного фосфора и 15-16% магния. Удобрение слабо растворимо в воде, медленнодействующее. Однако N, P и Mg, входящие в удобрение, доступны для растений. Его можно вносить как основное удобрение под все культуры в больших дозах без вреда для растений.

Калийная селитра (нитрат калия), KNO_3 . Содержит около 13% азота и 46% калия. Благодаря отличным физическим свойствам, калийная селитра пригодна как для приготовления смешанных удобрений, так и для непосредственного внесения в почву.

Удобрение не содержит хлора и поэтому даёт хороший эффект при внесении под картофель, виноград и другие культуры, чувствительные к этому элементу. Калийная селитра и фосфат магния-аммония используются в основном в тепличных хозяйствах.

Метафосфат аммония (МФА) NH_4PO_3 , содержит 17% азота и 80% фосфора и *метафосфат калия (МФК) KPO_3* , содержит 60% фосфора и 40% калия. Они также имеют два основных элемента питания в составе одного химического соединения. Удобрения не растворимы в воде. Поэтому элементы питания не выщелачиваются из почвы, но, благодаря гидролизу, постепенно переходят в доступное для растений состояние. Смеси, приготовленные на метафосфатах аммония и калия, имеют удовлетворительные физические свойства. Удобрения целесообразно применять под культуры, отрицательно реагирующие на хлор.

Полифосфаты аммония (ПФА). Получают путем нейтрализации полифосфорной кислоты аммиаком. Удобрение содержит 17% N и 60% P_2O_5 , обладает хорошими физическими свойствами, его можно применять под все культуры. Полифосфат аммония – хороший компонент для тукосмесей и приготовления ЖКУ.

На основе суперфосфорной кислоты можно производить и другие сложные твердые удобрения, например, *полифосфат калия (ПФК)* с содержанием 57% P_2O_5 и 37% K_2O , а также жидкие высококонцентрированные комплексные удобрения.

Метафосфаты и полифосфаты выпускаются в небольших количествах, производство их практически не налажено.

Сложно-смешанные или комбинированные удобрения

Нитрофосы, нитрофосфаты (НФ). Содержат 20-24% азота и 14-12% фосфора, при этом весь азот и половина фосфора находятся в водорастворимой форме.

Нитрофоски (НФК). Тройные удобрения, получаемые при добавлении хлорида калия к нитрофосам. В нитрофосках

азот и калий содержатся в форме легкорастворимых соединений (NH_4NO_3 , NH_4Cl , KNO_3 , KCl), а фосфор – в виде дикальцийфосфата, не растворимого в воде, но доступного для растений, и частично в форме водорастворимого фосфата аммония и монокальцийфосфата. В зависимости от технологической схемы получения удобрения, содержание в нитрофосках водорастворимого и цитраторастворимого фосфора может изменяться.

Содержание питательных элементов в нитрофосках может колебаться от 35 до 50%, в том числе N – 10-17, P_2O_5 – 8-30 и K_2O – 12-20%.

В нашей стране выпускают гранулированные нитрофоски с содержанием питательных элементов (N-P-K) 16-16-16, 12-12-12 и 11-10-11 и долей водорастворимого фосфора не менее 55%.

Нитрофоску вносят в качестве основного удобрения до посева, в рядки или лунки при посеве, а также в подкормки. Эффективность её практически такая же, как и эквивалентных количеств смеси простых удобрений. При внесении нитрофосок (как и других сложных и сложно-смешанных удобрений) часто возникает необходимость в дополнительном внесении того или иного недостающего элемента в виде простых удобрений.

Нитроаммофосы (НАФ) и нитроаммофоски (НАФК). Получают при нейтрализации аммиаком смеси азотной и фосфорной кислот. Удобрение, производимое на основе моноаммонийфосфата, называют нитроаммофосом; при введении калия – нитроаммофоской. Эти комплексные удобрения отличаются высоким содержанием питательных элементов, причем при их получении имеется широкая возможность для изменения соотношения $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ в их составе. Нитроам-

мофосы могут выпускаться с содержанием N – 10-30% и P_2O_5 – 27-14%. В нитроаммофосках (NPK-удобрениях) общее содержание питательных веществ составляет 51% (в марках А – 17-17-17 и Б – 13-19-19). Питательные элементы (не только весь азот и калий, но и около 90% фосфора), содержатся в водорастворимой форме и легкодоступны растениям.

Карбоаммофосы (КАФ). Содержат азот в амидной и аммиачной формах, фосфор находится в водорастворимой форме. Их производство основано на способности мочевины образовывать комплексные соединения с фосфорной кислотой или аммо- и диаммофосом. Удобрения могут содержать 24-48% N и 48-18% P_2O_5 .

Карбоаммофоски (КАФК). Тройное комбинированное удобрение, для получения которого в состав карбоаммофоса вводят хлористый калий. Суммарное содержание питательных элементов в карбоаммофосках – до 60%. Карбоаммофоски выпускают со следующим соотношением N: P: K – 1:1:1; 1,5:1:1; 2:1:1 и 1:1,5:1.

Производят также трехкомпонентные сложно-смешанные комплексные удобрения на основе аммофосов с добавлением хлористого калия. Например, ОАО «Череповец» выпускает *диаммофоску (ДАФК)* с содержанием питательных элементов (N-P-K) 10-26-26. Нитрофосы и нитрофоски получают разложением апатита или фосфорита азотной кислотой.

Жидкие комплексные удобрения (ЖКУ). Получают при нейтрализации орто- и полифосфорной кислот аммиаком с добавлением азотсодержащих растворов (мочевины, аммиачной селитры) и хлорида или сульфата калия, а в отдельных случаях – и солей микроэлементов. При насыщении ортофосфорной кислоты аммиаком образуются аммофос и диаммофос.

Общее содержание питательных элементов в ЖКУ на основе ортофосфорной кислоты сравнительно невысокое (24-30%), так как в более концентрированных растворах при низких температурах происходят кристаллизация солей и выпадение их в осадок. Соотношение азота, фосфора и калия в ЖКУ может быть различным, содержание N составляет 5-10%, P_2O_5 – 5-14 и K_2O – 6-10%. В нашей стране выпускают ЖКУ с соотношением питательных веществ в основном 9:9:9, а также 7:14:7; 6:18:6; 8:24:0 и др.

На основе полифосфорной кислоты получают ЖКУ с более высоким общим содержанием питательных элементов (более 40%), в частности, удобрения состава 10:34:0 и 11:37:0, образуемые при насыщении суперфосфорной кислоты аммиаком. Эти «базисные» удобрения используют для получения тройных ЖКУ различного состава, добавляя к ним растворы мочевины и аммиачной селитры (КАС) и хлористый калий.

Для повышения концентрации питательных элементов в ЖКУ используют стабилизирующие добавки к ним (2-3% от объёма коллоидную глину или торф). Эти удобрения называют *суспендированными*. Базисное суспендированное удобрение имеет состав 12:40:0, на его основе можно готовить тройные ЖКУ различных составов (15:15:15; 10:30:10; 9:27:3 и др.). Коллоидная глина или торф удерживают соли от выпадения в осадок.

ЖКУ по эффективности не уступают смеси твердых односторонних туков и комплексным удобрениям типа нитроаммофоски. Их применение особенно эффективно на карбонатных почвах. Для перевозки, хранения и внесения ЖКУ необходим комплекс специального оборудования. Вносить их можно теми же способами, что и твердые: сплошным рас-

пределением по поверхности почвы под вспашку и культивацию, локально внутрипочвенно в основное удобрение, а также в подкормки – при междурядной обработке пропашных или поверхностно в посевах многолетних трав. ЖКУ содержат все питательные элементы в водорастворимой легкодоступной растениям форме. Жидкие комплексные удобрения имеют некоторые преимущества по сравнению с твёрдыми:

- повышается равномерность внесения удобрений за счёт снижения затрат на хранение, транспортировку и внесения;
- относительно низкая стоимость их производства;
- возможность полной механизации всех работ;
- возможность в широких пределах регулировать соотношение элементов питания;
- возможность введения в состав микроэлементов, пестицидов и так далее.

Сложно-смешанные гранулированные удобрения. Получают смешиванием простых и сложных порошковидных удобрений (аммофоса, простого или двойного суперфосфата, аммиачной селитры или мочевины, хлористого калия) в барабанном грануляторе с добавлением аммиака для нейтрализации свободной кислотности суперфосфата и фосфорной кислоты (или аммофоса) для обогащения смеси фосфором. Выпускаемые промышленные сложно-смешанные гранулированные удобрения имеют различное соотношение питательных элементов при общем содержании их от 25 до 60%.

Освоен выпуск новых высококонцентрированных комплексных удобрений: азофоски с различными добавками (в том числе серосодержащими), диаммофоски, нитродиамофоски и аммофосфата, которые уже поставляются на внутренний рынок.

В состав комплексных твердых и жидких удобрений в процессе их производства могут быть введены другие макро- и микроэлементы, а также пестициды и некоторые органические материалы.

В начале 70-х годов в стране стали выпускать в больших количествах комплексное удобрение растворино (табл. 133). Благодаря особой технологии он полностью растворим в воде, поэтому нашел широкое применение в тепличных хозяйствах. Растворин – белый кристаллический порошок, обладает удовлетворительными физико-химическими свойствами, почти не слеживается при хранении в бумажных мешках.

Таблица 133

Состав таблетированных растворинов, % (Кротких Т.А., 2012)

Состав марки				Исходные компоненты
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	
10	5	20	6	(NH ₄) ₂ SO ₄ , NH ₂ H ₂ PO ₄ , KNO ₃ , MgSO ₄ × 7H ₂ O
18	6	18	0	NH ₄ NO ₃ , (NH ₄) ₂ SO ₄ , NH ₄ H ₂ PO ₄ , K ₂ SO ₄
17	17	6	0	NH ₄ NO ₃ , (NH ₄) ₂ SO ₄ , NH ₄ H ₂ PO ₄ , K ₂ SO ₄
13	40	13	0	(NH ₄) ₂ SO ₄ , NH ₄ H ₂ PO ₄ , KNO ₃

Растворин получают тремя методами.

1. Путем тукосмешивания, прессования и дробления до гранул следующих одинарных удобрений: NH₄NO₃, KNO₃, (NH₄)₂SO₄, NH₄H₂PO₄, NH₂H₂PO₄, K₂SO₄, магнийсодержащих солей, микроудобрений.

2. Методом нейтрализации слабой азотной, термической фосфорной и серной кислот газообразным аммиаком и раствором KOH с последующей сушкой и дроблением.

3. На основе элементарного фосфора с добавлением азотных, магниевых и калийных удобрений. После сушки и дробления в растворе до 10% P₂O₅ находится в слаборастворимой в воде форме.

Растворин может быть приготовлен с любым соотношением питательных элементов (макро и микро) в зависимости от биологических особенностей культур и содержания элементов в грунте, применяется под все культуры при внесении под культивацию и подкормки.

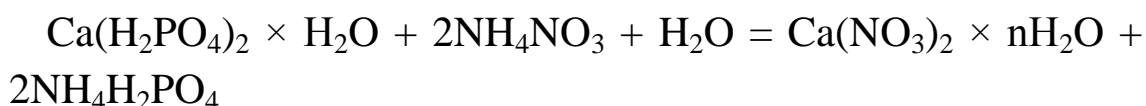
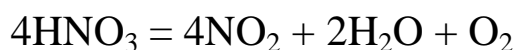
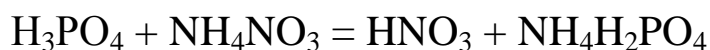
Смешанные удобрения – тукосмеси. Смешанные удобрения представляют собой механическую смесь простых как порошковидных, так и гранулированных минеральных удобрений. Они могут включать 2-4 питательных элемента, их производят на заводах или непосредственно в хозяйствах. Готовят тукосмеси разного состава с неодинаковым соотношением N:P:K в зависимости от потребностей удобряемой культуры и свойств почвы. В этом отношении тукосмеси имеют преимущество перед комплексными удобрениями, которые выпускают с фиксированным содержанием питательных элементов, не всегда подходящим для определённой культуры и почвы.

Отечественной промышленностью выпускаются смеси-тели СЗ4-20 и УТС-30. В России до настоящего времени сухое тукосмешивание развито относительно слабо. В то же время за рубежом тукосмеси успешно конкурируют с гомогенными удобрениями, всё больше завоевывают мировой рынок. Получение их организовано на больших промышленных установках в едином технологическом цикле. Важнейшими условиями для создания качественных смесей являются правильный подбор исходных материалов с заданными химическими и физическими свойствами.

Для приготовления качественных смесей исходные удобрения должны иметь одинаковый гранулометрический состав.

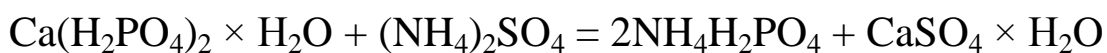
Однако не все удобрения можно смешивать друг с другом, так как в результате химических реакций между ними могут происходить нежелательные изменения: ухудшение физических свойств, или уменьшение растворимости, или потеря необходимых питательных веществ.

1. Заблаговременно нельзя смешивать суперфосфат с аммонийной селитрой, так как смесь быстро превращается в липкую массу из-за образования сильно гигроскопичной кальциевой селитры:

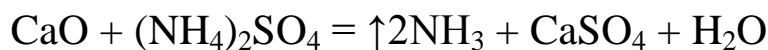
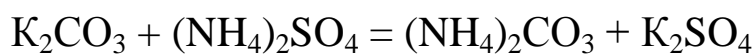


Первая и вторая реакции указывают на возможность выделения окислов азота в воздух, а третья – на ухудшение физических свойств смеси в результате образования сильно-гигроскопичной кальциевой селитры.

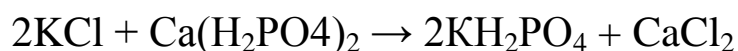
2. Нельзя смешивать суперфосфат с сульфатом аммония, так как смесь сильно цементируется за счёт образования гипса:



3. Нельзя смешивать аммонийные формы азотных удобрений со щелочными удобрениями, так как такие смеси теряют аммонийный азот:



4. Нельзя смешивать суперфосфат с хлористым калием, так как образуется хлорит кальция:



Для получения высококачественных смесей целесообразно использовать нейтральные формы сложных удобрений (аммофос, диаммонийфосфат) с калийными.

Наиболее широко применяется диаммонийфосфат (ДАФ) – примерно 95% всего объема выпускаемых тукосмесей. Он обладает благоприятными свойствами – имеет высокое содержание P_2O_5 , совместим со всеми удобрениями, при хранении и загрузке-выгрузке не изменяет своих качеств. Такие же достоинства имеет аммофос.

Смеси, приготовленные на диаммофосе, более концентрированные: в них 8-19% азота, 14-23% фосфора, 14-19% калия (табл. 134).

Также популярен в смешивании и двойной суперфосфат, но он не полностью совместим с мочевиной, которая часто используется как источник азота. Двойной суперфосфат часто используется для приготовления безазотистых смесей или с низким содержанием азота.

Таблица 134

Расход компонентов для приготовления смеси (Кротких Т.А., 2012)

Компоненты смеси	Состав $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$	Расход компонентов на 1 т продукта, кг				
		17:17:17	19:19:19	9:23:23	8:32:16	0:26:26
Аммонийная селитра	34:0:0	231,2	–	–	–	–
Мочевина	46:0:0	–	232,6	–	–	–
Диаммонийфосфат	18:46:0	341,0	381,6	453,5	419,0	–
Двойной суперфосфат	0:46:0	–	–	–	236,7	513,1
Хлористый калий	0:0:60	261,7	292,5	453,5	251,2	393,0
Наполнитель (известняк)	0:0:0	23,1	–	–	–	–

В смесях, приготовленных на двойном суперфосфате, содержится 8-11% N, 11-15% P_2O_5 , 11-16% K_2O . Слеживаемость смеси значительно снижается, если в неё вносят нейтрализующие добавки (фосмука, костяная мука, известь), 10-20% от массы суперфосфата.

В условиях сельскохозяйственных предприятий используют следующие простые удобрения: из азотных – аммонийную селитру, сульфат аммония, мочевины, натриевую, калийную селитру; из фосфорных – суперфосфат (простой, двойной), преципитат, фосфорную муку; из калийных – хлористый калий, калийную соль, сильвинит.

Для таких культур, как картофель, капуста, морковь для смеси лучше использовать сульфат калия. Хлорсодержащие калийные удобрения снижают качество урожая этих культур. Правила смешивания представлены на рисунке 9.

В хозяйствах чаще готовят смесь, состоящую из аммонийной селитры (сульфата аммония или мочевины), суперфосфата и хлористого калия с добавлением 20% фосфоритной муки или 5% оксида кальция или карбоната кальция. Если нет нейтрализующих добавок, то эту смесь можно готовить только в день её посева.

Согласно агротехническим требованиям к тукосмешению, исходные компоненты должны иметь влажность не выше (%): аммиачная селитра – 0,3, мочевина – 0,2, суперфосфат – 4, аммофос – 1, гранулированный хлористый калий – 1,2; свободная кислотность суперфосфатов должна быть не более 1% (в пересчете на P_2O_5).

Удобрения	Сульфат аммония, аммофос, диаммофос	Аммонийная селитра	Натриевая и калийная селитра	Мочевина	Суперфосфат	Фосфоритная и костяная мука	Калийная соль, хлористый калий	Известь, зола	Навоз, помёт
Сульфат аммония, аммофос, диаммофос		++	+	++	+	+	++	–	–
Аммонийная селитра	++		++	+	+	+	+	–	–
Натриевая и калийная селитра	+	++		+	+	+	+	+	–
Мочевина	++	+	+		++	+	+	+	+
Суперфосфат	+	+	+	++		+	+	–	++
Фосфоритная и костяная мука	+	+	+	+	+		+	–	++
Калийная соль, хлористый калий	++	+	+	+	+	+		+	++
Известь, зола	–	–	+	+	–	–	+		–
Навоз, помёт	–	–	–	+	+	+	++	–	

++ можно смешивать; + можно смешивать только при внесении;
– смешивать нельзя

Рис. 8. Схема смешивания удобрений

За последние годы на российском рынке появились смешанные удобрения для различных культур. Голландская фирма «Гидро Агри» через ООО «Гидро Агри Рус» поставляет кристаллон различных марок, Пи-Джи-Микс, Тенсо Коктейль, Гидрокомплекс, Альбатрос и другие удобрения. Все перечисленные удобрения, кроме Тенсо Коктейля, содержат макро- и микроэлементы. Тенсо Коктейль применяется для компенсации дефицита микроэлементов. Удобрения, выпускаемые «Гидро Агри», нашли широкое применение в защищенном грунте при использовании капельного полива.

Буйский химический комбинат для защищенного грунта начал выпуск акварина, в состав которого входят макро- и

микроэлементы. Микроэлементы представлены в хелатной форме. Удобрение полностью растворимо в воде, может использоваться для корневых и некорневых подкормок. Недостаток – сильно гигроскопичное. Выпускают акварин 16 марок с содержанием N – 3-20%, P – 4,8-17,9%, K – 6,6-31,5%, Mg – 0,9-2,4%, S – 0,7-9,0%, B – 0,02%, Fe (ДТПА)– 0,054%, Mn (ЭДТА)– 0,042%, Mo – 0,004%, Zn (ЭДТА)– 0,01%, Cu (ЭТДА) – 0,01%.

Финская фирма «Кемира» совместно с российским ЗАО «Кемира Агро» поставляют удобрение Кемира для различных культур с различным содержанием питательных веществ.

Дозы комплексных удобрений рассчитывают в зависимости от плодородия почвы, вида удобряемой культуры. Так как комплексные удобрения содержат разное количество питательных элементов, то массу удобрения на 1 га рассчитывают по одному наиболее необходимому для растений элементу.

На дерново-подзолистых почвах таким элементом чаще выступает азот. Допустим, под яровую пшеницу на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой

почве необходимо внести 45 кг азота. Из удобрений имеется гранулированная нитроаммофоска с содержанием N – 9, P₂O₅ – 12 и K₂O – 9%. Доза нитроаммофоски, рассчитанная по азоту в физическом виде, составит:

$$(45/9) \times 100 = 500 \text{ кг/га или } 5 \text{ ц/га.}$$

С таким количеством азота (45 кг в д.в. и 500 кг в физической массе) будет внесено 60 кг в д.в. P₂O₅ и 45 кг K₂O на 1 га.

Если вносится комплексное удобрение с высоким и низким содержанием питательных элементов под культуру при соотношении NPK равном 1:1:1, то дозу в физической массе

вначале устанавливают по элементу с самым высоким содержанием в удобрении. Например, в хозяйстве имеется аммофос с содержанием N – 11%, фосфора – 50%. Необходимо внести под картофель $N_{90}P_{90}K_{90}$.

В аммофосе больше содержится фосфора. Доза его в физической массе будет следующей:

$$(90/50) \times 100 = 180 \text{ кг или } 1,8 \text{ ц}$$

С дозой 1,8 ц аммофоса будет внесено азота: $1,8 \times 11 = 19,8 \text{ кг}$

Следовательно, недостает $90 - 19,8 = 70,2 \text{ кг}$ в д. веществе, в переводе на аммонийную селитру это составит: $(70,2/35) \times 100 = 206 \text{ кг/га}$

Такое количество аммонийной селитры необходимо добавить к аммофосу, чтобы внести 90 кг азота на га. В аммофосе нет калия, поэтому вносим хлористый калий в физической массе следующее количество: $(90/60) \times 100 = 150 \text{ кг/га}$

Комплексные гранулированные удобрения при всех способах внесения хороши тем, что в большинстве не требуется дробление, перемешивание, не пылят при внесении. При длительном хранении в сыром помещении они могут, как и простые удобрения, сильно слеживаться. Кафедрой агрохимии Пермского СХИ изучались способы внесения нитроаммофоски Череповецкого комбината под яровую пшеницу и ячмень. Ниже приведены результаты исследований с картофелем в опытах М.Л. Чунарева (1970) (табл. 135, 136). Установлено, что нитроаммофоску (17:17:17) можно вносить не только перед посевом яровых зерновых, но и после посева зерновыми сеялками по всходам и даже в фазе начала кущения.

Таблица 135

Влияние способов внесения нитроаммофоски на урожайность
пшеницы и ячменя, ц/га (Чунарёв М.Л., 1980)

Вариант опыта	Пшеница		Ячмень	
	Среднее	Прибавка	Среднее	Прибавка
0 (без удобрений)	15,7	–	13,7	–
Нитроаммофоска под культивацию	19,4	4,2	27,1	13,4
Нитроаммофоска поверхностно после культивации	18,9	3,2	26,1	12,4
Нитроаммофоска локально сеялкой до посева	20,1	4,4	28,6	14,9
Нитроаммофоска локально сеялкой после посева	20,5	4,8	28,9	15,2

Высокая эффективность от комплексных удобрений получается при местном внесении их при посадке картофеля и овощных культур, а также при рядковом внесении под зерновые.

Таблица 136

Урожайность картофеля при местном внесении различных форм
комплексных удобрений, ц/га (доза 20 кг P_2O_5) (Чунарёв М.Л., 1980)

Вариант опыта	Урожайность	Прибавка	Окупаемость 1 кг удобрений прибавкой, кг
$P_{60}K_{60}$ – фон	178	–	–
Фон + $P_{сп}$	(204)	(28)	140
Фон + $P_{дс}$	(197)	(21)	105
Фон + $P_{ам}$	218	40	156
Фон + эквив. смесь простых удобрений	204	26	102
Фон + $P_{дам}$	230	52	185
Фон + эквив. смесь простых удобрений	213	34	121

Примечание: цифры в скобках – среднее за 3 года.

Вопросы для повторения:

1. Какие удобрения называют комплексными? 2. На какие группы подразделяют комплексные удобрения в зависимости от способов получения? 3. В чем преимущества комплексных удобрений. 4. Какие формы сложных и сложно-смешанных удобрений вы знаете? 5. Какие условия применения сложных и сложно-смешанных удобрений наиболее эффективны? 6. Какие жидкие комплексные удобрения вы знаете? 7. Каковы особенности применения жидких комплексных удобрений? 8. Какие удобрения и почему нельзя смешивать? 9. Какие правила необходимо соблюдать при тукосмешивании?

IV. ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ

Лекция 1. Подстилочный навоз

- Понятие об органических удобрениях, их роль.
- Подстилочный навоз, его состав и свойства в зависимости от вида животных и условий их содержания.
- Основные способы хранения подстилочного навоза.
- Время внесения и глубина заделки навоза в почву.
- Эффективность навоза и особенности его применения в различных почвенно-климатических условиях.

Понятие об органических удобрениях, их роль

Органическими удобрениями называют свежие, полуразложившиеся или разложившиеся под воздействием микроорганизмов вещества растительного и животного происхождения, вносимые в почву для повышения плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур.

К органическим удобрениям относят подстилочный и бесподстилочный навоз, навозную жижу, торф, птичий помёт, компосты, фекалии, сапропель, зелёное удобрение, солому, хозяйственные отходы и пр. Часто все эти материалы называют местными удобрениями, так как их получают или готовят в тех хозяйствах, в которых они будут использованы.

Роль органических удобрений

1. Являются источником элементов питания. Органические удобрения содержат почти все необходимые питательные вещества для растений, поэтому их называют полным удобрением. В таблице 137 приведено содержание основных элементов питания в некоторых органических удобрениях.

Содержание питательных веществ в одной тонне
органических удобрений, кг (Агрохимия, 2002)

Органическое удобрение	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Полуперепревший навоз	5,0	2,5	6,0	7,0	3,0
Навозная жижа	2,5	0,6	3,6	0,6	0,1
Жидкий навоз КРС (при влажности 88%)	4,0	2,0	4,5	1,5	1,0
Торф верховой (влажность 60-70%)	3,0	0,3	0,3	0,9	0,2
Торф низинный, разложившийся (влажность 60-70%)	9,0	1,2	0,6	1,2	0,4
Биогумус	30,0	20,0	18,0	11,0	6,0
Торфонавозный компост (при соотношении торф: навоз, как 2:1)	7,0	2,0	4,0	4,0	0,4

С 40 т подстилочного навоза в почву поступает 200 кг азота, 100 кг фосфора, 240 кг калия, что соответствует 6 ц аммонийной селитры, 2,5 ц двойного суперфосфата и 4 ц хлористого калия, 280 кг карбоната кальция (известки).

2. Применение навоза и других органических удобрений позволяет повторно вовлекать в круговорот питательных веществ в земледелии часть элементов питания, ранее отчужденных из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур, с растительными кормами и пищевой продукцией. Из трех основных макроэлементов при рациональном использовании растениеводческой и овощеводческой продукции в хозяйствах вынесенный растениями азот возвращается в почву на 20-30%, фосфор – на 15-20%, калий – на 50-60%.

В хозяйствах, применяющих высокие дозы торфа и компостов, приготовленных на его основе, почва обогащается питательными элементами, ранее не участвующими в круговороте питательных веществ. Большое значение в повышении плодородия почв и урожайности имеет возделывание бобовых культур в качестве зелёного удобрения, при этом происходит вовлечение в круговорот азота атмосферы.

3. Органические удобрения являются не только источником питательных элементов, но и углекислоты. При разложении микроорганизмами органических удобрений (мине-

рации) образуется большое количество углекислоты, которая насыщает почвенный воздух и приземный слой атмосферы. Так, при внесении 40 т полуперепревшего навоза в период интенсивного разложения его, количество ежедневно выделяемой на одном гектаре углекислоты составляет 250-300 кг. Такого количества углекислоты достаточно для получения 40 ц зерна и 400-500 ц картофеля с одного гектара. Особенно сильно нуждаются растения в углекислоте в период максимального развития вегетативной массы. Минеральные удобрения не могут обеспечить растения углекислотой, поэтому для достижения высокой урожайности необходимо планировать совместное использование как органических, так и минеральных удобрений.

4. Углекислота, образующаяся при разложении органических удобрений, не только улучшает питание растений, но и положительно действует на процессы, протекающие в почве. Она способствует образованию подвижных форм фосфора; карбонат кальция (известь) переходит в растворимый в воде двууглекислый кальций и способствует свертыванию коллоидных частиц почвы, то есть образованию структурных почв.

5. Органические удобрения являются энергетическим материалом и источником пищи для почвенных микроорганизмов. Навоз, навозная жижа, фекалии богаты микроорганизмами, а торф очень беден ими. Скорость минерализации органических удобрений в почве зависит, прежде всего, от количества в них микроорганизмов. В 1 г полуперепревшего навоза насчитывается 8-12 млн., а в 1 г торфа менее 200-500 тыс. микроорганизмов. Для ускорения минерализации органического вещества торфа его компостируют с органическими удобрениями более богатыми микроорганизмами, чаще с навозом, навозной жижей, фекалиями и др. Навоз, компосты в почве активизируют жизнедеятельность азотфиксирующих

бактерий, аммонификаторов, нитрификаторов и других полезных микроорганизмов, то есть в результате их внесения повышается микробиологическая активность почвы.

6. Органические удобрения содержат кальций и магний (с 30-40 т навоза на 1 га вносится 0,3-0,5 т кальция и магния в пересчете на карбонаты). Регулярное их внесение приводит к снижению всех форм кислотности, содержания подвижных алюминия, железа и марганца, при этом повышается степень насыщенности основаниями, улучшаются буферные свойства почвы, и улучшается питание кальцием и магнием (табл. 138).

Таблица 138

Влияние длительного (в течение 41 года) применения системы агрохимических средств на улучшение свойств и плодородия дерново-подзолистых почв (Кротких Т.А., 2012)

Вариант	рН _{KCl} Нг, ммоль на 100 г		Подвижный Al, мг на 100 г	S, ммоль на 100 г	V, %	Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг на 100 г	K ₂ O, мг на 100 г
Контрольный фон								
0	4,4	4,25	3,2	7,2	62,9	1,96	6,0	3,0
NPK	4,1	6,20	6,4	5,6	47,4	2,26	22,0	24,0
Известкование								
0	6,9	1,05	0,49	9,8	90,3	2,18	10,0	10,0
NPK	6,9	1,20	следы	11,3	90,4	2,58	18,0	20,0
Известь + органическое удобрение (навоз)								
0	6,9	1,05	0,18	13,0	92,9	3,16	9,3	16,0
NPK	6,9	1,20	0,09	11,8	90,7	3,78	26,2	22,4

7. Особенно велико значение органических удобрений в повышении содержания гумуса в почве. Поддерживать бездефицитный баланс гумуса в почве можно только за счёт рационального использования органических удобрений.

Недостатки органических удобрений:

– более постоянное соотношение основных элементов питания;

– содержание азота, фосфора и калия в органических удобрениях по сравнению с минеральными – невысокое, поэтому их не перевозят на далекие расстояния;

– элементы питания в основном находятся в форме органических веществ, переходящих в усвояемые соединения постепенно. Поэтому удобрения обладают замедленным действием.

***Подстилочный навоз, его состав и свойства
в зависимости от вида животных и условий
их содержания***

Из всех видов органических удобрений, применяемых в сельском хозяйстве, главное место по объемам и удобрительным свойствам принадлежит навозу. Д.Н. Прянишников считал навоз «самым важным источником азота, фосфора и калия, как по громадным абсолютным их количествам, в нём содержащихся, так и по их дешевизне».

В зависимости от технологии содержания животных получают подстилочный и бесподстилочный (полужидкий и жидкий) навоз, который различается по составу, способам хранения и использования.

Состав и выход навоза. Подстилочный навоз состоит из твердых и жидких выделений животных и подстилки. Состав и удобрительная ценность его зависят от вида животных, состава кормов, качества и количества подстилки и способа хранения этого удобрения (табл. 139).

Таблица 139

Химический состав свежего навоза по данным НИУИФ, ВИУА
и других учреждений, %

Составная часть	Навоз на соломенной основе				Навоз на торфяной подстилке	
	КРС	конский	овец	свиней	КРС	конский
Вода	77,3	71,3	64,6	72,4	77,5	67,0
Органическое вещество	20,3	25,4	31,8	25,0	–	–
Азот (N) общий	0,45	0,58	0,83	0,45	0,60	0,80
Азот белковый	0,28	0,35	–	–	0,38	0,48

Составная часть	Навоз на соломенной основе				Навоз на торфяной подстилке	
	КРС	конский	овец	свиней	КРС	конский
Азот аммиачный	0,14	0,19	–	0,20	0,18	0,28
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,23	0,28	0,23	0,19	0,22	0,25
Калий (K ₂ O)	0,50	0,63	0,67	0,60	0,48	0,53
Кальций (CaO)	0,40	0,21	0,33	0,18	0,45	0,44
Магний (MgO)	0,11	0,14	0,18	0,09	–	–
Сера (SO ₃)	0,06	0,07	0,15	0,08	–	–
Хлор (Cl)	0,10	0,04	0,17	0,17	–	–
Кремний (SiO ₂)	0,85	1,77	1,47	1,08	–	–
Оксиды алюминия и железа (R ₂ O ₃)	0,05	0,11	0,24	0,07	–	–

Количество и соотношение твердых и жидких выделений животных и их состав значительно различаются у отдельных видов скота (табл. 140). У лошадей твердых выделений в 3,5 раза больше чем жидких, у овец и крупного рогатого скота – в 2,5 раза, а у свиней, наоборот, жидких выделений в 2 раза больше чем твердых.

Таблица 140

Состав подстилочного навоза (Агрохимия, 2002)

Вид животного	Количество экскрементов от 1 головы скота в сутки		
	твёрдых, кг	жидких, л	отношение твёрдых к жидким
Крупный рогатый скот:			
взрослый	20-30	10-15	2,0
молодняк до 1,5 лет	10-20	5-6	2,0
телята до 6 мес.	3-5	1,5-2,0	2,3
Свиньи	1,2-2,2	2,5-4,4	0,5
Овцы	1,5-2,5	0,6-1,0	2,5
Лошади	15-20	4-6	3,5

Твердые и жидкие выделения животных неравноценны по составу и удобрительным качествам (табл. 141). В жидких выделениях азота больше, чем в твердых, а фосфора, наоборот, значительно больше в твердых выделениях. Основное количество фосфора, выделяемого из организма животных,

находится в кале, а большая часть калия и азота от $\frac{1}{2}$ до $\frac{2}{3}$ – в жидких выделениях. Азот и фосфор в твердых выделениях содержатся в составе органических соединений и переходят в доступную для растений форму после минерализации. В жидких выделениях элементы питания растений находятся в растворимой, легкодоступной форме.

Таблица 141

Содержание (%) сухих веществ и питательных элементов в твёрдых (числитель) и жидких (знаменатель) выделениях животных (Агрохимия, 2002)

Вид животного	Сухое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
Крупный рогатый скот	$\frac{16}{6}$	$\frac{0,29}{0,58}$	$\frac{0,17}{<0,01}$	$\frac{0,10}{0,49}$	$\frac{0,34}{0,01}$	$\frac{0,13}{0,04}$	$\frac{0,04}{0,13}$
Свиньи	$\frac{18}{3}$	$\frac{0,60}{0,49}$	$\frac{0,41}{0,07}$	$\frac{0,26}{0,83}$	$\frac{0,09}{<0,01}$	$\frac{1,10}{0,07}$	$\frac{0,04}{0,08}$
Овцы	$\frac{35}{13}$	$\frac{0,55}{1,95}$	$\frac{0,31}{0,01}$	$\frac{0,15}{2,26}$	$\frac{0,46}{0,16}$	$\frac{0,15}{0,34}$	$\frac{0,14}{0,30}$
Лошади	$\frac{24}{10}$	$\frac{0,44}{1,55}$	$\frac{0,35}{<0,01}$	$\frac{0,35}{1,50}$	$\frac{0,15}{0,45}$	$\frac{0,12}{0,24}$	$\frac{0,06}{0,06}$

Навоз лошадей и овец содержит меньше воды и больше органического вещества, а также азота и фосфора, чем навоз крупного рогатого скота и свиней.

На состав и соотношение твердых и жидких выделений животных влияют количество и качество потребляемых кормов. Чем больше 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 содержание в навозе азота и фосфора возрастает. В среднем из потребляемого животными корма в навоз переходит около 40% органического вещества, 50 – азота, 80 – фосфора и до 95% калия.

Для увеличения выхода навоза и повышения его качества большое значение имеют вид и количество подстилочного материала. Подстилка улучшает физические свойства навоза, впитывает мочу и поглощает образующийся при её разложении аммиак, что уменьшает потери азота (табл. 142). Особое значение имеет способность подстилки поглощать жидкость и газы. Содержание в ней азота и зольных веществ также положительно сказывается на качестве навоза.

Таблица 142

Среднее содержание воды, питательных элементов и поглощательная способность подстилочных материалов, (Агрохимия, 2002)

Вид подстилки	Содержание, %					1 часть подстилки удерживает воды, частей	1 кг подстилки поглощает аммиака, г
	вода	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		
Солома злаков	14,3	0,5	0,25	1,00	0,30	1,8-3,0	0,8-3,7
Солома бобовых	16,0	1,5	0,35	0,60	1,60	2,8-3,3	5-8
Торф низинный	25,0	2,3	0,26	0,15	3,00	4,0-7,5	8-18
Торф верховой	30,0	1,0	0,10	0,06	0,25	9,0-18,0	15-30
Листья древесные	14,0	1,1	0,25	0,30	2,00	2,0-4,0	—
Опилки древесные	25,0	0,2	0,3	0,74	1,08	4,2-4,5	2-4

Наиболее распространенной подстилкой являются солома, торф, опилки. Сухая подстилка впитывает значительно больше жидкости, чем увлажненная. Верховой торф с влажностью 40-50% способен удерживать 8-10 частей жидкости, резаная солома озимой ржи – 4-6, опилки – 2-3 частей. Средние суточные нормы подстилки приведены в таблице 143.

С увеличением количества подстилки для коров с 2 до 6 кг почти в 1,5 раза увеличивается выход навоза и в 3-4 раза уменьшаются потери азота при его хранении.

Чаще всего для подстилки используют солому в виде резки длиной 9-15 см. В этом случае она больше впитывает жидкие выделения, равномернее увлажняется, навоз получа-

ется более однородный, плотнее укладывается в штабель и при хранении меньше теряет азота, его удобнее вносить в почву и можно равномернее распределить по полю. Потери азота из такого навоза уменьшаются почти в 2 раза, а эффективность повышается примерно в 1,5 раза.

Таблица 143

Количество подстилки на одну голову разных видов животных,
(кг в сутки) (Агрохимия, 2002)

Вид животных	Солома злаков, 15-20 % влажности	Торф верховой, 40 % влажности	Торф низинный, 45-50 % влажности	Древесная листва	Опилки
КРС	5,0-6,0	8,0-10,0	—	3,0-4,0	3,0-5,0
Лошади	4,0-5,0	6,0-8,0	5,0-6,0	2,0-3,0	2,0-4,0
Свиньи с поросятами	5,0-6,0	6,0-8,0	5,0-6,0	—	—
Хряки и свиноматки без поросят	3,0-4,0	4,0-5,0	4,0-5,0	1,5-2,0	2,0-3,0
Свиньи на откорме, масса 40-80 кг	2,0-3,0	3,0-4,0	3,0-4,0	1,0-2,0	2,0-3,0

Ценный подстилочный материал – торф, который содержит в 3-4 раза больше азота, чем солома. Он обладает значительно большей поглотительной способностью, почти полностью поглощает мочу и образующийся при её разложении аммиак.

Для подстилки лучше использовать слаборазложившийся (содержащий менее 20% гумифицированных органических веществ) верховой (моховой) торф влажностью 30-40%. При использовании в качестве подстилки более разложившегося низинного торфа его берут в удвоенном количестве и во избежание загрязнения животных застилают сверху слоем соломы. Навоз на торфяной подстилке содержит меньше калия, но больше общего и аммонийного азота, чем на соломенной подстилке. Эффективность его значительно выше, особенно на дерново-подзолистых почвах.

При использовании на подстилку мелкой стружки и древесных опилок получается навоз плохого качества. Он имеет низкое содержание азота и медленно разлагается.

В последнее время высказывается мнение о перспективности получения подстилочного навоза при содержании животных на глубокой, редко сменяемой подстилке, особенно в условиях фермерских хозяйств. Количество используемого подстилочного материала, прежде всего соломы, при этом может увеличиваться в 1,5-2 раза и составить до 9-12 кг соломенной резки на одну корову в сутки. Такая технология производства подстилочного навоза при отсутствии средств механизации для внесения подстилки в стойла, а затем уборки навоза может обеспечить получение большего количества навоза с минимальными энергетическими и материальными затратами и отвечает климатическим условиям России.

Выход навоза в хозяйстве можно рассчитать несколькими способами.

Первый способ. С учетом экскрементов и подстилки определяют выход навоза от одной головы животного за стойловый период ($B_{сп}$), а затем – от всех животных (K):

$$H, t = B_{сп} \times K.$$

В таблице 144 приведён возможный выход от одного животного при содержании на соломенной подстилке.

Таблица 144

Возможный выход подстилочного навоза за стойловый период от одного животного при содержании на соломенной подстилке, т,

Вид скота	Продолжительность стойлового периода, дней	
	200-220	220-240
КРС	7,0-9,0	8,0-10,0
Лошади	4,0-5,0	6,0-7,0
Свиньи взрослые	1,5-2,0	2,0-2,5
Овцы	0,8	1,0

Данные, приведенные в таблице 135, являются ориентировочными. В одном и том же районе, или даже хозяйстве выход навоза может изменяться в зависимости от наличия кормов, нормы и вида подстилки даже в течение недели. Следует предполагать также, что фактический выход навоза окажется значительно ниже, чем рассчитанный за счёт неизбежных потерь его жидкой фракции, при транспортировке и хранении.

Второй способ (автор Буссенго). Количество навоза, т (Н) рассчитывают умножением количества израсходованного корма (К) и подстилки (П) на 2:

$$H = (K + П) \times 2.$$

Третий способ (автор Вольф). Количество навоза определяют по формуле:

$$H = \left(\frac{K}{2} + П \right) \times 4,$$

где $\frac{K}{2}$ - количество сухого вещества корма, переходящего в навоз;

K – масса сухого вещества кормов, потребляемых за стойловый период, т;

$П$ - количество подстилки, т;

4 - коэффициент пересчета (масса сырого навоза в 4 раза больше чем масса сухого вещества корма);

2 – коэффициент для вычисления массы сухого вещества, переходящего в состав навоза (условно принимается, что коэффициент переваримости 50%).

Четвёртый способ. Определение выхода свежего подстильного навоза по способу ВИУА:

$$H, т = [(C-A) \times (100-K) \times 10 + A] \times 10 + П,$$

где C – масса сухого вещества кормов, потребляемых животными в течение стойлового периода, т;

A – потери сухого вещества кормов, попадающих в навоз, в течение стойлового периода, т;

K – коэффициент переваримости сухого вещества кормов, % (составляет в среднем для КРС 60 %, для свиней – 70 %);

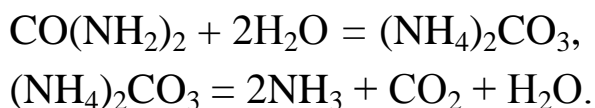
IO – коэффициент для вычисления выхода экскрементов при характерной для них влажности (90 %);

$П$ – масса сухого вещества подстилки, используемой в течение стойлового периода, т.

Основные способы хранения подстилочного навоза

Количество и качество навоза в значительной степени зависят от способа его хранения. При хранении навоза под влиянием микроорганизмов происходит разложение азотистых и безазотистых органических веществ.

Мочевина и другие органические азотистые соединения, содержащиеся в жидких выделениях животных, превращаются в газообразный аммиак, представляющий основной источник потерь азота из навоза, а под действием фермента уреазы, выделяемого уробактериями, может переходить в карбонат аммония, который легко распадается на аммиак, диоксид углерода и воду:



Азотистые соединения твердых выделений и подстилки представлены в основном белковыми веществами, и очень медленно разлагаются с образованием аммиака.

В состав безазотистых органических веществ навоза входят клетчатка и другие легко разлагающиеся соединения

углерода. Чем соломистее навоз, тем больше в нем безазотистых органических веществ. При доступе воздуха разложение их происходит до диоксида углерода и воды и сопровождается повышением температуры навоза до 50-70⁰ С. В анаэробных условиях клетчатка разлагается с образованием диоксида углерода и метана. При большем содержании в навозе легко-разлагающихся органических веществ и лучшем доступе воздуха разложение его протекает интенсивнее.

В зависимости от условий хранения разложение навоза происходит с разной интенсивностью и навоз получается неодинакового качества. Существуют плотный, рыхлый и рыхлоплотный способы хранения навоза.

При *плотном*, или *холодном*, *хранении* навоз укладывают слоями шириной 3-4 м и немедленно уплотняют. Штабель делают высотой 1,5-2 м, а длиной – в зависимости от количества навоза. Сверху его покрывают торфом или соломой. Температура в таком плотно уложенном штабеле невысокая (20-30° С), доступ воздуха в него ограничен, свободные от воды поры заняты диоксидом углерода. В результате микробиологическая деятельность затрудняется, поэтому разложение органического вещества протекает медленно.

Свежий навоз становится полуперепревшим через 3-5 месяцев, а перепревшим – через 7-8 месяцев. Потери азота при таком способе хранения сравнительно небольшие. Навоз, хранившийся плотным способом, содержит значительное количество аммонийного азота. Эффективность его гораздо выше, чем при других способах хранения.

При *рыхлом (горячем) способе хранения* навоз укладывается, как и при вышеописанном способе, с той лишь разницей, что не производится уплотнение. Навоз очень быстро разогревается, при этом теряется большое количество орга-

нического вещества и аммиачного азота. Полуперепревшее состояние навоз приобретает за 1,5-2 месяца. Такой способ применяют, когда используется большое количество соломенной подстилки (не менее 5-6 кг в сутки на одну голову скота) и при желании получить в кратчайшие сроки перепревший навоз. Рыхлый способ хранения навоза используют еще, когда ветеринарный врач устанавливает необходимость этого приема для борьбы с глистными и другими заболеваниями животных. При высокой температуре происходит их гибель и обеззараживание навоза.

При *рыхлоплотном хранении* навоз укладывают в штабель шириной 2-3 м и высотой 0,8-1 м, без уплотнения, рыхло на 6-7 дней, после того как температура в нём поднимется до 60-75°C. Затем навоз тщательно уплотняют, при этом доступ воздуха внутрь штабеля прекращается, температура снижается до 30-35⁰ С, аэробные условия разложения сменяются анаэробными, потери органического вещества и азота уменьшаются. На первый слой навоза в том же порядке накладывают второй, затем третий и так до тех пор, пока высота штабеля не достигнет 2-3 м. До полуперепревшего состояния навоз доходит за 2-3, а перепревшего за 5-6 месяцев. Потери азота могут достигать 30%.

При таком способе хранения разложение навоза значительно ускоряется, в нём погибают семена сорных трав и возбудителей желудочно-кишечных заболеваний, а потери органического вещества и азота значительно увеличиваются.

Рыхлоплотный способ хранения также можно рекомендовать при использовании большого количества подстилки, и когда навоз получается солоmistый. Такой способ хранения используют также, если вносить его нужно весной под яровые или пропашные культуры, или если необходимо провести обеззараживание навоза.

Потери азота при разложении навоза во время хранения значительно сокращаются при добавлении к нему (при укладке в штабеля) фосфоритной муки в количестве 2-3% от массы навоза. При компостировании с фосфоритной мукой навоз обогащается фосфором, разложение органического вещества ускоряется, в компосте накапливается значительное количество гумусовых веществ. Полученный таким образом *навозно-фосфоритный компост* созревает за 2-3 месяца в весенне-летнее время и за 3-4 месяца зимой. В процессе разложения навоза микроорганизмами под действием образующегося CO_2 и органических кислот фосфор фосфоритной муки переходит в доступную для растений форму. Одновременно происходит связывание выделяющегося из навоза аммиака с образованием $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, и потери его сокращаются.

Навоз может храниться в штабелях в поле или навозохранилищах и под скотом. При хранении под скотом – способ дешёвый и не требует специальных навозохранилищ.

Навозохранилища могут быть наземного или котлованного типа. В северных районах при высоком уровне грунтовых вод навозохранилища устраивают на поверхности земли с боковыми бортами из камня, кирпича или других материалов. В южных и юго-восточных засушливых районах, где навоз подсыхает, рекомендуют навозохранилища котлованного типа глубиной до 1 м. Навозохранилища располагают на возвышенных местах на расстоянии не менее 50 м от скотных дворов и свыше 200 м от жилых построек. Ширина котлована навозохранилища должна соответствовать 2-кратной и более ширине тележек или грузовых автомобилей, а глубина 0,7-1 м, длина зависит от получаемого навоза. Дно и стенки навозохранилища должны быть водонепроницаемы. Колодец для сбора жижи, выделяющейся при хранении навоза, устраивают на расстоянии 1,5-2 м от хранилища и окружают канавой для воды.

Размеры навозохранилища зависят от поголовья скота, продолжительности хранения и от того, какое количество навоза можно вывозить непосредственно на поля, минуя навозохранилище. Примерная площадь на одно животное для хранения навоза в течение 2,5-3 месяцев следующая (в м²): крупный рогатый скот – 2-2,5, молодняк крупного рогатого скота – 1-1,25, свиньи – 0,4-0,5, овцы – 0,2-0,3. Вместимость жижеборников зависит от объема навозохранилища – около 2 м³ на 100 м² площади навозохранилища.

Типовое навозохранилище, рассчитанное на хранение навоза от 100 коров, получаемого в течение 2,5-3 месяцев (около 300 т), имеет объем около 100 м³.

Ежегодно около 70% накапливаемого в хозяйствах навоза вывозят зимой в поле. Навоз в поле необходимо укладывать в большие, хорошо уплотненные штабеля (по 40-60 т) шириной 3-4 и высотой 1,5-2 м. Для закладки штабеля выбирают высокое сухое место, очищают его от снега и для поглощения жижи, которая выделяется при разложении навоза, укладывают слой (20-30 см) торфа или соломенной резки. Чтобы навоз не замерзал, укладку каждого штабеля необходимо осуществлять за 1 - 2 дня. Уложенный в штабель навоз с боков и сверху тщательно оправляют, чтобы стенки были отвесные, а верх имел покатость для стока воды. Сверху штабель покрывают слоем торфа толщиной 15-20 см.

Недопустима укладка навоза, вывезенного в поле зимой или весной, мелкими кучами. Навоз при этом сильно выветривается и пересыхает, а зимой промерзает и затем долго оттаивает, питательные вещества из него вымываются дождевыми и талыми водами. В таком случае потери азота достигают 40%, причем, аммиачный азот, который доступен растениям в первый год, теряется полностью. Удобрительное действие навоза при этом резко снижается.

Качество навоза во многом зависит от продолжительности его хранения: с увеличением срока хранения потери азота и органического вещества из навоза возрастают. В зависимости от способа и продолжительности хранения навоз получается различной степени разложения.

По степени разложения подстилочный навоз делят на 4 вида.

1. Свежий, слаборазложившийся навоз. В таком виде подстилка (солома, торф, опилки и др.) сохраняют цвет и прочность, вытяжка из навоза получается мутной, иногда зеленоватого или красновато-жёлтого цвета, наименьшие потери органической массы.

2. Полуперепревший навоз. Подстилка в нём теряет прочность, солома и опилки приобретают темно-коричневый цвет, вытяжка из такого навоза густая черного цвета. При разложении навоза до такого состояния теряется 20-30% первоначальной его массы, аммонийного азота за 2 месяца – 10-20%.

3. Перепревший навоз. Представляет темную, мажущуюся массу, соломы не видно. При разложении до такого состояния навоз теряет 50% первоначальной массы, потери азота в виде аммиака могут составлять до 30-45%.

4. Перегной (навоз сыпец). Представляет рыхлую землистую массу. При разложении до такого состояния навоз теряет до 70% первоначальной массы, и аммонийного азота до 60% в виде аммиака за 5-6 месяцев хранения.

В перепревшем навозе и перегное относительное (процентное) содержание азота, фосфора и калия выше, чем в полуперепревшем, однако из 20 т свежего навоза получают 17-14 т полуперепревшего, 10 т перепревшего и 5-7 т перегноя. Общее содержание азота в этой массе навоза разной степени

разложения составляет 104 кг в свежем навозе, 84-102 – в полуперепревшем, 66 – в перепревшем и 37-51 кг – в перегное. Таким образом, в перепревшем навозе и перегное теряется больше азота (соответственно, около 40 и 60% исходного количества), тогда как в полуперепревшем – только 15%.

Не рекомендуется вносить в почву свежий солоmistый навоз, так как разложение соломы в почве сопровождается развитием большого количества микроорганизмов и потреблением ими растворимых соединений азота и фосфора из почвы. Внесение солоmistого навоза незадолго до посева может привести к снижению урожая первой культуры. Кроме того, свежий навоз содержит большое количество семян сорных растений, а также вызывает излишнюю аэрацию почвы, вредную для засушливых районов.

Наиболее рационально применение навоза в полуперепревшем состоянии, здесь лучше сохраняется азот, особенно аммонийный, и содержится больше органического вещества, чем в хорошо перепревшем навозе.

В свежем и полуперепревшем навозе нитратов не бывает, так как бактерии нитрификаторы очень чувствительны к высокой температуре, которая бывает в начале его хранения. Не бывает нитратов в навозе при плотном хранении, так как нитрификация в анаэробных условиях не происходит. Очень важным показателем навоза является отношение в нём углерода к азоту (C:N). Навоз, в котором содержание общего азота в его сухой массе не ниже 2% и соотношение C:N не превышает 20:1, можно вносить под любую культуру, не опасаясь, что он вызовет азотное голодание в начальный период их развития. Чем меньше отношение C:N и чем больше азота в навозе, тем качественнее навоз и выше его удобрительное свойство. К сожалению, многие агрономы в своей практиче-

ской работе не придают этому большого значения и ограничиваются лишь химическим составом навоза.

Фактическое количество навоза на скотных дворах, в навозохранилищах и штабелях определяется по занятому им объему и массе 1 м³ навоза. Примерная масса 1 м³ свежего рыхлосложенного и уплотненного навоза составляет, соответственно, около 300 и 500 кг, полуперепревшего – 700-800, а сильноразложившегося – 800-900 кг.

Время внесения и глубина заделки навоза в почву

Навоз из навозохранилища или штабелей, сложенных в поле, следует равномерно разбросать по площади поля с помощью навозоразбрасывателей и немедленно запахать. Задержка с заделкой навоза в почву только на один день приводит к большим потерям азота и снижению эффективности удобрения.

Лучше всего вносить навоз с осени под зяблевую обработку почвы. В осенний период навоз в почве подвергается минерализации, и к периоду весенних полевых работ, посеву или посадке культур могут накопиться в достаточных количествах элементы питания в доступной форме для них. К тому же осеннее внесение навоза позволяет избежать весенней перепашки почв агроценоза под пропашные культуры, которая ведет к потере влаги из почвы. Это особенно важно для засушливых районов.

В Нечерноземной зоне хороший полуперепревший навоз под пропашные культуры позднего посева и парозанимающие можно вносить также весной под перепашку зяби. Если по какой-то причине навоз не был внесен под парозанимающую культуру весной, то его можно внести непосред-

ственно под рожь, после уборки занятого пара (вико-овес, горохо-овес, люпин однолетний, картофель ранний и другие культуры).

В чистые пары навоз вносят и заделывают в почву в летнее время. Вспаханные пары с осени рано весной рекомендуется проборонить, затем прокультивировать, а в начале июня снова вспахать (носит название перепашка пара). Под эту вспашку и следует вносить навоз. Помимо сплошного осовного внесения навоз можно вносить местно: в гнезда, лунки, борозды. При таком способе используется только хорошо перепревший навоз и в небольших дозах – 1-2 т/га. Местное внесение навоза применяется при посадке картофеля, высадке рассады капусты, томата и некоторых других культур. Более целесообразно местно вносить органоминеральные смеси, особенно под картофель, томаты с добавлением суперфосфата.

В зависимости от почвенных и климатических условий глубина заделки навоза может колебаться от 12 до 22 см. В засушливых районах необходимо более глубоко заделывать навоз, чем во влажных. На тяжелых почвах, где разложение навоза затруднено, лучше запахивать его на меньшую глубину (12-14 см), а на легких – заделывать глубже (на 20-22 см).

В севообороте навоз необходимо применять, прежде всего, под овощные (на первое место можно поставить огурец и капусту) и пропашные культуры (картофель, кукурузу, сахарную свеклу, кормовые корнеплоды), а также под озимые зерновые культуры. Они наиболее требовательны к условиям питания и дают большие прибавки урожая по сравнению с другими культурами.

При сочетании навоза и минеральных удобрений в хозяйстве возможны одновременная заделка их в почву, внесе-

ние на одной площади, но в разные сроки и, наконец, внесение навоза на одни поля (под пропашные), а минеральных удобрений – на другие (под зерновые культуры). Из минеральных удобрений к подстилочному навозу в первую очередь следует добавлять азотные и фосфорные туки.

В таблице 145 приведены среднерекомендуемые дозы подстилочного навоза под некоторые сельскохозяйственные культуры, выращиваемые на дерново-подзолистых и серых лесных почвах Предуралья. Эти дозы могут изменяться в сторону снижения или увеличения, исходя из наличия навоза в хозяйстве, плодородия почв, типа севооборота и других факторов.

Таблица 145

Дозы подстилочного навоза под сельскохозяйственные культуры

Культура	Среднерекомендуемая доза, т/га	Вносится с этими дозами, кг/га			Используется в первый год действия, кг/га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая рожь по чистому пару	40-60	200-300	100-150	240-360	50-75	30-45	120-180
Озимая рожь по занятому пару (горохо-овёс, вико-овёс)	40-60	200-300	100-150	240-600	50-75	30-45	120-180
Картофель	60-80	300-400	150-200	360-480	75-100	45-60	180-240
Кукуруза, подсолнечник на зелёную массу	60-80	300-400	150-200	360-480	75-100	45-60	180-240
Огурец в открытом грунте	80-100	400-500	200-250	480-600	100-125	60-75	240-300
Свёкла кормовая, турнепс	40-60	200-300	100-150	240-360	50-75	30-45	120-180
Капуста белокочанная	40-80	200-400	100-200	240-480	50-80	30-60	120-240

Озимые зерновые требуют менее высоких доз, чем картофель, кукуруза, свёкла. Самые высокие дозы навоза вносят под огурцы, капусту, силосные, корнеплоды. Дозы навоза за-

висят также от возможности хозяйств, то есть от наличия поголовья скота и накопления навоза. При недостатке навоза в хозяйстве целесообразно использовать его в меньших дозах, но на большей площади. При сохранении бездефицитного баланса гумуса в почве необходимо иметь следующую насыщенность одного гектара пашни: полевые севообороты – 4-6 т/га, пропашные – 7-9 т/га, овощные – 10-12 т/га.

При планировании урожайности озимой ржи 30-35 ц/га, картофеля – 250-300 ц/га, зелёной массы кукурузы – 500-600 ц/га, капусты – 500-700 ц/га, свеклы – 350-400 ц/га и коэффициентах использования азота – 25%, фосфора – 30%, калия – 50% культурам будет недоставать азота и фосфора, эти элементы необходимо довести за счёт минеральных удобрений. При внесении указанных доз в пару под озимую рожь, дополнять их минеральными удобрениями не рекомендуется, так как в пару накапливается 60-70 кг нитратного азота за счёт самой почвы. При хорошо перезимовавшей ржи и густом травостое, рано весной в качестве подкормки рекомендуется внести 30-45 кг азота, что составляет 0,9-1,3 ц аммонийной селитры или 0,7-1,0 ц мочевины.

Вопрос о том, можно ли вносить навоз под яровые культуры остается дискуссионным. В условиях Предуралья подстилочный навоз под зерновые яровые можно рекомендовать в том случае, если соблюдаются следующие основные требования:

- используется хорошо перепревший навоз;
- навоз вносится в небольших дозах 15-20 т/га;
- навоз вносится с осени под зяблевую вспашку;
- в хозяйствах имеется достаточное количество навоза, и он в оптимальных количествах используется в чистых и занятых парах, под картофель, овощи и другие культуры.

Недопустимо под яровые культуры вносить свежий и полуперепревший навоз по той причине, что он содержит большое количество непогибших семян сорной растительности, которые могут сильно засорять поля. Высокие дозы навоза могут затягивать вегетацию яровых, что в условиях короткого лета может привести к поздней уборке.

Эффективность навоза и особенности его применения в различных почвенно-климатических условиях

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур, особенно в Нечерноземной зоне, в значительной степени зависит от количества и качества применяемого навоза, правильности его хранения и использования. По данным научных учреждений зоны, дозы навоза в 20-30 т/га дают в год внесения следующие прибавки урожая (т/га): зерновых – 0,6-0,7, картофеля – 6-7, корнеплодов и силосных культур – 15-20. Правильное использование навоза обеспечивает высокий эффект во всех зонах страны и на всех типах почв, практически не уступая действию минеральных удобрений.

Навоз обладает значительным последствием. Опыты показывают, что 20-30 т навоза обеспечивают суммарную прибавку урожая 4-5 культур севооборота, равную в пересчете на зерно 2-3 т/га, то есть каждые 10 т внесенного в почву навоза дают за время его действия прибавку урожая сельскохозяйственных культур, эквивалентную 1 т зерна.

Прямое действие (в год внесения) и последствие навоза зависят от качества и дозы навоза, а также от почвенно-климатических условий. Слаборазложившийся солоmistый навоз в первый год может действовать хуже, чем во второй и третий годы. Чем больше доза навоза, тем выше его прямое действие и продолжительнее последствие.

Коэффициент использования азота из полуперепревшего навоза первой культурой зависит от содержания в нём аммонийного азота и составляет в среднем 20-30% общего количества азота (табл. 146). В первый год растения усваивают главным образом аммонийный 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 содержится преимущественно в форме растворимых соединений, легко превращающихся в аммиак. Поэтому чем больше жидких выделений поглощается подстилкой, тем богаче навоз аммонийным азотом и тем выше действие такого навоза в первый год после внесения. Навоз на торфяной подстилке обычно содержит больше аммонийного азота, поэтому и эффективность его в первый год выше, чем навоза на соломенной подстилке.

Таблица 146

Возможные коэффициенты использования питательных элементов из органических удобрений с учётом действия и последствия
(Анспок П.И., 1981)

Продолжительность действия	Коэффициент использования, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
За ротацию	50-60	50-60	75-85
В том числе:			
за 1-й год	20-30	35-45	50-60
за 2-й год	25-20	15-10	20-15
за 3-й год	5-10	0-5	5-10

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 растениями в первый год хуже, фосфор – лучше (по-

чти в 2 раза, чем фосфор суперфосфата при разбросном внесении), а калий – примерно так же.

Доступность отдельных питательных веществ навоза растениям зависит от его качества, а также от почвенно-климатических условий территории.

На глинистых почвах навоз разлагается медленно, последствие его сказывается даже на 6-7-й год после внесения, на супесчаных почвах навоз разлагается быстрее, и действие его не столь длительно (3-4 года). В более увлажненной Нечерноземной зоне разложение навоза происходит быстрее, чем в засушливых южных и юго-восточных районах, где навоз разлагается слабее из-за недостатка влаги в почве. Поэтому в Нечерноземной зоне его прямое действие выше, чем в Центрально-Черноземной, а последствие может быть ниже. В засушливых юго-восточных районах последствие часто превышает прямое действие на первую культуру.

Однако урожай одних культур (клевер, пшеница, свёкла) 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 имеет навоз, а на некислых почвах – минеральные удобрения, или они равноценны навозу.

Наиболее рационально внесение навоза с минеральными удобрениями. При этом действие навоза и минеральных удобрений заметно возрастает. При совместном внесении половинных доз навоза и минеральных удобрений получают более высокие прибавки урожая (на 20-60%), чем при раздельном применении полных доз этих удобрений. Объясняется это тем, что при совместном внесении создаются более благоприятные условия питания растений, чем при раздель-

ном. За счёт минеральных удобрений обеспечивается питание растений в начальный период вегетации, а навоз, постепенно разлагаясь в почве, снабжает растения питательными веществами ко времени наибольшей потребности в них. Кроме того, вследствие уменьшения вдвое дозы минеральных удобрений, исключается отрицательное действие на отдельные растения повышенной концентрации солей, особенно опасной в начальный период роста.

При внесении навоза, прежде всего, обеспечивается калийное питание растений. Однако удобрительное действие навоза определяется, главным образом, содержанием в нем общего и аммонийного азота, так как в большинстве почв, особенно Нечерноземной зоны, для нормального питания растений в первую очередь не хватает азота. Дополнительное внесение минеральных удобрений, содержащих азот и фосфор, существенно повышает эффективность навоза.

Вопросы для повторения:

1. Понятие органических удобрений, их перечень, значение в круговороте питательных веществ в земледелии, понятие насыщенности органическими удобрениями в хозяйстве, в севообороте. 2. Перечислите основные виды органических удобрений. 3. Какова роль органических удобрений в питании растений и регулировании плодородия почв? 4. Что такое подстилочный навоз и от чего зависит вещественный и элементный его состав? 5. Виды навоза по способу получения, их состав, доступность элементов питания для растений. 6. Каковы составы подстилочных материалов и их роль в накоплении навоза? 7. От чего зависит общий выход навоза на конкретной ферме? 8. Перечислите способы хранения и степени разложения навоза. 9. Как действует навоз на почву и растения? 10. Какова доступность растениям питательных элементов навоза и от чего она зависит? 11. Какие условия нужно учитывать при установлении места и дозы внесения навоза в севооборотах? 12. Как влияют сроки и способы внесения навоза в почву на его эффективность? 13. Дозы внесения под основные сельскохозяйственные культуры. Техника для внесения навоза. 14. Процессы, происходящие при разложении навоза в период его хранения, подготовки. Мероприятия по сокращению потерь азота из навоза.

Лекция 2. Бесподстилочный навоз, навозная жижа, птичий помёт, торф, их состав, свойства, применение

- Состав и выход бесподстилочного навоза.
- Хранение бесподстилочного навоза.
- Применение бесподстилочного навоза.
- Навозная жижа.
- Птичий помёт.
- Торф, состав и свойства.
- Компосты на основе торфа, способы их приготовления и применение.
- Дозы, сроки, способы эффективного применения торфа, торфяных компостов.

Состав и выход бесподстилочного навоза

При ограниченном использовании подстилочного материала (до 1 кг на корову в сутки) получается навоз влажностью до 85-87 %. Накопление смеси твердых и жидких выделений животных при небольшом количестве подстилки позволяет полностью механизировать очистку животноводческих помещений, однако получаемый навоз имеет неблагоприятные для транспортировки и внесения физические свойства. Потери азота из такого навоза даже при хранении в закрытых навозохранилищах достигают больших размеров, и перед его внесением в почву требуется предварительное компостирование с торфом или землей.

На крупных специализированных фермах и животноводческих комплексах практикуют бесподстилочное содержание животных, при котором получается бесподстилочный жидкий навоз – подвижная смесь кала, мочи и технологической воды (попадающей в навоз при уборке помещения, мытье кормушек, из автопоилок). Такой навоз обладает текуче-

стью и легко поддается перекачке по трубам самотеком и с помощью насосов.

Средний выход бесподстилочного навоза от одной головы крупного рогатого скота составляет 50-60 л/сут. (30-35 л кала и 15-20 л мочи, 5 л технологических вод), от одной свиньи – 12 л/сут. (8 л кала, 2 л мочи и 2 л воды). В производственных условиях за счёт технологических вод выход навоза по сравнению с количеством экскрементов животных может увеличиться на 25%.

В зависимости от содержания воды бесподстилочный навоз бывает *полужидким* (влажность до 92%) или *жидким* (влажность за счёт технологических вод достигает 92-97%). Смесь экскрементов, значительно разбавленную водой (влажность более 97%), называют *навозными стоками*. Объемная масса бесподстилочного навоза близка к 1, то есть масса 1 м³ составляет 1 т.

В бесподстилочный навоз из кормов переходит в среднем 50-80% азота, 60-80% фосфора, 80-95% калия, 80-90% кальция и 60% органического вещества. После разбавления бесподстилочного навоза водой концентрация питательных элементов и органического вещества в нем снижается. Химический состав бесподстилочного навоза в зависимости от его влажности приведен в таблице 147.

Таблица 147

Химический состав бесподстилочного навоза в зависимости от его влажности, % на сырое вещество (среднее по различным источникам)

Питательные вещества	Состав при влажности		
	88-90%	92-94%	96-98%
Навоз КРС			
N	0,30-0,40	0,20-0,30	0,07-0,15
P ₂ O ₅	0,15-0,25	0,10-0,15	0,03-0,10
K ₂ O	0,30-0,40	0,20-0,30	0,07-0,15
Навоз свиней			
N	0,40-0,50	0,25-0,35	0,08-0,20
P ₂ O ₅	0,20-0,25	0,12-0,17	0,04-0,08
K ₂ O	0,15-0,22	0,08-0,15	0,04-0,08

Химический состав бесподстилочного навоза зависит от вида животных и используемых кормов. Навоз откормочных бычков содержит больше азота, фосфора и калия, чем навоз коров и молодняка крупного рогатого скота. При откармливании свиней зернофуражом в навозе увеличивается содержание сухого вещества, а при скармливании картофеля, наоборот, увеличивается процент воды.

Неразбавленный жидкий навоз крупного рогатого скота и свиней, полученный на крупных фермах и промышленных комплексах, соответственно, содержит (%): сухого вещества—10-11,5 и 9,8-10,5; азота — 0,40-0,43 и 0,5-0,7; фосфора — 0,28-0,20 и 0,40-0,25; калия — 0,45-0,50 и 0,21-0,24.

В бесподстилочном навозе от 50 до 70% азота находится в аммонийной форме, хорошо доступной растениям в первый период внесения. Поэтому коэффициент использования культурами азота бесподстилочного навоза и действие его на урожай в год внесения выше, чем подстилочного, а последствие, наоборот, слабее. Фосфор и калий навоза используются растениями не хуже, чем из минеральных удобрений.

Реакция бесподстилочного навоза зависит от вида кормов и способов хранения, рН колеблется от 6,5 до 8,5. Кроме макроэлементов в бесподстилочном навозе содержатся микроэлементы и тяжелые металлы. В 1 т навоза КРС влажностью 92 % содержится 28 г меди, 22 г марганца, 12 г цинка, 2,4 г бора, а в 1 т свиного навоза влажностью 95 % — 2,9 г меди, 12 г марганца, 32 г цинка, 0,01 г молибдена. В бесподстилочном навозе отношение С:N более узкое, чем в подстилочном, и колеблется от 5:1 до 10:1. Такое соотношение характеризует бесподстилочный навоз как органическое удобрение. В связи с тем, что в бесподстилочном навозе невысокое содержание углерода, поэтому биохимические процессы протекают медленнее, чем в подстилочном навозе.

На крупных животноводческих комплексах выход бесподстилочного навоза при самосплаве составляет для комплексов на 1200 коров около 30 тыс. т в год, на 10 тыс. бычков – около 110 тыс. т, на 100 тыс. свиней – около 100 тыс. т в год. Использование такого громадного количества навоза возможно только при полной механизации и автоматизации всех процессов транспортировки, хранения и применения.

Удаление бесподстилочного навоза может быть механическим – с помощью транспортёров, самосплавом – самотёком по сплавным каналам и гидросмывом с помощью воды.

Применение системы прямого гидросмыва приводит к разбавлению навоза водой в 2-3 раза, соответственно, возрастает потребность в ёмкостях для хранения и транспортных средствах для вывозки и внесения навоза. По мере разбавления навоза водой экономическое преимущество бесподстилочного содержания животных по сравнению с подстилочным утрачивается. Разбавление навоза водой целесообразно лишь непосредственно перед внесением его с одновременным поливом или орошением.

Хранение бесподстилочного навоза

Бесподстилочный навоз хранят, в зависимости от почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условий, от 2 до 6 мес. Для этого необходимы прифермские и полевые хранилища. Ёмкость прифермских хранилищ закрытого типа должна составлять 25-40% объема навоза, накапливаемого в течение 2-3 месяцев. Остальные 75-60% навоза хранят в полевых навозохранилищах, представляющих собой открытые котлованы с пленочным покрытием дна и откосов, размещаемых в центре удобряемых массивов. Потери азота в закрытых и открытых хранилищах примерно одинаковые.

Потери органического вещества и азота при хранении бесподстилочного навоза составляют, соответственно, при зимнем хранении 5-8 и 9-8%, при летнем – 9-15 и 4-14% (табл. 148). Это значительно меньше, чем при хранении подстилочного навоза. В бесподстилочном навозе процессы самосогревания не протекают, его температура не повышается (зимой и весной она составляет около 10^0 С, летом 17^0 С). При перемешивании бесподстилочного навоза один раз в неделю потери органического вещества и азота за 4,5 месяца хранения увеличиваются почти вдвое, но они все же меньше, чем при хранении подстилочного навоза.

Таблица 148

Потери органического вещества и азота из навоза при хранении
в течение 3-4 месяцев, %

Навоз	Влажность, %	Способ хранения	Сухое вещество	Органическое вещество	Азот (общий)
Зимнее хранение					
Подстилочный	82,0	Штабель	28,7	32,1	38,2
Полужидкий	88,2	Закрытое навозохранилище	Нет	Нет	1,8
		Открытое навозохранилище	7,8	8,0	Нет
Жидкий	92,0	Закрытое навозохранилище	4,1	5,8	3,3
		Открытое навозохранилище	3,6	5,3	Нет
Летнее хранение					
Подстилочный	81,0	Штабель	30,4	37,0	35,9
Полужидкий	89,4	Закрытое навозохранилище	14,1	14,9	6,9
		Открытое навозохранилище	9,9	11,8	7,0
Жидкий	93,2	Закрытое навозохранилище	11,7	13,4	5,5
		Открытое навозохранилище	6,5	8,6	2,9

При хранении бесподстилочный навоз расслаивается. Сверху образуется плотный плавающий слой, снизу – осадок, а между ними – осветлённая жидкость. Поэтому для надёжной работы насосов, цистерн-разбрасывателей, дождевальных установок и равномерного внесения навоза необходимо его систематическое перемешивание для поддержания всей массы в однородном состоянии. Твёрдые 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 ёмкости с гидрантами для непосредственной погрузки в цистерны-разбрасыватели или дождевальные установки. Прифермское хранилище имеет объём не более 3-5 тыс. м³. Дно и стены ёмкости должны быть хорошо гидроизолированы и устойчивы к агрессивному воздействию навоза, а дно должно иметь уклон к заборному устройству. Глубина и форма хранилища должны позволять проводить забор навоза насосами и перемешивать его. Закрытые ёмкости снабжают вентиляцией во избежание накопления в них метана, сероводорода, аммиака и других вредных газов, образующих взрывоопасные смеси.

Применение бесподстилочного навоза

Для транспортировки и внесения бесподстилочного навоза на поверхность почвы используют специальные цистерны-разбрасыватели. Их загрузку осуществляют фекальными насосами из карантинных ёмкостей или навозохранилищ.

При отсутствии устройств для измельчения твёрдых включений, перемешивания и гомогенизации жидкого навоза его можно использовать после предварительного разделения

на твердую и жидкую фракции. Жидкая фракция содержит 75-80% питательных веществ, имевшихся в навозе, и представляет собой хорошее удобрение, которое хранят в навозохранилищах. Твердую фракцию, имеющую влажность 65-67%, укладывают в штабеля и используют как и подстилочный навоз.

Для снижения затрат на хранение, транспортировку и внесение жидкого навоза, в условиях крупных животноводческих комплексов практикуют круглогодичное внесение бесподстилочного навоза на близлежащие (до 4 км) поля (прежде всего, в кормовых севооборотах) и для удобрения культурных сенокосов и пастбищ. Применение жидкого навоза зимой на затопляемых площадях и склонах, где возможен смыв его при весеннем снеготаянии, недопустимо. Подкормку пастбищ жидким навозом проводят сразу же после стравливания или не позднее, чем за 25-30 дней до очередного стравливания, чтобы не ухудшить поедаемость зелёного корма.

В ВИУА определены годовые дозы бесподстилочного навоза под основные сельскохозяйственные культуры (с учетом количества вносимого с ним азота), оказывающие положительное влияние на растения (табл. 149). Они составляют, т/га (азота, кг/га): под озимые зерновые – 25-35 (100-140), картофель – 30-60 (120-240), кормовую и сахарную свеклу на корм скоту – 80-90 (320-360), сахарную свеклу фабричную – 50-60 (200-240), кукурузу на зелёный корм и силос – 60-80 (240-320), многолетние злаковые и злаково-бобовые травы на сено и зелёный корм – 60-80 (240-320), естественные сенокосы и пастбища – 50-80 (200-320), орошаемые культурные пастбища – 75-90 (300-360), однолетние травы – 30-50 (120-200). Дозы навоза приведены из расчета среднего содержания в нём азота 0,4%.

Дозы бесподстилочного (жидкого) навоза сильно изменяются в зависимости от плодородия почв, вида растений, плотности почвы, рельефа местности, времени года и многих других причин. Нет, и не может быть единых доз под культуры даже в одном и том же хозяйстве.

Таблица 149

Максимальные дозы бесподстилочного навоза
крупного рогатого скота

Культура	Максимальная годовая доза	
	азота, кг/га	навоза (с содержанием азота 0,4 %), т/га
Картофель	120-240	30-60
Сахарная свёкла фабричная	200-240	50-60
Кормовая и сахарная свёкла на корм скоту	320-360	80-90
Кукуруза на зелёный корм и силос	240-320	60-80
Многолетние злаковые и бобово-злаковые травосмеси на сено и зелёный корм	240-320	60-80
Сенокосы	200-320	50-80
Пастбища	200-320	50-80
Однолетние травы	120-200	30-50
Рожь на зелёный корм	100-140	25-35
Яровые на зерно	140	35
Озимые на зерно	100	25

Приблизительную дозу бесподстилочного навоза (Д) можно определить по формуле:

$$Д = В / (10 \times К \times С),$$

где В – вынос элементов питания планируемой урожайностью, кг/га;

К – коэффициент использования элементов питания удобряемой культурой;

С – содержание элементов питания в навозе, %.

Коэффициенты использования элементов питания растениями из навоза неоднозначны. На слабо и среднеокультуренных почвах в первый год принимают по азоту – 0,5, по фосфору – 0,3 и по калию – 0,8, на окультуренных почвах по фосфору и калию принимают за единицу. Например, в жид-

ком навозе свиного комплекса «Пермский» содержится 0,5 % азота, 0,13 % фосфора и 0,5 % калия. Планируется получить 3,5 т озимой ржи. Вынос азота составит $(30 \times 3,5)$ 105 кг, фосфора $(12 \times 3,5)$ 42 кг и калия $(40 \times 3,5)$ 140 кг.

Тогда доза навоза, рассчитанная по азоту, составит $D = 105 / (10 \times 0,5 \times 0,5) = 42$ т/га; рассчитанная по фосфору $D = 42 / (10 \times 0,13 \times 0,3) = 108$ т/га и рассчитанная по калию $D = 140 / (10 \times 0,5 \times 0,8) = 35$ т/га.

Все три дозы по объему не совпадают. В таком случае принимают минимальную дозу (35 т/га), вычисленную по потребности озимой ржи в калии. Недостающее количество питательных элементов до выноса запланированной урожайностью дополняют минеральными удобрениями.

Используются и другие методики расчета доз бесподстилочного навоза, в большинстве их рассчитывают с таким условием, чтобы доза азота с вносимым азотом была максимально использована растениями и не приносила вреда окружающей среде. Ежегодное использование высоких доз жидкого навоза, а вместе с ним и азота, приводит к накоплению его не только в пахотном слое, но и подпахотных слоях, при этом возможно смыкание жидкого навоза с грунтовыми водами. Такое явление чаще происходит на средне- и легкосуглинистых почвах. На склонах навоз может легко смываться в овражно-балочные системы с дождевыми осадками и талыми водами.

Необходимо отметить, что чрезмерные (больше рекомендуемых) дозы жидкого навоза не только не увеличивают прибавки урожая, но могут оказывать отрицательное действие на качество растениеводческой продукции, вызывая накопление нитратов в кормовых и овощных культурах, а также загрязнение природных вод биогенными элементами.

На основании длительных наблюдений и исследований Всероссийским институтом удобрений и агропочвоведения разработаны рекомендации по срокам и способам внесения навоза в почву, позволяющие повышать урожайность и качество культур, не принося ощутимого вреда окружающей среде (табл. 150).

Таблица 150

Примерные сроки и способы заделки бесподстилочного навоза

Культура	Сроки внесения	Способ заделки
Озимая рожь	под основную обработку	под плуг
Картофель столовый	осенью и весной под весеннюю перепашку	то же
Картофель фуражный	то же	то же
Сахарная свёкла	осенью и весной под весеннюю обработку	под плуг или дисковый луцильник
Кормовая и сахарная свёкла на корм скоту	то же	то же
Кукуруза на зелёный корм и силос	то же	то же
Многолетние злаковые и бобово-злаковые травосмеси	после укосов	боронование
Луга	то же	то же
Пастбища	по окончании вегетации трав или до вегетации	боронование
Однолетние травы	осенью под зябь, весной под предпосевную обра- ботку	под плуг, дисковый луцильник
Рожь на зелёный корм	под вспашку или предпосевную обработку	под плуг, дисковый луцильник, культиви- тор

Под многолетние травы, на естественные сенокосы и орошаемые культурные пастбища годовую норму навоза вносят дробно равными частями в 2-4 срока: рано весной и после укосов или стравливания зелёной массы. Под другие культуры навоз используют при осенней вспашке или весенней перепашке и в предпосевную обработку почвы.

Так как на комплексах, фермах скапливается большое количество жидкого навоза, то его вывозят на поля круглогодично, однако наиболее эффективными приемами считают осеннее внесение с заделкой культиватором.

Весеннее внесение навоза приводит к сильному уплотнению почвы. Внесение навоза в зимнее время возможно при глубине снежного покрова до 20 см и при температуре воздуха до -10°C. Недопустимо внесение навоза в зимнее время на склонах. Учитывая описанное, следует сделать вывод, что в условиях Предуралья зимнее внесение ограничено погодными условиями и рельефом территории.

В опытах Пермской опытной станции изучали применение жидкого навоза под картофель в дозах 50, 100, 150 и 200 т/га. Оптимальной дозой оказалась доза 100 т/га. Прибавки урожайности от внесения этой дозы под зяблевую вспашку и культивацию были равноценны – 63-64 ц/га и по заснеженной зяби 53 ц/га. В их опытах изучено на озимой ржи действие жидкого навоза в сравнении с подстилочным навозом. Установлено его преимущество в прямом действии и более низкий эффект в последствии.

В опытах кафедры агрохимии Пермского СХИ максимальная прибавка урожайности зелёной массы кукурузы была получена при использовании 75 т/га жидкой фракции свиного навоза весной с содержанием 0,34%N, 0,12% P₂O₅ и 0,68% K₂O. В твердой фракции содержалось азота 0,64%, фосфора – 0,26%, калия – 0,30% (табл. 151).

Таблица 151

Влияние бесподстилочного свиного навоза на урожайность зелёной массы кукурузы*

Вариант опыта	Доза азота, кг/га	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га
Без удобрений	0	368	–
Ж. ф.25 т/га	85	451	83
Ж. ф.50 т/га	170	523	155
Ж. ф.75 т/га	255	585	217
Ж. ф.100 т/га	340	487	115
Ж. ф.50 т + 50 т твердая фракция	490	736	368
НСР ₀₅			91

* - данные кафедры агрохимии Пермского СХИ

При строительстве животноводческих комплексов очень важно рассчитать площадь сельскохозяйственных угодий, способную принять определённую экологическую нагрузку с навозом. Площадь сельскохозяйственных угодий и структура посевных площадей должны обеспечивать полное использование навоза в качестве удобрения, а потери при хранении, транспортировке, внесении должны быть сведены до нуля.

Максимально допустимую среднегодовую нагрузку рассчитывают по азоту, она не должна превышать 200 кг/га. На орошаемых землях максимально допустимая среднегодовая доза азота навоза – 350 кг/га.

При среднегодовой дозе азота 200 кг/га и потерях из него при хранении 10 % азота, площадь сельхозугодий (П) для комплекса, фермы определяют по формуле:

$$П = (0,9 \times А \times Г)/20,$$

где А – содержание азота в навозе, %;

Г – годовой выход навоза, т;

0,9 – сохранившаяся часть азота за вычетом 10 % потерь его при хранении;

20 – число, получаемое при выведении формулы в результате умножения 100 % на среднегодовую дозу азота ($100 \times 0,2 \text{ т} = 20$).

В практике сельского хозяйства сложились разные технологические способы применения бесподстилочного навоза:

1. Внесение навоза в почву с его немедленной заделкой на глубину не менее 15-16 см на почвах тяжёлого гранулометрического состава и на 17-18 см лёгкого гранулометрического состава. Бесподстилочный навоз из хранилищ загружают в цистерны – разбрасыватели, вывозят в поле, разливают по поверхности и заделывают в почву.

2. Жидкий навоз подают к полю по трубопроводам, вносят дождевальными установками. При таком способе навоз разбавляют водой в соотношении 1:8-10, если его вносят по вегетирующим растениям и 1:1-3 – на поле без растений.

3. Жидкий навоз по трубам подают на поле, в поле проводят перекачку в цистерны-разбрасыватели и разливают по поверхности, немедленно запахивают или культивируют. Бесподстилочный навоз целесообразно применять по разбросанной по полю измельченной соломе. После уборки зерновой культуры на 1 га обычно остается 5-7 т соломы, на которую вносят 80-100 т жидкого навоза. Солому измельчают и разбрасывают непосредственно при уборке зерновыми комбайнами или оставшуюся на поле измельчают и разбрасывают косилками-измельчителями. Затем солому и внесенный навоз заделывают в почву на глубину пахотного слоя.

4. На комплексе, ферме проводят отделение жидкой фракции от твердой. Жидкую фракцию подают по трубопроводам в поле и вносят дождевальными установками, а твердую вносят навозоразбрасывателями.

5. Рациональный способ использования бесподстилочного навоза – компостирование его с торфом, соломой, другими растительными остатками. Для приготовления компоста с соломой на 1 т её берут 3-4 т бесподстилочного навоза. На ровную грунтовую обвалованную с трех сторон площадку (одна торцовая сторона остается открытой) завозят солому, разравнивают и уплотняют её. На соломенную подушку 0,7-1,0 м с помощью цистерны-разбрасывателя наносят жидкий навоз. Затем из компостируемой массы формируют бурт, укрывают его землей или торфом и оставляют до созревания.

6. Эффективным и экологически безопасным приемом использования бесподстилочного навоза на удобрение является его внутрипочвенное внесение. Однако он не получил

широкого распространения из-за отсутствия специальной техники и более высоких энергетических затрат.

Для внесения жидких органических удобрений во всех почвенно-климатических зонах страны используют машины: РЖУ-3,6, РЖТ-4, РЖТ-8, РЖТ-16. Как и для внесения подстилочного навоза используют колесные трактора: МТЗ-80, МТЗ-82, Т-150К и К-701. Модель РЖУ-3,6 навешивают на автомобиль. В последние годы для внесения в почву жидкого навоза с влажностью более 92 % выпускают агрегат АВВ-ф-2,8, включающий машину МЖТ-10 и навешенное на нее приспособление для внутрипочвенного внесения навоза. Внутрипочвенное внесение позволяет избежать поверхностного внесения навоза и заделки его плугом или культиватором.

Навозная жижа

Навозная жижа – ценное быстродействующее азотно-калийное удобрение. Она содержит в среднем 0,2-0,3% N и 0,4-0,5% K₂O, фосфора в ней очень мало – 0,01% (табл. 152). В зависимости от условий хранения содержание азота и калия в навозной жиже может сильно колебаться: N – от 0,02 до 0,8%, а K₂O – от 0,1 до 1,2%.

Таблица 152

Среднее содержание макроэлементов в навозной жиже, %

Навозная жижа из жижесборников:	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
при молочно-товарных фермах	0,26	0,12	0,38
при свиноводческих фермах	0,31	0,06	0,36
при конюшнях	0,39	0,08	0,58
при навозохранилищах молочно-товарных ферм	0,60	0,03	0,28
средний химический состав	0,40	0,07	0,40

Навозная жижа – одно из наиболее сильно и быстро действующих удобрений. В ней почти весь азот и калий находятся в водорастворимом, хорошо доступном для расте-

ний состоянии. Коэффициент использования растениями азота из навозной жижи составляет 50-60%, а калия – 70-80%, то есть по своему действию приравнивается к минеральным удобрениям. Каждая тонна навозной жижи повышает урожайность (в пересчете на зерно) на 1 ц, добавление к ней суперфосфата повышает её эффективность на 20-30%.

Почти весь азот в свежей моче находится в форме мочевины. Через 1-2 недели азот мочевины превращается в углекислый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, азот которого используется растениями в первые дни после внесения, в летнее время в почве азот углекислого аммония в течение 2-3 недель превращается в нитраты (соли азотной кислоты).

Сам по себе углекислый аммоний навозной жижи – соединение не стойкое и на открытом воздухе быстро распадается на аммиак (NH_3) , углекислый газ (CO_2) , и воду (H_2O) . Навозную жижу необходимо хранить в плотно закрытом жижеборнике. При хранении навозной жижи в закрытом жижеборнике над жижой находится углекислота, которая при отсутствии кислорода задерживает разложение углекислого аммония до аммиака, потери бывают менее значительными (табл. 153).

Таблица 153

Потери аммиака из навозной жижи за 2 месяца хранения, % [6]

Способ хранения	Потери
В жижеборнике:	
открытом	53
закрытом одной крышкой	39
под слоем отработанного тракторного масла (5 мм)	25
В компосте с торфом:	
низинным	25
верховым	19

На открытом воздухе из навозной жижи за месяц теряется 70-75% азота, а за три месяца (в летнее время) – 97%, из покрытой тонким слоем, отработанным маслом, теряет за ме-

сяц только 15% азота, а за три месяца – 40-45%. Важнейшим условием предотвращения потерь азота из навозной жижи – использование достаточного количества подстилки при получении навоза и добавление к жиже порошковидного суперфосфата (3-5% от её массы) при хранении. В результате взаимодействия аммиака и суперфосфата образуется аммофос и преципитат, потери аммиака сокращаются в несколько раз:



Потери азота сократятся еще больше, если поверхность жижи в жижесборнике покрыть тонким слоем отработанного масла (однако поступление масла в почву вместе с навозом может способствовать её загрязнению органическими поллютантами!).

Жижесборники располагают за пределами скотного двора, на расстоянии 5-10 м от стен. Жижесборники должны быть бетонированными и непроницаемыми для воды. Для откачки жижи из жижесборников, транспортировки и внесения используют ту же технику, что и для жидкого бесподстилочного навоза.

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 м³ жижи, такое же количество образуется от трех голов молодняка крупного рогатого скота до двух лет и от 10-12 телят.

В зимний период собранную навозную жижу лучше всего использовать для компостирования с торфом. При этом отпадает необходимость в устройстве больших жижесборников, резко сокращаются потери азота, и хозяйство получает дополнительное количество ценных органических удобрений.

Навозную жижу можно вносить в основное удобрение и в подкормку, а также использовать для приготовления компостов с торфом. Под зерновые культуры, картофель и корнеплоды в основное удобрение вносят 15-20 т/га навозной жижи, под овощные – 20-30 т/га. Поскольку жижа почти не содержит фосфора, целесообразно одновременно применять фосфорные удобрения.

Высокий эффект даёт использование навозной жижи на лугах и для подкормки озимых зерновых, пропашных и овощных культур.

Ранневесеннюю подкормку озимых и луговых трав проводят перед их боронованием – 4-5 т/га навозной жижи, разбавленной в 2-3 раза водой.

Навозная жижа не содержит семян сорной растительности, её можно в дозе 3-5 т/га вносить под яровые зерновые культуры и заделывать культиватором.

Для подкормки озимой ржи навозную жижу рекомендуется разбавлять водой в 3-4 раза, особенно тогда, когда в ней содержится 0,4-0,6 % азота, при содержании азота менее 0,2 % можно вносить её, не прибегая к разбавлению, в дозе – 3-5 т/га, с помощью машин: АНЖ-2, РЖ-1,7, которые разбрызгивают удобрение полосой 8-10 м. После подкормки озимой ржи, многолетних злаковых трав навозной жижей, поле следует сразу же пробороновать, чтобы предотвратить улетучивание азота в воздух в форме аммиака.

Для подкормки овощных культур, картофеля, кукурузы рекомендуется вносить навозную жижу 5-10 т/га на глубину 8-10 см культиваторами-растениепитателями прицепного или навесного типа: КРН-2,8, КРН-4,2. В разбавленном виде (1:10) навозную жижу можно применять против многих заболеваний, таких как мучнистая роса на ягодниках, парша на плодах яблони и др.

При поверхностном внесении навозной жижи до посева или в подкормку её необходимо немедленно заделать в почву, чтобы сократить потери азота. Задержка с заделкой на 2-4 дня снижает эффективность жижи на 30-50%.

Птичий помёт

Птичий помёт – самое концентрированное и быстродействующее органическое удобрение, в сравнении с экскрементами крупного рогатого скота содержит больше сухого вещества и питательных веществ.

Химический состав птичьего помёта изменяется в зависимости от вида птиц, их возраста, количества и качества кормов и способа содержания (табл. 154).

Таблица 154

Химический состав (%) и выход птичьего помёта
(среднее по разным источникам)

Птица	Количество помёта от 1 головы в год (кг) при содержании		Сухое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃
	клеточное	выгульное							
Куры	50,0-70,0	6,0-8,0	44,0	1,6	1,5	0,8	2,4	0,7	0,4
Утки	164,0	8,0-10,0	30,0	0,7	0,9	0,6	1,1	0,2	0,3
Гуси	383,0	10,0-12,0	24,0	0,5	0,5	0,9	0,8	0,2	1,1

Суточный выход экскрементов у взрослых птиц составляет в среднем: курицы-несушки – 170-190 г, мясных кур – 280-300 г, бройлеров – 240-250 г, индейки – 420-450 г, гусей – 490-600 г, утки – 250-420 г.

Содержание азота, фосфора и калия в птичьем помёте резко изменяется в зависимости от условий содержания птицы, а также количества и качества корма: чем более концентрированный корм получает птица, тем больше в помёте питательных веществ.

При напольном содержании птицы на подстилке получают подстилочный помёт, а при клеточном – бесподстилочный. Для подстилки используют торф, измельченную солому, опилки. Для одной курицы в сутки требуется 100-150 г подстилки, для утки, индейки, гуся 200-300 г. Подстилочный помёт нужно хранить на площадках и укладываться рыхло в штабеля шириной 5-6 и высотой 2-2,5 м. По действию на урожайность подстилочный помёт приравнивают к минеральным удобрениям.

Азот в помёте находится главным образом в форме мочевой кислоты, которая быстро разлагается с образованием аммиака. При неправильном хранении помёта в результате улетучивания аммиака происходят большие потери азота, достигающие за 1,5-2 месяца 50% и более. Для сохранения азота в помёте лучше всего применять в птичниках сухую торфяную подстилку, которая поглощает выделяющийся из помёта аммиак, или хранить его в смеси с торфом. Подстилочный куриный помёт имеет относительно невысокую влажность, сыпуч и может использоваться как обычный навоз в дозах эквивалентных по содержанию азота. При влажности 55% 1 т помёта содержит примерно 16 кг азота, 1,5 – фосфора (P_2O_5) и 8 кг калия (K_2O).

Бесподстилочный помёт от подстилочного отличается более высокой влажностью и повышенным содержанием азота. Количество аммиачного азота в нем составляет 50% от общего азота. После незначительной усушки в течение нескольких дней, при влажности 65% помёт содержит 2,10% азота, в том числе 0,52% – аммиачного, 1,50% – фосфора и 0,65% калия.

Бесподстилочный свежий помёт представляет собой липкую мажущуюся массу с неприятным запахом.

На некоторых птицефабриках при клеточном содержании кур, оборудованных микрочашечными и ниппельными поилками, а также с проточными поилками получают жидкий помёт.

При хранении бесподстилочного и жидкого помёта очень быстро теряется аммиак: за 6 месяцев – 50% и более. Непосредственно для удобрения его не применяют (прежде всего, из-за неблагоприятных физико-механических свойств). Поэтому такой помёт идет в основном для приготовления компостов с торфом или соломой, причем компонентов берут столько, чтобы получилась достаточно рыхлая и сыпучая масса (обычно в соотношении 0,5-1,0:1,0). При отсутствии торфа можно пересыпать помёт сухой перегнойной землей или перепревшим навозом, а также добавить к нему 7-10% суперфосфата, который почти полностью связывает выделяющийся аммиак.

Технология приготовления компостов проста. На выровненной или возвышенной местности делают углубления 50-75 см, оканавливают, на дно углубления вносят торф слоем 20 см, посыпают фосмукой или можно добавить суперфосфат из расчета 20-30 кг удобрения на 1 т смеси, затем слоем 20 см вносят помёт, и всю смесь хорошо перемешивают, сгружают в штабель, сверху закрывают торфом крошкой или почвой. Ширина штабеля 3-4 м, высота – 2,5 м, выдерживают смесь в штабеле летом 2-4 месяца до образования однородной, рыхлой землистой массы.

Аналогичным образом в том же соотношении можно готовить и коро-помётные компосты при условии, что кора должна иметь влажность не более 15%, частиц размером 10-40 мм должно содержаться до 40%, в том числе частиц размером 40 мм – не более 15%, готовность таких помётоторовых компостов – 12 месяцев.

Для улучшения физико-механических свойств помёта на некоторых птицефабриках применяют термическую сушку экскрементов при температуре 600-800°C. Высушенный помёт при влажности 20% может храниться без разогревания в полиэтиленовых мешках. При термической сушке почти весь

аммиак улетучивается, поэтому сушить рекомендуют помёт свежий, сразу же после его удаления из клеток, тогда потери не превышают 10 %. Из 1 т сырого помёта получают 300-380 кг сухого концентрированного.

В термически высушенном помёте при влажности 20% содержится азота общего 4,5-4,9%, аммиачного азота – 0,6%, фосфора – 2,85-3,70%, калия – 1,6-1,8%.

Применение помёта. Птичий помёт является ценным органическим удобрением. Коэффициенты использования питательных элементов из помёта в первый год внесения достигают: азот – 60%, фосфор – 30%, калий – 90%.

С 6 т/га куриного помёта вносится 90-120 кг/га азота, 70-90 кг фосфора и 37-40 кг/га калия. Такого количества азота и фосфора достаточно для получения высокой урожайности зерновых культур. В связи с низким содержанием в помёте калия его необходимо восполнять минеральными калийными удобрениями.

Применять птичий помёт можно в качестве основного удобрения, заделывая в почву плугом или культиватором, а также в качестве подкормки кукурузы, картофеля, капусты и других культур.

Дозы сырого помёта в качестве основного составляют: под зерновые – 6-8 т/га; пропашные – 10-15 т/га; высушенного – соответственно, 4 и 5-6 т/га. Доза сырого помёта для корневой подкормки составляет 0,8-1 т/га, для жидкой применяют вдвое меньшую дозу, сухой помёт разбавляют водой в 6-7 раз.

Подкормки жидким помётом обеспечивают прибавку урожайности овощных культур 50-80 ц/га, картофеля – 70 ц/га, зелёной массы кукурузы от 2-х подкормок – 120-180 ц/га.

По данным кафедры агрохимии Пермской ГСХА, сухой птичий помёт можно вносить не только как основное удобрение

ние взброс, но и локально в лунки при посадке картофеля от 30 до 90 г. При локальном внесении 90 г на 1 растение урожайность картофеля повышалась в 2 раза по сравнению с контролем, содержание крахмала с 9,3 до 14,7%, при сплошном внесении 360 г/м² прибавка составила 58,5%, а количество крахмала возрастало до 15,4%, существенного накопления свободных нитратов не отмечено. Сухой помёт с успехом можно применять под редис из расчета 1,6-3 т/га (160-300 г/м²). Прибавка составляет от 100 до 209%, причем повышается количество крупной фракции редиса в 3 раза по сравнению с контролем. В среднем при использовании помётных удобрений в зернопропашных и кормовых севооборотах на каждую тонну помёта получают прибавку от 0,5 до 4,6 ц/га з.е.

Торф, состав и свойства

Торф – важный невозобновляемый источник увеличения ресурсов органических удобрений. Его широко используют в подстилку и для приготовления различных компостов, тепличных и рассадных грунтов. Поставка торфа сельскому хозяйству России в 90-е годы прошлого столетия достигала 140 млн. т в год.

Расчеты показывают, что запасы торфа, особенно в европейской части страны, могут при нынешних масштабах добычи быть исчерпаны в течение жизни одного-двух поколений. Между тем, торфяные болота, как известно, играют исключительную экологическую роль в регуляции биоклиматических условий в масштабах планеты и прилегающих регионов. Торфяники являются уникальным созданием природы, позволяющим аккумулировать влагу и регулировать водный режим.

Запасы торфа в природе образуются в результате неполного разложения болотных растений в условиях повышенной влажности и недостаточного доступа воздуха.

Типы и виды торфов. В зависимости от места образования торфа делятся на верховые, низинные и переходные (табл. 155).

Верховой торф образовался на возвышенных элементах рельефа из сфагновых мхов, лишайников, древесных и хвойных пород, не требовательных к элементам питания. Питание болот происходит за счёт атмосферных осадков. Поэтому верховые торфа обычно низкозольные, сильнокислые, с большим количеством органического вещества, но малой степенью его минерализации, обладают высокой поглощательной способностью: 1 кг сухого торфа может поглотить 8-15 л влаги. Верховой слаборазложившийся торф целесообразно использовать в качестве подстилочного материала и для приготовления компостов.

Таблица 155

Типы и виды торфа, (Ефимов В.Н., 1987)

Тип торфа	Основные виды торфа
Верховой	Сфагново-мочажинный и др.
	Шейхцериено-сфагновые, пушицево-сфагновый и др.
	Сосново-сфагновый, сосново-пушицевый и др.
Переходный	Сфагновый, гипновый
	Осоково-сфагновый, осоко-шейхцериеный
	Древесно-осоковый, древесно-переходный
Низинный	Сфагново-гипновый
	Осоково-сфагновый, осоково-гипновый, осоковый, тростниковый
	Ольховый, берёзовый, еловый, древесно-осоковый и др.

Низинный торф сформировался на пониженных элементах рельефа в поймах рек под влиянием грунтовых вод, преимущественно из травянистой и древесной растительности, требовательных к питательным веществам (ольха, берёза, ель, осоки, тростник, багульник, пушица и др.).

Низинные торфа имеют повышенную зольность и меньшую, чем верховые торфа, кислотность. При подпитке грунтовыми водами, прошедшими через карбонатные поро-

ды, низинные торфа могут иметь близкую к нейтральной и даже щелочную реакцию. В них меньше органического вещества, но оно имеет большую степень разложения. Поглотительная способность низинных торфов меньше, чем верховых. Низинные торфа используют, главным образом, для компостирования.

Переходные торфа по своим свойствам занимают промежуточное положение между верховыми и низинными. Их применяют для приготовления компостов, а также в подстилку животным. Торф переходных болот (переходный торф) занимает промежуточное положение, и образовался в понижениях притеррасных пойм. Питание таких болот происходит периодически за счёт атмосферных осадков и грунтовых вод. Растительность смешанная, характерная как для верховых, так и низинных болот.

При агрономической оценке типов торфа необходимо учитывать ботанический состав, степень разложения, зольность, кислотность и содержание питательных веществ, их способность к поглощению воды и аммиака.

Ботанический состав определяют по процентному содержанию в массе торфа остатков ботанических видов растений – торфообразователей, сохранивших анатомическое строение. Знание ботанического состава позволяет дать ему агрономическую характеристику, определить пригодность для нужд сельского хозяйства. Например, древесно-осоковый торф эффективнее использовать на удобрение, а сфагновый – на подстилку.

Для приготовления компостов можно использовать низинные, переходные, а также более разложившиеся верховые торфа.

Зольность торфа также зависит от степени его разложения. Зольность выражают в процентах к сухой массе торфа. Нормальной зольности низинный торф содержит 6-12%, переходный – 4-6%, верховой – до 4% золы (табл. 156). Торф, содержащий золы более 12%, считается высокозольным. На подстилку животным используют торфа, имеющие зольность не выше 10%, в качестве удобрений – не более 30%. Более высокий процент золы указывает на наличие в торфе большого количества песка и глины. Использовать такой торф на удобрение нецелесообразно.

Важным показателем качества является степень разложения, то есть процентное отношение разложившейся части торфа. Торф, содержащий меньше 20% разложившихся растений, относят к слаборазложившемуся, 20-45% – среднеразложившийся, более 45% – сильноразложившийся (табл. 157).

Слаборазложившиеся торфа используют для химической переработки, хранения плодов, овощей, луковиц и корней цветов, подстилки для скота; сильноразложившиеся используются на удобрения, а торфяники после осушения – в качестве сельскохозяйственных угодий.

Очень часто между содержанием золы и кислотностью торфа существует обратная зависимость, то есть чем больше золы, тем ниже кислотность. Кислотность торфов снижается с увеличением в нем кальция. Кальций в нормальнотольных торфах частично находится в виде карбоната, окисла и гидроокисла.

Торф, у которого рН солевой вытяжки ниже 4,8 в чистом виде в качестве удобрения не используют, рекомендуют использовать его на подстилку, торф с рН ниже 5,5 требует известкования (табл. 158).

Таблица 156

Агрохимическая характеристика различных видов торфа (данные центральной торфоболотной опытной станции)

Торф	Зольность, %	pH _{сол.}	Группа торфа	Степень разложения, %	Содержание, % на абсолютную сухую массу			
					N	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O
Верховой	1-5	2,8-3,6	Моховой	5-25	0,8-1,5	0,1-0,5	0,003-0,20	0,05-0,10
			Травяной	20-40	1,2-2,0	0,1-0,6	0,003-0,20	0,05-0,10
			Древесный	35-60	1,4-2,0	0,1-0,7	0,003-0,20	0,05-0,10
Переходный	3-8	3,6-4,8	Моховой	10-25	1,2-2,0	0,5-1,0	0,04-0,30	0,10-0,15
			Травяной	20-40	1,5-2,5	0,7-1,2	0,04-0,30	0,10-0,15
			Древесный	35-60	1,6-2,8	0,9-1,5	0,04-0,30	0,10-0,15
Низинный	5-12	4,8-5,8	Моховой	10-25	1,6-2,6	1,5-3,0	0,05-0,40	0,15-0,20
			Травяной	35-40	1,8-2,5	2,0-3,5	0,05-0,40	0,15-0,20
Высокозольный	12-50	5,8-7,5	Известковый	Различная	1,3-3,8	3,0-5,0	0,05-2,0	0,10-0,20
			Фосфорный	Различная	1,3-3,8	0,8-5,0	2,0-8,0	0,10-0,20
			Песчано-глинистый	Различная	1,3-3,8	0,8-5,0	0,05-2,0	0,10-0,20

При использовании торфа на подстилку учитывают его влагоёмкость и поглотительную способность. Высокой влагоёмкостью обладает верховой торф с небольшой степенью разложения. Чем выше степень разложения, тем ниже влагоёмкость. Влагоёмкость верхового торфа достигает 500-3000%, переходного – 350-950%, низинного – 460-870%.

В естественном состоянии торф имеет высокую влажность – 85-95%. Влажность торфов изменяется в зависимости от погодных условий, гидрологии, степени разложения, типа торфа и т.д. В соответствии с ГОСТ 12101-66 влажность торфа на удобрение должна быть не более 60%, а на подстилку животным – до 59% (ГОСТ 1202-66).

Таблица 157

Признаки различной степени разложения торфа (Ефимов В.Н., 1987)

Степень разложения	Основные признаки
<15, неразложившийся	Торфяная масса не продавливается между пальцами. Поверхность сжатого торфа шероховатая от остатков растений, которые хорошо различимы. Вода выжимается струей, прозрачная, светлая.
15-20, весьма слаборазложившийся	Вода выжимается частыми каплями, слабо-желтая.
20-25, слаборазложившийся	Вода отжимается в большом количестве, желтого цвета. В массе видны остатки растений.
25-30, среднеразложившийся	Масса торфа не продавливается между пальцами. Остатки растений заметны. Вода светло-коричневая. Торф слабо пачкает руки.
35-45, хорошо разложившийся	Масса торфа продавливается между пальцами. Вода выделяется редкими каплями, коричневого цвета.
48-55, сильно разложившийся	Масса торфа продавливается между пальцами, пачкая руки. Заметны лишь отдельные растительные остатки. Вода еле отжимается, темно-коричневого цвета.
>55, весьма сильно разложившийся	Торф продавливается между пальцами в виде грязеподобной черной массы. Вода не отжимается. Растительные остатки совершенно не различимы.

Таблица 158

Дозы известняковой муки для нейтрализации избыточной кислотности торфа, кг на 1 т торфа при 55% влажности

pH _(KCL)	CaCO ₃	pH _(KCL)	CaCO ₃
2,5-3,0	45-40	4,1-4,5	25-20
3,1-3,5	40-35	4,6-5,0	20-15
3,6-4,0	35-25	5,1-5,5	15-10

Как и в почве, органическая часть торфа представлена фульво- и гуминовыми кислотами, гуматами. В торфе гуминовые вещества составляют от 20 до 70% органической части. Чем выше степень разложения торфа, тем больше общее содержание гумуса и тем больше в нем азота. В верховом торфе азота около 0,8-2%, в переходном – 1,8-2,8% и низинном – 1,6-3,0%.

Кроме азота, в органической части торфа содержится сера – 0,3-0,7%. На долю органической серы приходится примерно 77% валового её содержания.

Фосфор в нормальнозольных торфах содержится в небольших количествах, в среднем около 0,12% сухого вещества, до 60% его входит в состав органического вещества и около 40% – в минеральные соединения (фосфаты алюминия, железа и кальция).

Содержание кальция в торфе с нормальной зольностью составляет 1-4%, и варьирует в зависимости от карбонатности грунтовых и других вод. Иногда торф может содержать 10-30% и более окиси кальция, носит название торфотуф.

В нормальнозольных торфах содержание магния и калия может достигать 0,2%. Торфа содержат в небольших количествах молибден, кобальт, цинк, бор и других микроэлементов. Содержание основных питательных элементов в торфе представлено в таблице 147. Все торфа богаты органическим веществом и, следовательно, азотом, но бедны калием. Высокозольные низинные торфа могут содержать значительные количества кальция и фосфора.

Большая часть содержащегося в торфе азота находится в малодоступной органической форме и только 2-3 % – в минеральной (аммонийной и нитратной). Органическое вещество торфа очень устойчиво к микробиологическому разло-

жению, минерализация органических соединений азота происходит очень медленно. Многие виды торфа имеют кислую реакцию, что также затрудняет разложение их в почве. Микроорганизмов в самом торфе из-за кислой реакции, недостатка растворимых форм азота и легкодоступных органических веществ очень мало. Поэтому использование торфа в чистом виде на удобрение малоэффективно и неоправданно, с экономической точки зрения. Это допустимо только по отношению к сильноразложившемуся высокозольному низинному торфу с нейтральной реакцией, вблизи мест его заготовки, и торфу, богатому известью (*торфотуф*) или фосфором (*вивианитовый торф*). Эффективность торфа повышается при компостировании с биологически активными органическими удобрениями – навозом, навозной жижей, фекалиями или с минеральными удобрениями – фосфоритной мукой, известью, золой и др.

Компосты на основе торфа, способы их приготовления и применение

Компостирование – один из приёмов накопления местных органических удобрений. Оно необходимо для сохранения (уменьшения потерь) питательных веществ в одних органических удобрениях при их разложении (навоз, навозная жижа, фекалий) и усиления доступности элементов питания в составе других (в торфе или другом инертном материале).

Чаще всего компост состоит из двух главных компонентов, неодинаковых по устойчивости к разложению микроорганизмами. Один из них (торф, отходы производства) играет преимущественно роль поглотителя влаги и аммиака и без компостирования слабо разлагается, другой – богат микрофлорой, содержит достаточное количество легкораспадаю-

щихся азотистых органических соединений (фекалий, навозная жижа и тому подобные). К этой группе компостов относятся торфонавозные, торфофекальные, торфожижевые, компосты из соломы и других трудноразлагающихся органических материалов с фекальной массой, жижой и т.п. В состав органических компостов можно также внести микрофлору в виде бактериальных препаратов.

Цель этого приёма – довести разложение отходов до такой степени, чтобы содержащиеся в них питательные вещества превратились в доступную для растений форму, и устранить или значительно уменьшить возможность биологического связывания азота в почве после их внесения.

При компостировании торфа, навоза, помёта, навозной жижи, фекалий в массе быстро увеличивается количество микроорганизмов, которые осуществляют минерализацию органических веществ гумусовой и негумусовой природы. Азотсодержащие органические вещества под воздействием ферментов, выделяемых различными группами бактерий, разлагаются до аминокислот, амидов, аммиака, углекислоты, сернистых газов, воды и др. Образующийся аммиак не улетучивается, так как образует соли с различными органическими и минеральными кислотами, а также поглощается коллоидами. Таким образом, азот органических соединений торфа превращается в аммонийный и нитратный, которые усваивают растения. На практике наиболее широкое распространение получили компосты на торфяной основе с использованием подстилочного и жидкого навоза, навозной жижи и птичьего помёта. Компостирование позволяет не только мобилизовать питательные вещества торфа, но и вовлечь дополнительные ресурсы органического сырья, увеличить выход органических удобрений в 1,5-2 раза, повысить качество удоб-

рения, до минимума сократить экологическую опасность, то есть предотвратить потери питательных и других элементов в окружающую среду.

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 поглотительной способности, полностью связывает аммиак, образующийся при разложении органического вещества, при этом потери азота из навоза резко уменьшаются. Хорошо приготовленный торфонавозный компост не уступает по эффективности навозу.

Для компостирования с навозом подходят все три типа торфа, однако лучше проветренный торф, влажность которого не превышает 50-55%.

Соотношение навоза и торфа в компосте зависит от обеспеченности ими хозяйства, качества компонентов и времени года. При закладке компоста зимой на одну часть навоза берут одну часть торфа, а при весенне-летней закладке – две-три части торфа. Качество компоста выше при более узком соотношении между торфом и навозом.

Почти все виды компостов содержат мало фосфора и калия, поэтому, чтобы повысить удобрительную ценность компостов рекомендуется во время компостирования добавлять к ним фосфорные и калийные удобрения: 2-3% фосфоритной муки и 0,5-1,0 % хлористого калия (от массы компоста). В компосте аммиак полностью связывается фосфорной кислотой, и потери его сокращаются до минимума. При использовании кислого торфа в компост добавляют 1-4% известняковой муки.

Торфонавозные компосты следует готовить в поле на месте их применения, вблизи животноводческих ферм или в навозохранилище.

При *послойном способе* компостирования торф и навоз поочередно укладывают в штабель шириной не менее 3 м и высотой 2 м (длина произвольная). Толщина слоев торфа и навоза зависит от соотношения их в компосте. Штабель завершают слоем торфа.

При зимней закладке лучше использовать *очаговый способ компостирования*: на торфяную подушку выгружают в два ряда навоз кучами в шахматном порядке (примерно с расстояния 1 м), промежутки между кучами навоза засыпают торфом и смесь укладывают с помощью бульдозера в бурты.

Летом компостирование можно проводить *площадочным способом* – на торфяную подушку слоем 25-30 см сгружают и равномерно распределяют навоз в необходимом количестве, затем за 2-3 прохода тяжелой дисковой бороны смесь перемешивают и сгребают бульдозером в штабеля, укрываемые слоем торфа. Уплотнение компоста в буртах и штабелях не проводят.

В зависимости от степени разложения торфа такие компосты созревают за 4-6 месяцев.

Под влиянием навоза азот торфа за короткий срок становится более подвижным и более доступным для растений. Навоз уменьшает также кислотность торфа, создаёт более благоприятные условия для деятельности микроорганизмов, участвующих в разложении органических (в том числе азотистых) соединений. С другой стороны, торф как материал с высокой влагоёмкостью и ёмкостью поглощения хорошо задерживает жижу и аммиачный азот, выделяющийся при разложении навоза, тем самым предотвращаются их потери, попадание в окружающую воздушную среду.

Размер штабеля зависит от степени разложения торфа и его рыхлости. По форме штабель не отличается от навозного. Длина его может быть произвольной, высота 2,5-3 м, ширина 4-6 м. При малых размерах штабеля теряется больше аммиака, в зимнее время штабель промерзает, разложение органических веществ проходит медленно.

При компостировании торфа со всеми биологически активными материалами недопустимо сильное уплотнение, так как в плотном компосте, при отсутствии воздуха, микробиологические процессы проходят медленно. При низкой температуре семена сорной растительности не погибают и не теряют своей всхожести, не погибают яйца, личинки гельминтов и патогенные микроорганизмы. При доступе кислорода в рыхлую массу торфа и положительной температуре воздуха температура в компосте может подниматься до 75 °С, образующийся при участии бактерий нитрификаторов аммиак может превращаться в нитраты.

Торфожижжевые компосты. Накапливающуюся в хозяйстве навозную жижу целесообразнее использовать для компостирования с торфом. При этом резко сокращаются потери азота из навозной жижи и повышается удобрительное качество торфа. Для компостирования с навозной жижей подходят все виды торфа, кроме известковых его форм.

Торф укладывают в два сплошных смежных вала так, чтобы между ними образовалось корытовидное углубление (толщина торфа в местах соприкосновения валов и с торцов 40-50 см), в которое заливают жижу. На 1 т проветренного торфа, в зависимости от его влажности, берут от 0,5 до 1 т навозной жижи. После впитывания жижи всю массу сгребают бульдозером в штабеля, которые не уплотняют.

Аналогично можно заготовить компосты из торфа и жидкого навоза (соотношение между торфом и навозом 1:1 или 2:1).

При хранении компоста в нём энергично протекают процессы нитрификации аммиака, а образующиеся нитраты подвергаются денитрификации с образованием молекулярного азота. Поэтому при длительном хранении компоста возможны значительные потери азота. Чтобы затормозить процессы нитрификации, денитрификации и уменьшить потери азота, рекомендуют добавлять в компоненты 0,5-1% хлорида калия, так как хлор подавляет процесс нитрификации. Для обогащения компоста фосфором при компостировании добавляют фосфоритную муку (20-30 кг на 1 т компоста).

Торфожижевые компосты можно вносить через 1-1,5 месяца после закладки, по эффективности они не уступают навозу.

Хорошо разложившийся торф, смешанный с навозной жижей или жидким навозом, можно сразу вносить в почву без компостирования.

Торфофекальные компосты. В 1 т фекалий содержится до 8-10 кг N, 2-4 кг P_2O_5 и 2-3 кг K_2O . Азота в фекалиях больше, чем в навозе. Он находится преимущественно в форме аммония и мочевины, которая разлагается с образованием аммиака, а последний легко улетучивается. При внесении фекалий в чистом виде происходят большие потери азота, а неравномерное распределение фекалий по полю вызывает значительные колебания урожая. Кроме того, при внесении их в чистом виде возможно заражение почвы и продукции гельминтами и различными болезнями.

С санитарно-гигиенической точки зрения, фекалии лучше использовать в виде компостов. При их компостиро-

вании с торфом обеспечивается наиболее рациональное использование на удобрение как торфа, так и фекалий. При этом резко уменьшаются потери азота из фекальной массы, усиливается переход азота и других питательных веществ, содержащихся в торфе, в усвояемую форму. Для полного обеззараживания торфофекальные компосты в течение 2-3 месяцев нужно выдерживать в штабелях без уплотнения.

Смешивать с фекалиями можно все виды торфа. Соотношение компонентов зависит от степени разбавления фекальных масс, влажности и степени разложения торфа.

Торфорастительные компосты готовят, запахивая выращенные на торфяниках бобовые растения. Запахивают или всю выращенную массу, или только корневые и пожнивные остатки растений. В первом случае получают торфосидеральный компост. При выращивании сидератов растительную массу в фазе цветения прикатывают, измельчают и запахивают на глубину 12-14 см. Через 15-20 дней после заделки поверхность торфяников дискуюют, после чего торфорастительную смесь сгребают в валы высотой 1,5-2,0 м и выдерживают 1-2 месяца. Торфорастительные компосты по эффективности не уступают полуперепревшему навозу.

Приготовление и использование торфяных компостов требует значительных затрат труда и средств. Перевод технологии производства торфонавозных и других компостов на промышленную основу позволяет значительно снизить себестоимость этих удобрений. Однако для этого требуется система специальных машин.

При описанных способах приготовления компостов получают торфонавозные компосты с соотношением торфа и навоза равном 1:1, 1:2, 1:3, торфожижевые компосты – 1:0,51; торфопомётные – 1:0,3, 1:0,5; такое же соотношение берется при приготовлении торфофекальных компостов.

Кроме навоза и торфа для компостирования используют солому и другие отходы. Химический состав компостов сильно варьирует в зависимости от химического состава компонентов, используемых при компостировании, соотношения торфа и компонентов, вида торфа, времени компостирования и многих других факторов (табл. 159).

Таблица 159

Химический состав различных компостов (Ефимов В.Н., 1987)

Показатели	Торфонавозный	Торфожижевый	Торфофекальный	Торфопомётный	Компосты из бытовых отходов
РН сол	4,8 – 6,2	5 - 7	4,8 – 6,2	5,5 – 7,0	6,0 – 7,5
Влажность, %	60 - 75	65 - 80	65 - 75	60 - 75	50
Зольность, %	5 - 50	5 - 30	5 - 50	5 - 20	-
Содержание общего азота, %	2 – 3,5	2 – 4,2	2 – 3,2	0,6 – 1,0	0,8 – 1,3
Содержание нитратного и аммонийного азота, мг/100г сухого вещества	60 - 500	120 - 700	40 - 450	-	-
Содержание доступного фосфора (P_2O_5), мг/100г сухого вещества, %	200 - 400	150 - 400	80 - 450	0,6 – 1,0	0,5 – 0,6
Растворимые гуминовые вещества, %	1 - 2	1 - 4	1 - 2	-	-
Содержание калия (K_2O), %	0,6 – 1,2	1,5 – 3,0	0,6 – 1,5	0,6 – 1,0	0,3 – 0,6

Считается, что хорошо приготовленные компосты по удобрительным свойствам приравниваются к полуперепревшему подстилочному навозу КРС.

Удобрения на основе торфа с добавлением минеральных солей. В середине XX века популярными удобрениями были так называемые торфо-минеральные (ТМУ), торфоаммиачные (ТАУ), торфоминеральные аммиачные (ТМАУ). Такие удобрения представляли собой смесь

низинного торфа с определёнными минеральными удобрениями. Степень разложения торфа должна быть не менее 15%, зольность не более 25%, $pH_{(KCl)}$ ниже 5,5. Для нейтрализации кислотности вносят известняковую муку.

Кроме извести для приготовления ТМУ в качестве фосфорного компонента используют фосфоритную муку, в качестве калийного компонента – калий хлористый или калийную соль, в качестве азотного компонента – сульфат аммония или аммонийную селитру. Дозы этих удобрений в кг на 1 т торфа с влажностью 55–60%: фосфоритная мука (P_2O_5 -21%) – 21, калий хлористый (K_2O -58-60%) – 11 или калийная соль (K_2O -40%) – 15, сульфат аммония (N-20,8%) – 20 или селитра аммонийная (N-34,5%) – 12.

Готовят ТМУ площадочным способом. Компостирование в штабелях должно проходить не менее 2-х месяцев. Химический состав ТМУ имеет следующий состав:

- массовая доля влаги, %, не более 65;
- зольность, %, не более 30;
- кислотность (pH сол.), не менее 5,0;
- подвижный фосфор, P_2O_5 , % – 0,6;
- подвижный калий, K_2O , % – 0,6;
- азот аммонийный (N – NH_4), % – 0,6.

Для усиления и повышения удобрительных свойств торфа его подвергают аммонификации, то есть обработке аммиаком, при этом получают торфоаммиачные удобрения (ТАУ). Содержание подвижного азота в ТАУ в 10 – 15 раз больше, чем в чистом торфе. Степень воздействия аммиака на торф определяется количеством вводимой аммиачной воды или безводного аммиака. Доза аммиачной воды или безводного аммиака не должна превышать величину максимальной ёмкости поглощения торфа, так как введение избыточного количества аммиака приводит к потере

аммиака. Одна тонна торфа при влажности 55% может поглощать 15-50 кг аммиачной воды. В производственных условиях на 1 тонну торфа с влажностью 55% вносят 5,0–10 кг безводного аммиака или 20-40 кг аммиачной воды.

Жидкие азотные удобрения в торф можно вносить 3 способами:

- 1) в процессе добычи специальным оборудованием ОБА 1 (май – август) в навалы торфа;
- 2) в процессе добычи фрезерного торфа с использованием машины ДСС 2А, вносят в штабеля;
- 3) вносят непосредственно в штабеля инъекционными иглами специальных машин.

ТМАУ – органоминеральные удобрения, в состав которых входит азот, фосфор, калий, органическое вещество торфа, часть которого после внесения аммиачной воды переходит в водорастворимое состояние. Для приготовления ТМАУ можно использовать все виды торфа.

Торфоминерально–аммиачные удобрения, полученные в заводских условиях, называют ТМАУЗ. Производство их отличается от производства ТМАУ в хозяйственных полевых условиях. Смешивание минеральных удобрений и торфа в заводских условиях проводят в специальных смесителях (сатураторах). Готовую продукцию затаривают в полиэтиленовые мешки.

Торфоминерально–аммиачные удобрения повышают урожайность по сравнению с компонентами, взятыми в отдельности, всего на 10 – 11%.

В.А. Васильев и соавт. (1988) приводят результаты исследований по изучению эффективности ТМАУ на картофеле (табл. 160). Они отмечают одинаковую эффективность ТМАУ и минеральных удобрений в эквивалентных количествах.

Таблица 160

Влияние ТМАУ и смеси в эквивалентных количествах питательных веществ в торфе и минеральных удобрениях на урожайность картофеля (Васильев В.А., 1988)

Удобрения (доза на 1га)	Урожайность, ц/га	Прибавка урожайности	
		ц / га	%
Контроль (без удобрений)	147	-	-
ТМАУ, 21т	223	76	52
НРК, эквивалентно ТМАУ	196	49	33
НРК + торф (эквивалентно ТМАУ)	215	68	76

Дозы, сроки, способы эффективного применения торфа, торфяных компостов

Применение торфа на удобрение в чистом виде не всегда даёт положительный результат, и при незначительных прибавках оказывается малоэффективным приемом. В *чистом виде* можно применять только просушенный древесно-травянистый низинный торф с высокой степенью разложения (35-60), со значительным содержанием кальция или фосфора (свыше 2%). Торф оказывает более высокое положительное действие на песчаных и супесчаных почвах, чем на средне- и тяжелосуглинистых. По обобщенным данным ВИУА, урожайность культур при удобрении их торфом повышается в 1-й год в среднем на 10-15%. С учетом последствия, прибавки от торфа меньше, чем от навоза по картофелю – в 5 раз, по зерновым культурам – в 2,5 раза.

Переходный и верховой торфы положительного влияния на урожайность не оказывают, и их необходимо использовать на подстилку животным.

Низинный торф с хорошими химическими и физическими свойствами улучшает физические свойства почвы: структуру, плотность, воздухопроницаемость и др. Доза такого торфа под зерновые культуры 40-60 т, под пропашные 60-80 т/га. Вносить торф можно с осени под зяблевую вспашку и весной – под вспашку или культивацию почвы.

Торф используют *на подстилку*. Лучшим является верховой торф со степенью разложения до 15%. Торфяная подстилка обеспечивает хорошие условия содержания скота и способствует увеличению накопления высококачественного навоза. Установлены две категории торфяного сырья, пригодного для заготовки торфяной подстилки. К первой категории относят верховой торф со степенью разложения не более 15%, зольностью не выше 5%, содержанием остатков пушицы не более 5%. Ко второй категории – торф любого типа со степенью разложения для верхового и переходного до 15-25%, для низинного – до 15%, зольность для верхового и переходного до 8%, для низинного – до 10%. При этом содержание древесных остатков в сырье не должно превышать 10%, а остатков пушицы – до 15%. Влажность подстилочного торфа 40-50%.

Широко используют торф в чистом виде для *мульчирования* почвы. Применение торфа в виде мульчи препятствует образованию корки, предупреждает выдувание почвы, уменьшает испарение влаги с поверхности почвы, предохраняет от вымерзания посеянные осенью растения. Под торфяной мульчей почва медленно отдаёт тепло из-за плохой его теплопроводности, что выравнивает суточные колебания её температуры. При разложении торфа выделяется диоксид углерода, которая служит источником для образования органического вещества в растениях. При мульчировании торф наносят на поверхность почвы толщиной 3-5см. Для этой цели лучше использовать хорошо разложившийся проветренный торф с влажностью не более 50-65%. После уборки культуры торф заделывают в почву, питательные вещества которого после минерализации становятся доступными для последующих культур.

Использование торфа в защищенном грунте. В больших количествах торф используют в защищенном грунте. Он является основным компонентом при производстве различных грунтов и субстратов для парников и теплиц. Торф входит в состав всевозможных торфо-земляных смесей для выращивания рассады, комнатных, балконных растений, в состав торфяных питательных брикетов, горшочков и пр. Наиболее подходящим для защищенного грунта являются переходный и верховой торфа.

В зависимости от степени разложения, кислотности и зольности изготавливается различная торфяная продукция с добавлением извести и минеральных удобрений. В таблице 161 приведена характеристика торфа, используемого для защищенного грунта.

В весенних пленочных теплицах верховой или переходный торф используют в чистом виде, сменяя его через 1-2 года.

Таблица 161

Характеристика торфов для защищенного грунта
(Справочник «Органические удобрения», 1988)

Торфяная продукция	ТУ	Тип торфа	Степень разложения, %	Зольность, %	Содержание влаги, %	Кислотность pH (КС)
Грунты	ТУ 214 РСФСР 9-150-78	Верховой и переходный	≤ 25	≤ 20	50 - 60	Не нормируется
Торфодерновые ковры	ТУ 214 РСФСР 9-147 -78	Верховой	≤ 15	≤ 20	65 - 80	≤ 3,0
Горшки торфяные	ТУ 214 РСФСР 85-80	Верховой	≤ 15	≤ 8	≤ 55	Не нормируется
Торфяные питательные брикеты	ТУ 214 РСФСР 9-175-78	Верховой	≤ 8	≤ 8	≤ 53	2,5 - 3,5
Торфоблоки субстратные	ТУ 214 РСФСР 9-153-78	Верховой	≤ 15	Не нормируется	Не нормируется	То же
Микропарники	ТУ 214 РСФСР 9-137-77	Верховой	≤ 15	≤ 15	≤ 60	То же

Торф, на основе которого готовят грунты, должен соответствовать требованиям ТУ 214 РСФСР 9–150–84: массовая доля влаги – 50-60%, зольность – не более 20%, кислотность (рН сол.) – 2,5-6,0; засоренность древесиной, корневищами размером свыше 25 мм – не более 8%.

В зимних теплицах применяются торфяные грунты многолетнего пользования, ежегодно добавляя к ним навоз, опилки или измельченную древесную кору. Торф в таких грунтах должен составлять не менее 40-50% по объему.

Так как в большинстве верховые и переходные торфа кислые, то для нейтрализации кислотности проводят их известкование. Не рекомендуется проводить нейтрализацию кислотности одной доломитовой мукой, так как в таком грунте будет сужено соотношение между кальцием и магнием. Повышенное содержание магния угнетает развитие растений в связи с антагонизмом ионов и слабым поступлением кальция. Наиболее благоприятное соотношение между MgO и CaO равно 1: 5,5.

Использование торфа при выращивании рассады. Для выращивания рассады огурца, томата, перца, кабачка, патиссона на торфяном субстрате лучше использовать низинный торф со средней и высокой степенью разложения, имеющий рН сол 5,8 – 6,5. Кислый торф должен быть произвесткован.

Известкование кислого торфа следует проводить не позднее, чем за 10-15 дней до посева семян или пикировки сеянцев, а минеральные удобрения вносить за 3-5 дней до посева. Одновременное и заблаговременное перемешивание извести с минеральными удобрениями приводит к потере азота в газообразном состоянии, а водорастворимого фосфора – в малоподвижное состояние. После внесения минеральных удобрений субстрат увлажняют из расчета 0,6-0,8 л на 10 кг торфа, чтобы довести влажность до 70-80%.

Основная масса добываемого торфа в сельском хозяйстве идет на приготовление всевозможных *компостов*. Хорошо приготовленные торфо-навозные, торфожижевые, торфопомётные компосты почти не уступают по питательности полуперепревшему навозу КРС. По данным ВИУА (34 опыта), прибавка урожайности картофеля при внесении навоза составила 54 ц/га, при удобрении эквивалентной дозой торфонавозного компоста – 49 ц/га; (39 опытов) зерновых, соответственно, – 7,9 и 7,5 ц/га. Торфожижевые и торфофекальные компосты на Центральной торфоболотной станции обеспечили урожайность картофеля 375,9 ц/га и 354,7 ц/га, соответственно.

В связи с медленной минерализацией торфа, применяемого без органических удобрений, действие его на урожайность проявляется десятки лет, а поэтому экономическая эффективность на одной какой – либо культуре севооборота бывает невысокой.

Вопросы для повторения:

1. Что такое бесподстилочный навоз, каковы его разновидности и состав? 2. Расскажите о способах накопления, хранения и применения бесподстилочного навоза. 3. Как определяют дозы бесподстилочного навоза? 4. Каковы коэффициенты использования элементов питания растениями из бесподстилочного навоза? 5. Дозы, сроки, способы внесения подстилочного и бесподстилочного навоза под сельскохозяйственные культуры разных севооборотов. Техника для внесения. 6. Состав и особенности применения навозной жижи. 7. Коэффициенты использования элементов питания растениями из навозной жижи в год внесения. 8. Состав птичьего помёта. 9. Хранение и применение птичьего помёта. 10. Какие виды торфа существуют? 11. Состав и свойства разных видов торфов. 12. Какой торф лучше использовать в качестве подстилки животным? 13. Какой торф используют для компостирования? 14. Требования, предъявляемые к торфу, используемому в качестве удобрения. 15. Что такое компосты? 16. Какие виды компостов вы знаете? 17. Каковы особенности применения различных видов компостов? 18. Использование навоза и торфа в защищённом грунте.

Лекция 3. Зелёное и другие виды органических удобрений

- Характеристика основных сидератов.
- Условия, определяющие эффективность зелёного удобрения.
- Солома зерновых злаковых культур.
- Сапропель.
- Древесные отходы в качестве удобрения.
- Биогумус.
- Гуматы.

Характеристика основных сидератов

Зелёным удобрением называют растения с большой зелёной массой, выращиваемые с целью заделки их в почву. Этот приём называют также сидерацией, а растения, выращиваемые для этих целей – сидератами.

В качестве растений – сидератов используются многие культуры, но наиболее подходящими являются бобовые культуры. Бобовые растения с помощью клубеньковых бактерий, развивающихся на их корнях, способны фиксировать азот воздуха и обогащать почву связанными соединениями азота. При выращивании бобовых сидератов на 1 га образуется до 50 т зелёной массы, содержащей до 200 кг азота. По содержанию азота 1 т зелёного удобрения равноценна 1 т навоза (табл. 162). Эффективность и продолжительность действия зелёного удобрения тем выше, чем больше зелёной массы запахивается в почву.

Таблица 162

Содержание питательных элементов в навозе и зелёном удобрении, кг/т (Кидин В.В., 2012)

Удобрение	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Навоз смешанный	5,0	2,0	6,0	7,0
Зелёная масса:				
люпина	4,5	1,0	1,7	4,7
донника	5,7	0,5	1,9	9,7

После запашки в почву и минерализации зелёной массы сидератов азот, связанный в форме органических соединений, переходит в минеральную форму и используется последующими растениями. Коэффициент использования культурами азота зелёного 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.

Д.Н. Прянишников рассматривал зелёное удобрение как источник дешёвого биологического азота, необходимого элемента для всех растений. Исключительно ценным растением в качестве сидератов он считал люпин многолетний и однолетний. При запашке 20 т зелёной массы люпина в почву вносится около 100 кг азота, улучшается деятельность микроорганизмов, физико-химические свойства почвы. Его корневая система усваивает фосфор из нерастворимых в воде фосфорных соединений, в том числе и из минералов не только из пахотного слоя, но и из всего профиля почвы.

Под влиянием зелёного удобрения увеличивается содержание гумуса в почве, усиливается микробиологическая деятельность, повышаются влагоёмкость, поглощательная способность почвы, улучшается её структура. В результате значительно повышаются плодородие почв и урожайность возделываемых культур.

По данным многолетнего опыта, на бедной песчаной почве Новозыбковской опытной станции без удобрения получен урожай ржи и картофеля, соответственно, 0,6 и 13,1 т/га, по люпиновому удобрению – 1,1 и 18,5 т/га, а впоследствии при внесении этого удобрения урожай овса составил 1,0 т/га (без удобрения 0,8 т/га). В целом за ротацию севооборота урожай от зелёного удобрения повысился в 1,5 раза.

Люпин многолетний и однолетний для создания надземной массы развивает большую массу корней, в среднем 60-80% от надземной зелёной массы. На корнях люпинов развиваются специфичные клубеньковые бактерии. Штаммы клубеньковых бактерий различаются по вирулентности (способность проникать в корень и образовывать клубеньки) и активности (способность к усвоению молекулярного азота атмосферы). Корневая система многолетнего люпина на 4-5 году жизни с помощью бактерий усваивает и передаёт растению до 150 кг/га атмосферного азота, а однолетнего люпина – 40-70 кг/га.

В изучении и внедрении зелёного удобрения на Урале большие работы провели (начиная с 1922 года) сотрудники Менделеевского опытного поля, а с 1929 года – сотрудники Соликамской опытной станции.

В пятидесятые – семидесятые годы двадцатого столетия под руководством профессора Пермского сельскохозяйственного института М.Н. Гуренева защищен ряд диссертационных работ по вопросам выращивания и использования люпина в Пермской области и Удмуртии.

В девяностые годы изучением сравнительной эффективности различных сидератов занимались сотрудники Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства.

Исследования многих ученых показали, что эффект от запахивания в почву 15-20 т/га зелёной массы пожнивной бобовой культуры равноценен внесению 20 т навоза. Применение сидератов особенно эффективно на полях, расположенных вдали от населённых пунктов, животноводческих ферм, залежей торфа.

Д.Н. Прянишников в 1948 году писал: «Широкое использование многолетнего люпина на зелёное удобрение во всех районах Пермской области должно стать неотложной задачей ближайшего будущего. Многолетний люпин мог бы занять, по крайней мере, одно паровое поле севооборота, что составило бы по области 200 тыс. га. По количеству азота и органического вещества это будет равноценно примерно 6 млн. т навоза». Он считал, что люпин нужно высевать также на запольных и бросовых землях как для получения семян, так и на зелёное удобрение в течение 6-8 лет. Однако широкого применения на зелёное удобрение люпин не нашёл, ни в один год площадь пашни под ним не превышала 5 тыс. га.

Многолетний люпин может произрастать и давать ежегодно семена, в отличие от однолетнего, в центральных и южных районах Пермского края.

Высеивают многолетний люпин весной под покров зерновой культуры или беспокровно. В чистом виде многолетний люпин можно сеять осенью. Только на второй год люпин наращивает массу цветущих растений, зацветает в конце июня и созревает в августе.

В первый год жизни многолетний люпин даёт прикорневую розетку листьев и в единичных случаях – цветочную кисть и вызревшие семена. Зелёной массы накапливается всего 5–12 т/га. На второй год жизни или в первый год пользования накапливается 30–40 т зелёной массы и 8–10 т/га корней.

Максимальной продуктивности он достигает на 4-5 год жизни. Масса корней в эти годы сопоставима с массой стеблей и листьев. На одном месте люпин может произрастать 8-10 лет. В благоприятные годы урожайность зелёной массы многолетнего люпина достигает 50–60 т/га.

Люпин может произрастать на всех типах почв. Хорошо растет на бедных песчаных и супесчаных почвах. Корневая система многолетнего люпина проникает на глубину 2-2,5 м. Растет в широком интервале pH, от 4 до 6,5-7, но оптимальные условия для роста создаются при pH – 5-6.

Самостоятельные беспокровные посевы люпина закладывают вне севооборота и выращивают 8-10 лет. На таких люпинниках собирают семена и подкашивают зелёную массу для укосного удобрения на других полях. В условиях Пермского края, при достаточном количестве влаги и тепла, можно получить два урожая за вегетационный период.

В сухой массе люпина многолетнего, скошенной в фазе цветения, содержится азота 2,0-2,5%, фосфора – 0,1-0,6% и калия – 2,0-2,5%. По эффективности укосный многолетний люпин приравнивают к подстилочному навозу.

После запашки люпина в занятом или паровом поле часть растений отрастает и даёт новые побеги. Уничтожить их можно своевременной обработкой дисковыми боронами, культиваторами с плоскорежущими лапами или лемешными плугами.

В качестве зелёного удобрения также используется люпин однолетний; (узколистный и жёлтый, как правило, алкалоидных сортов). Синий и жёлтый люпины по биологическим свойствам схожи между собой. И тот, и другой хорошо растут на почвах, бедных органическим веществом, кислых, с недостатком подвижных питательных

веществ, в том числе фосфора, так как обладают способностью усваивать его из нерастворимых в воде фосфорных соединений.

Алкалоидный люпин высевают в мае в чистом виде и как промежуточную культуру после уборки озимой ржи на зелёный корм. Массу алкалоидного люпина запахивают на месте, то есть на том поле, на котором его вырастили.

Несмотря на высокую рентабельность использования алкалоидного люпина на зелёное удобрение имеется существенный недостаток при его выращивании. В условиях короткого лета повсеместно семена однолетних люпинов получить ежегодно не удаётся. Только в южных и юго-западных районах Пермского края с суммой активных температур 1800-1900°С за вегетационный период при рациональном использовании фосфорных и калийных удобрений, ранних посевах и хорошем уходе можно получить высококачественные семена.

Для зелёного удобрения можно использовать, наряду с люпином, донник, сераделлу, клевер белый, люцерну, рапс озимый и яровой, сурепицу яровую, горчицу белую, горох, вику и др. культуры.

Из всех указанных культур больше возделывают в пожнивных и поукосных посевах рапс яровой. Для этой культуры важное значение имеет своевременный и качественный посев. Для сокращения разрыва между уборкой основной культуры и посевом рапса ярового все работы по обработке почвы, удобрению почвы и посеву проводят в сжатые сроки при высокой организации труда.

Для раннего пожнивного и поукосного посева на всех почвах можно отказаться от вспашки и ограничиться поверхностной обработкой.

Рапс не усваивает азот воздуха, поэтому под него вносят тройное удобрение: азот – 90-180 кг, фосфор – 60-90 кг и калий – 60-90 кг в действующем веществе на гектар. Перед посевом почва должна быть выровнена прикатыванием, заделывают семена на глубину 2-3 см. После посева проводят повторное прикатывание. Норму высева при пожнивном или поукосном посеве увеличивают на 20-25% по сравнению с весенними сроками сева.

В Нечерноземной зоне хорошо зарекомендовали себя в качестве сидератов быстрорастущие крестоцветные культуры – редька масличная, горчица белая, рапс яровой и сурепица. Эти растения отличаются также повышенной способностью к усвоению фосфора из труднодоступных соединений и к накоплению белка в зелёной массе, что может служить дополнительным источником питания растений, выращиваемых на поле после запашки их зелёной массы в качестве сидеральной.

В степной и сухостепной зонах страны с карбонатными почвами особенно эффективно применение в качестве сидерата донника, отличающегося высокой продуктивностью (до 70 т/га) даже на малоплодородных почвах. Заделка его зелёной массы в черноземно-солонцовые комплексные почвы обеспечивает мелиорирующий эффект за счёт увеличения подвижности кальция и вытеснения поглощенного натрия.

Люпин, донник и другие сидераты можно использовать на зелёное удобрение в виде самостоятельной культуры (выращивают как парозанимающую культуру, то есть занимают поле с весны и запахивают во второй половине лета), как промежуточную подсевную или пожнивную культуру (выращивают в промежутке между уборкой одной культуры и посевом другой), а также в виде укосной массы, выращенной на другом участке в течение ряда лет (многолетний люпин).

Большое хозяйственное значение имеет посев кормового (безалкалоидного) желтого люпина в занятых парах с последующим двусторонним использованием: зелёную массу скашивают на корм, а стерневые остатки (или отросшую отаву) запахивают на удобрение.

Зелёное удобрение как весьма эффективное и дешёвое местное средство имеет особенно большое значение для повышения плодородия малокультуренных почв при недостатке навоза и других органических удобрений в хозяйстве или при необходимости перевозки их на дальние поля.

Расширение посевов сидератов позволяет также в определённой мере ограничить использование запасов торфа – невосполняемого фактора регуляции биоклиматических процессов на окружающих территориях. Однако расширение масштабов применения зелёного удобрения сдерживают семеноводство и отсутствие системы машин и технологий для возделывания и эффективного использования сидератов, прежде всего, бобовых растений с высокой способностью к симбиотической азотфиксации.

Кроме удобрительного назначения, сидераты позволяют успешно бороться с эрозией и засолением почв, вредителями и сорняками, обеспечивая устойчивое функционирование агроэкосистемы и получение качественной и экологически безопасной продукции.

Условия, определяющие эффективность зелёного удобрения

Для получения хорошего урожая зелёной массы бобовых сидератов, повышения фиксации азота воздуха клубеньковыми бактериями и накопления его в почве необходимы известкование кислых почв, внесение фосфорных и калийных удобрений (по 45-50 кг/га P_2O_5 и K_2O), предпосевная инокуляция семян

препаратами, содержащими активные расы клубеньковых бактерий. Такая методика носит название *нитрагинизация*.

Нитрагин – препарат, содержащий клубеньковые бактерии, которые, развиваясь на корнях бобовых растений, усваивают азот из воздуха. В почве клубеньковых бактерий часто очень мало или они вовсе отсутствуют, поэтому необходимо искусственное заражение бобовых культур этими бактериями. Для разных групп бобовых культур изготавливают различные виды нитрагина со специфическими расами бактерий.

Для инокуляции семян бобовых культур клубеньковыми бактериями эффективно также применение препарата *ризоторфин*. Его выпускают в расфасовке на гектарную норму посева соответствующей культуры (200 г препарата с содержанием не менее 2,54 млрд. бактерий). Суспензией ризоторфина семена бобовых культур обрабатывают непосредственно перед посевом с помощью машин для протравливания.

Нитрагинизация семян совместима с обработкой семян микроэлементами и отдельными протравителями (например, фундазолом).

Успешное использование сидератов возможно во многих районах страны, однако наибольшее значение зелёное удобрение имеет на дерново-подзолистых, серых лесных и особенно на легких песчаных почвах Нечерноземной зоны. Основные сидераты в этой зоне – однолетние виды люпина (как алкалоидные, так и безалкалоидные), сераделла, многолетний люпин (в северных районах), а также донник (на почвах с высоким содержанием кальция или сильно произвесткованных).

Наиболее распространенный сидерат – люпин. Он хорошо произрастает и способен давать большую зелёную массу как на самых бедных песчаных, так и на более тяжелых

суглинистых почвах. Большой практический интерес представляют узколистные кормовые и сидеральные люпины, которые отличаются более коротким периодом вегетации, быстрыми темпами роста и способностью формировать высокий (до 100 т/га) урожай зелёной массы, устойчивостью к болезням. Люпин не переносит высокого содержания кальция, и поэтому непригоден для карбонатных почв. На этих почвах используют другие сидераты: озимый горох, озимую вику, донник, чину и др.

Солома зерновых злаковых культур

Около 50% посевных площадей Пермского края занято зерновыми культурами. Ежегодный урожай соломы зерновых культур составляет более 330 тыс. т. В недалеком прошлом почти вся солома уходила на корм скоту. В настоящее время значительные массы её остаются на полях и сжигаются. При сжигании 30 ц соломы теряется 18-20 кг/га азота и 1200-1400 кг/га углерода. Химический состав соломы (% на сухое вещество) приводится в таблице 163.

Таблица 163

Химический состав соломы в условиях Предуралья, %, (Зиганшина Ф.М., 1989)

Солома культуры	Сухое вещество	Органическое вещество	В воздушно-сухом веществе				
			зола	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C:N
Ржаная	86	83	3,1	0,50	0,22	1,6	166
Овсяная	86	82	4,2	0,75	0,30	2,0	109
Ячменная	86	82	4,3	0,70	0,26	2,1	123
Пшеничная	85	81	4,1	0,67	0,21	1,5	121
Рапсовая	85	80	-	0,53	0,11	0,85	70
Зернобобовых	86	80	-	1,29	0,16	1,09	20

Согласно приведённому химическому составу соломы с 1 т на гектар может поступать в почву: органического вещества – 800 кг, азота – 4-7, фосфора – 0,8-2,3, калия – 10-

15, кальция – 2-10, магния – 0,5-2, серы – 1-2 кг, бора – 7 г, меди – 3, марганца – 30, молибдена – 0,4, цинка – 40, кобальта – 0,1 г. В солому входят стебли, листья, колосья после обмолота урожая зерновых культур. Длина соломы колеблется в зависимости от культуры в пределах 30 – 180 см. Солома овса и ячменя мягче, чем пшеницы и озимых культур, поэтому она при резком недостатке кормов идёт для использования на корм.

Солома состоит в основном из трех групп органических соединений: целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Целлюлоза представляет собой глюкозу, связанную в межмецеллярные молекулы. Гемицеллюлоза состоит из пентозанных сахаров. Лигнин – полимер ароматических соединений, придающий растению прочность и жесткость. Кроме этих соединений, солома в небольших количествах содержит белок, воск, сахара, соли и нерастворенную золу. В условиях Предуралья на дерново – подзолистых, серых лесных и черноземных почвах окончательная минерализация соломы злаков происходит только на 4 – 5 год после заделки.

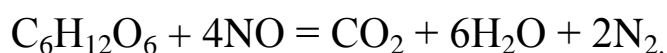
Основными конечными продуктами при разложении соломы являются: углекислый газ, вода, азот в виде солей аммония и в составе ППК, фосфор в виде солей ортофосфорной кислоты, хорошо усвояемых растениями и калий в виде обменного в ППК и солей.

Во всех видах соломы, отмечается широкое отношение углерода к азоту. От соотношения C:N зависит скорость разложения соломы. Чем уже это соотношение, тем быстрее происходит разложение соломы микроорганизмами в почве.

При внесении соломы в чистом виде в первый год наблюдается снижение урожайности в результате

дополнительного потребления азота почвы целлюлозоразлагающими бактериями. Микроорганизмы для окисления органического вещества (целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, сахаров) используют кислород нитратов почвы, при этом последние восстанавливаются до свободного азота с потерей его в окружающую среду.

Восстановление нитратного азота микроорганизмами до свободного газообразного азота (N₂) называется денитрификацией. Реакция может быть описана уравнением:



Чем шире соотношение C:N в соломе, тем больше микроорганизмам требуется азота почвы. Для снижения потерь азота почвы и усиления процесса минерализации необходимо на 1 т соломы вносить 10-15 кг азота в виде минеральных или органических удобрений (на 1 га необходимо вносить в среднем по 30-40 кг/га д.в. азотных удобрений, или органических 6-8 т подстилочного или бесподстилочного навоза).

В опытах Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева при внесении 22 т/га ржаной соломы в течение 7 лет в почву, кроме азота, поступило 56 кг/га фосфора, 230 кг/га калия, что привело к увеличению подвижных форм этих элементов в слое 0 – 30 см.

При разложении соломы в почве 80-90% органического вещества минерализуется до конечных продуктов, то есть минеральных соединений и 10-20 % участвуют в синтезе гумусовых веществ. На дерново-подзолистых почвах запашка 2-3 т /га соломы обуславливает образование 3-5 ц гумуса.

Большую часть сухого вещества в соломе занимает клетчатка. Она разлагается грибами – актиномицетами и

бактериями. Разрушается клетчатка медленно, так как она связана с лигнином, смолами и восками. При разложении клетчатки образуются низкомолекулярные кислоты, спирты и резорцин, принимающие участие в построении гумусных соединений. Все органические соединения соломы стабильны и разлагаются микроорганизмами длительное время. Минерализация её происходит в несколько раз быстрее в присутствии навоза или навозной жижи. В соломе под воздействием микроорганизмов почвы или навоза в первую очередь разрушаются простые углеводы и белки, затем – целлюлоза и гемицеллюлоза, в последнюю очередь разлагается лигнин. Скорость и степень минерализации соломы зависит от способа обработки почвы, плотности, увлажнения и температуры. В уплотненной и сухой почве минерализация происходит значительно медленнее, чем в рыхлой и увлажненной. В соломе кроме указанных органических веществ присутствуют салициловая, дегидростеариновая кислоты, ванилин и фенол. Эти соединения токсически действуют на растения. Продукты разложения соломы – ванилиновая, кумаровая, дегидростеариновая, салициловая, бензойная кислоты и их соединения ингибируют рост растений. Прежде всего, это проявляется на росте корней, нарушении обмена веществ, хлорозе, подавлении дыхательного процесса.

Солому используют непосредственно на удобрение, для получения подстилочного навоза, для получения компостов, для мульчирования.

При использовании соломы в качестве удобрения её измельчают и разбрасывают по полю. После измельчения солому лучше заделать луцильником или дисковой бороной на глубину 8-10 см. Такая первоначальная заделка её позволяет

избежать накопления токсических соединений, так как в аэробных условиях почвы токсичные вещества быстрее исчезают в результате усвоения их микроорганизмами и адсорбции коллоидами почвы. В анаэробных условиях они сохраняются более длительный период.

Применение одной соломы, без азотных удобрений, в большинстве случаев может привести на некоторое время к снижению урожайности (табл. 164).

Таблица 164

Влияние длительного использования свежемелённой соломы на продуктивность пашни в севообороте* (Зиганшина Ф.М., 1989)

Фон минеральных удобрений	Доза соломы, т/га	Среднее за 1974-1988 гг.		
		выход кормовых единиц, ц/га в год	отклонения урожайности	
			ц/га	%
Без удобрений	0	32,9	-	
	2	32,4	-0,5	-1,52
	4	31,5	-1,4	-4,26
	6	32,9	0	0,00
P ₉₀ K ₉₀	0	35,3	-	
	2	34,4	-0,9	-2,55
	4	32,2	-3,1	-8,78
	6	34,1	-1,2	-3,40
N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	0	45,8	-	
	2	47,3	1,5	3,28
	4	48,2	2,4	5,24
	6	49,1	3,3	7,21

*– севооборот 5-польный: горохоовсяная смесь, озимая рожь, картофель, ячмень и овёс. Опыт заложен С.И. Поповой в 1974 году

Снижение выхода кормовых единиц за ротацию пятипольного севооборота в зависимости от доз запаханной соломы составляло 0,5-1,4 ц/га. Внесение P₆₀K₆₀ при тех же дозах соломы, что и без минеральных удобрений, ещё больше обусловило снижение продуктивности севооборота. Использование соломы с азотом минеральных или органических удобрений способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Солома оказывает положительное влияние на физико-химические свойства почвы (табл. 165).

Таблица 165

Влияние соломы на свойства почвы (конец второй ротации севооборота) (Зиганшина Ф.М., 1989)

Показатели	Без соломы	Солома 4 т/га
P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы	24,2	27,1
K ₂ O, мг/100 г почвы	20,2	21,9
Гумус, %	2,56	2,65
Объёмная масса, г/см ³	1,43	1,27
Общее количество микроорганизмов, тыс. шт. в 1 г	1220	1306

Её используют в качестве подстилочного материала (в виде резки) и для компостирования с различными традиционными органическими удобрениями, ограниченно (после запарки пшеничной соломы) – для кормления сельскохозяйственных животных, в гидролизном и других видах производств.

Мульчирование соломой заключается в её измельчении, равномерном покрытии почвы мульчей. Этот приём даёт хороший результат во влажных условиях, так как предотвращает сильный рост сорняков. Мульчирование соломой является эффективным приёмом в борьбе с эрозией почвы.

При сложившейся структуре посевных площадей выход соломы в земледелии страны оценивается в 100 млн. т в год, половина которого может служить значительным резервом восполнения убыли органического вещества (углерода) при минерализации гумуса почвы.

При решении вопроса о целесообразности применения соломы на удобрение необходимо учитывать насыщенность севооборота зерновыми злаками, фитопатогенную обстановку и засоренность посевов, особенности азотного режима почв, применения органических и минеральных удобрений в хозяйстве.

Сапропель

Сапропель – это органические и минеральные донные отложения пресноводных водоёмов (прудов, рек, озёр). Внешне это однородная масса влажностью от 60 до 97% с содержанием органического вещества 12-80% и зольностью 19-88% в расчёте на сухую массу. В зависимости от содержания золы их делят на малозольные с содержанием золы до 30%, средnezольные – 30-50%, повышенной зольности – 50-70% и высокозольные – 70-85%. Сапропелевые отложения с зольностью более 85% называют илом. Объёмная масса сапропелей 1,0-1,08 т/м³. Перед употреблением их промораживают, они быстро высыхают до влажности 18-20% и становятся рыхлыми.

Цвет сапропелей может быть голубоватый, обусловленный вивианитом, серый, обусловленный известью, розовый – каротином, зелёный – хлорофиллом, чёрный – восстановленным железом. Химический состав сапропелей, %: N – от 1,3 до 2,9 в органической форме, подвижные формы азота составляют 0,2-0,3; общее содержание фосфора 0,18-0,43, подвижного – 0,14-0,18; общего калия 0,12-0,22, подвижного – 0,04-0,15. Микроэлементы в 1 кг сухой массы сапропеля, мг: Mn – 200-1000, Zn – 10-400, В – 10-200, Cu – 2-60, Mo – 2-20 и Co – 2-15.

Приготовление сапропелей. В специальных отстойниках, куда массу подают насосом, её фильтруют, ворошат и складывают в штабеля. По ГОСТу сапропель должен иметь pH не менее 5,0, содержание воды – не более 50%, частиц размером более 10 мм – не более 10%. Сапропель, используемый для известкования кислых почв, содержит воды не более 40%, CaCO₃ для первой категории – не менее 70%, второй категории – 50-70%, и третьей категории 30-50%.

Дозы внесения 30-40 т/га под зерновые культуры, 50-100 т – под пропашные под вспашку или культивацию, 80 т сапропеля по действию равноценны 40 т навоза. Целесообразно использовать на расстоянии не более 30 км от образования, окупаемость при применении на расстоянии до 30 км высокая.

Древесные отходы в качестве удобрения

Кора и опил содержат более 85% органического вещества, азота – 0,2-0,5, фосфора – 0,05-0,15, калия – 0,45, окиси кальция – 25% на абсолютно сухое вещество; отношение углерода к азоту очень широкое и достигает 200:1. Все элементы входят в состав трудноразлагающихся органических соединений, таких как лигнин и целлюлоза, составляющих 55 и 25% древесной массы. Водная вытяжка как из коры, так и из опила характеризуется кислой реакцией среды, рН 4,0-4,9, зольность их составляет 3-6%. Древесная кора многолетнего хранения представляет разложившуюся массу чёрно-бурого цвета влажностью 50-70%. Реакция среды – слабокислая. Древесные опилки содержат питательных веществ меньше, чем кора. Таким образом, кора и опилки состоят в основном из органического вещества и не содержат легкоусвояемых элементов питания, а поэтому могут применяться только после компостирования с различными добавками. Гумификация клеточных оболочек коры происходит только после разрушения изолирующих их слоёв пробковой ткани, поэтому прежде чем приступить к компостированию, кору необходимо измельчить. Чем меньше диаметр частиц, тем быстрее происходит процесс компостирования. Измельчённая кора должна иметь

влажность не более 50%, части диаметром более 10 мм – не более 40%, в том числе содержать частиц размером 40 мм – не более 15%. Размол коры до такого состояния требует больших затрат. Для компостирования без измельчения можно использовать кору и опилки, пролежавшие в отвалах десятки лет. При длительном хранении они приобретают рыхлость и сыпучесть. Удобрительная ценность коры и опилок не велика, применение их в чистом виде иногда приносит не пользу, а вред, так как лигнин, смолы и другие соединения, а также кислая реакция отрицательно влияют на поступление питательных элементов почвы. При разложении клетчатки микроорганизмы расходуют большое количество азота почвы, оставляя растения без азота. Особенно опасно вносить в почву свежие опилки.

Для ускорения процесса минерализации измельчённую кору и полуперепревшие опилки (пролежавшие в буртах или кучах не менее двух лет) компостируют с бесподстилочным жидким навозом, птичьим помётом при соотношении 1:1. При этом эффективно добавлять 2-3% фосфоритной муки (от массы компоста). При отсутствии фосфоритной муки необходимо внести золу или известь.

Готовые к внесению коронавозные, коропомётные компосты имеют влажность 60-75%, содержание в сухом остатке золы – 20-30%, общего азота – 1,3-2,7%, фосфора – 1,3-2,6%, калия – 0,7-1,5%, рН водной суспензии 7,0-8,5. Доступность этих элементов растениям ниже, чем из подстилочного навоза и торфонавозного компоста. Результаты использования компостов из древесной коры и помёта (соотношение 1:1) на озимой ржи в Кировской области показали, что внесение их в дозах 20, 40 и 60 т/га позволило дополнительно получить 1,3, 1,4 и 7,4 ц/га зерна.

Имеется довольно много рекомендаций по приготовлению короминеральных удобрений и использованию их под сельскохозяйственные культуры. Л.А. Гришина и др. рекомендуют при приготовлении короминерального компоста влажностью 60-70 % вносить не менее 1% азота, 0,5% фосфора, 0,25% калия по действующему веществу от массы коры (или 10, 5 и 2,5 кг, соответственно, на 1 т). Перемешанную массу укладывают в бурт и компостируют в течение 2-6 месяцев (в зависимости от степени подготовленности коры, климатических условий и времени закладки бурта). Сибирский НИИ целлюлозы и картона рекомендует на 1 т абсолютно сухой массы применять 7,5 кг азота, 12 кг фосфора в действующем веществе. Компостирование рекомендуют проводить в течение 3-4 месяцев в буртах высотой 2,5-3 м, шириной 6-10 м – у основания и 4-7 – в верхней части.

Короминеральные, короорганические удобрения по своей эффективности уступают торфонавозным компостам, однако положительность действия первых более растянута, иногда их последствие проявляется на 9-10 год после внесения. Дозы, сроки и способы внесения компостов на основе коры и опилок такие же, как и торфонавозных компостов.

Биогумус

Одним из развивающихся направлений в решении проблемы утилизации органических отходов растениеводства и животноводства, перерабатывающей промышленности и городского хозяйства является вермиккультура – промышленное производство калифорнийских червей и биогумуса. В вермиккультуре используют в основном гибрид красного калифорнийского червя.

Он пригоден к промышленному разведению и способен перерабатывать разнообразные органические субстраты: навоз всех видов животных, помёт птиц, солому и другие растительные остатки, осадки сточных вод, органические материалы городского мусора, пищевые и промышленные отходы. Продолжительность жизни красного червя достигает 16 лет, а обычных дождевых червей – 4 года.

В течение года при температуре около 20⁰С на соответствующем субстрате одна пара червей может дать 3 тыс. молодых особей и за один цикл выращивания (3 мес.) с 1 м² можно собрать до 30 кг биомассы червей. В короткие сроки можно получить большую массу червей с содержанием 67-72% белка, 7-19 – жира, 18-20 – углеводов и 2-3% минеральных веществ, которую после измельчения и смешивания с наполнителями либо в виде автолизата используют для кормления птицы, животных, пушных зверей, рыб и получения биологически активных веществ для производства медицинских, пищевых и кормовых препаратов.

При переработке червями 1 т органических отходов (в расчете на сухое вещество) в биомассе червей получают около 100 кг полноценного белка и 600 кг биогумуса с влажностью 60-65%, используемого в качестве органического удобрения. Биогумус содержит 12-15% гумуса, что превосходит его содержание в навозе и компостах в 4-8 раз.

Особенности биогумуса:

- количество микрофлоры в 100 раз больше, чем в навозе, и это натуральное удобрение считается наилучшим;
- хорошая сбалансированность макро- и микроэлементами, что позволяет уменьшить нормы внесения в 8-10 раз, эффективен в течение 2-3 лет;
- хорошая рассыпчатость и сочетаемость с минеральными удобрениями;
- рН_(KCL) 6,8-7,2, что затрудняет развитие болезней.

Химический состав зависит от вида органических отходов, наполнителей, используемых при составлении субстратов, технологии их подготовки и других факторов. Химический состав биогумуса, приготовленного на основе навоза крупного рогатого скота: сухая органическая масса – 40-60%; гумус – 10-12%; pH – 6,5-7,2; влажность – 45-55%; валовое содержание элементов питания в %: N – 0,8-3,0; P₂O₅ – 1,4-2,5; K₂O – 1,2-3,0; CaO – 4,5-8,0; MgO – 0,6-2,3; Fe₂O₃ – 0,5-2,5; минеральные формы, мг/кг: – N – 16,37; P₂O₅ – 470; K₂O – 156; CaO – 46,8; Cu – 1,1-5,1; Fe – 140; Mn – 60-80; Zn – 28-35; остаток после прокаливания – 60,18%; потери при прокаливании – 39,82%; C – 17,9%; C:N = 14,8; бактериальная флора – 2×10^{12} .

Ассоциацией «Биоконверсия» были разработаны технические условия на биогумус в зависимости от состава субстрата (табл. 166).

Таблица 166

Химический состав биогумуса в зависимости от субстрата,
на сухое вещество

Показатели	Вид субстрата			
	навоз		помёт куриный	ил
	КРС	свиной		
pH _(KCL)	7,4	7,4	7,1	7,5
Органическое вещество, %	25,0	41,0	47,0	34,0
Гумус, %	20,3	29,4	34,2	25,1
N (общ.), %	1,0	1,5	1,6	0,8
P ₂ O ₅ , %	0,8	2,4	1,6	2,4
K ₂ O, %	2,2	2,5	2,1	2,9
CaO, %	4,6	7,0	7,3	7,3
MgO, %	0,9	4,1	2,3	2,3
Fe, мг/кг	0,57	0,48	0,36	0,40
Mo, мг/кг	0,50	0,41	0,30	0,40
Zn, мг/кг	134,0	326,0	317,0	256,0
Cu, мг/кг	7,3	22,2	15,4	14,8
Mn, мг/кг	425,0	350,0	395	380
Co, мг/кг	4,4	3,4	4,2	4,4

Чаще всего биогумус получают из свиного навоза или навоза крупного рогатого скота, помёта, соломы, древесных

опилок, сухих остатков растений, добавляя около 10% компоста. Бесподстилочный навоз, птичий помёт при компостировании необходимо перемешивать с соломой, опилками и другими наполнителями в соотношении 1:1 в пересчёте на сухую массу. Навоз, солому или какие либо другие отходы укладывают на бетонированную площадку рядами шириной 1,2-1,5 м, высотой 25-30 см (летом 35-40 см), длина рядов произвольная, расстояние между рядами 0,7-1,0 м, высота 1,5-2,0 м, влажность массы 60-70% от НВ, степень аэрации 45-50%. В подготовленную массу помещают 25-30 тыс. особей на 1 м².

Конец ферментации определяют по следующим признакам: потеря прочности используемых материалов, приобретение тёмно-коричневой окраски, равномерность ферментации, затухание термических процессов. Для ускорения ферментации можно рекомендовать измельчение отходов до 5 см, добавление мочевины из расчёта 1,0-1,5 кг д.в. по азоту на 1 т органических отходов с естественной влажностью, проводить полив 4-6 л на 1 м² через 3-4 дня.

По сравнению с традиционным компостированием переработка органических веществ червями повышает коэффициент гумификации в 1,5-2 раза.

Биогумус обладает высокой водостойкостью и улучшает структуру почвы, активизирует её биологическую активность, частично нейтрализует почвенную кислотность. Он содержит ферменты и биостимуляторы, обладает бактерицидными свойствами, не имеет запаха и по консистенции подобен перегною, получаемому при разложении навоза и традиционных компостов. Благодаря деятельности червей и применению биогумуса можно связывать находящиеся в отходах и почве тяжелые металлы, ограничивать поступление в растения радионуклидов и накопление нитратов в получаемой растениеводческой продукции.

В России переработкой органических отходов методом вермикуль-тивирования занимаются свыше 1 тыс. предприятий и организаций: это в основном товарищества и акционерные общества, фермеры и другие производители с небольшими объемами выхода гумуса – от 10 до 1000 т в год. Биогумус приобретает популярность у населения, занимающегося овощеводством и садоводством благодаря небольшим дозам внесения (2,5 т/га при сплошном и 250-300 кг/га при локальном внесении) и меньшим материальным и трудовым затратам на единицу площади по сравнению с расходами на применение традиционных органических удобрений.

Биогумус можно вносить локально под зерновые 250-300 кг/га, , в лунки – при посадке 0,2-0,3 кг, в качестве мульчи – под корнеплоды, лук, чеснок, салат, укроп, редис 1,0,-0,5 кг/м². В защищённом грунте – под огурцы, томаты 0,3-0,4 кг в лунку. Биогумус рекомендуют вносить под овощные в виде 2-3 подкормок за вегетационный период по 0,3-0,4 кг/м² или поливать настоем по 200-300 мл на одно растение. В небольших количествах для нужд приусадебного участка водный экстракт из биогумуса готовят следующим образом: 1 стакан сухого биогумуса заливают 10 л воды комнатной температуры, хорошо перемешивают и настаивают в течение суток. Вода приобретает светло-коричневый цвет чая, который можно использовать для обработки семян, некорневых подкормок овощных и плодовых культур, а также для полива рассады овощных и комнатных растений.

Семена овощных культур замачивают на 12 часов в растворах удобрения перед посадкой из расчета по объёму 1:10. При этом повышается их всхожесть, а также скорость и дружность прорастания.

Лучшими сроками для проведения некорневых подкормок плодовых деревьев являются: после цветения, в начале опадания завязи, в период закладки цветочных почек, роста плодов.

Овощные культуры хорошо отзываются на некорневую подкормку до цветения и после образования плодов, земляника после образования ягод. Трёхкратное опрыскивание цветочных культур с интервалами 7-8 дней вызывает ускорение, усиливает интенсивность окраски листьев и значительно повышает декоративность растений. Следует также отметить, что некорневая подкормка растений биогумусом значительно повышает их устойчивость к таким болезням, как фузариоз, мучнистая роса, бактериоз, серая гниль.

По отзывчивости на биогумус можно выделить несколько групп растений.

Очень отзывчивы – овощные культуры, клубнеплоды, корнеплоды. Прибавка урожайности составляет 35-40%.

Хорошо реагируют зерновые, прирост до 25%.

Зернобобовые культуры реагируют удовлетворительно, прибавки до 15%.

Масличные культуры реагируют слабо.

Практика применения биогумуса при выращивании, прежде всего, овощных культур свидетельствует о высокой его эффективности как органического удобрения в условиях мелкотоварного производства, а также в овощеводстве и цветоводстве защищенного грунта.

В то же время в опытах ВНИПТИОУ с различными полевыми культурами (картофелем, ячменем и овсом) доза вермикомпоста в 14-18 т/га влияла на урожай практически одинаково с эквивалентной по азоту дозой навоза (20-26 т/га), а половинная доза вермикомпоста не оказывала достоверного влияния на продуктивность изучавшихся культур. Слабо было выражено и последствие вермикомпоста.

Гуматы

Гуматы – группа естественных, высокомолекулярных, экологически безопасных регуляторов роста растений на основе гуминовых кислот. Они не токсичны, не канцерогенны, не вызывают мутаций и не обладают эмбриологической активностью. Остаточные количества гуматов в растениях не обнаруживаются, так как они сравнительно легко и быстро включаются в метаболизм. Гуминовые кислоты обладают разносторонней направленностью действия: активирование биоэнергетических процессов, стимуляция синтетических процессов, улучшение проникновения элементов питания через плазмолемму, усиление ферментативных систем, повышение адаптационных свойств растительного организма. При использовании гуминовых кислот в качестве регулятора роста растений физиологической активностью обладают не гуминовые кислоты, а их соли одновалентных щелочных металлов и аммония.

Гуматы используют в трех формах: гумат натрия, гумат калия и гумат аммония. Гуматы натрия и калия готовят путем насыщения торфа, соответственно, едким натрием или калием. Гумат аммония получают путем обработки сырья аммиачной водой. Наиболее удобно применять жидкую 5-10% безбалластную форму препарата. Расход гумата невелик. Для полива 5%-ный раствор разбавляют в соотношении 1:1000, а для обработки семян – 1:500, и лишь при обработке клубней и семян зерновых культур расход выше – 1:250. Опрыскивание растений проводят в период вегетации 2-4 раза.

В группу гуминовых соединений входит ряд препаратов под разными торговыми марками: агровиткор, гумат+7, гумми 30, гумат 80, гумисол, лигногумат, окси- и гидрогумат, торгогум, эффектон. В процессе их получения достаточно часто используются типичные органические удобрения или органосодержащие материалы природного происхождения.

Гуматы находят применение у любителей огородников и садоводов.

Контрольные вопросы:

1. Что такое сидеральные культуры, их перечень? 2. Формы зелёного удобрения, их значение. 3. Каков примерный состав зеленого удобрения? 4. Приемы выращивания и использования сидератов. 5. Какими способами используют люпин на зелёное удобрение? 6. В чем основные недостатки использования зеленого удобрения? 7. Приемы повышения эффективности разных сидератов. 8. Что вы знаете о соломе в качестве удобрения? 9. При использовании соломы как органического удобрения какие минеральные удобрения требуется вносить и почему? 10. Что такое сапропель и зачем он нужен? 11. Каковы условия эффективного использования сапропелей? 12. Что такое вермикомпосты? 13. Как используются кора и древесные опилки в качестве удобрений? 14. Что такое гуматы и их применение?

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Азот аммиачный 164,323, 333, 362, 364, 375, 418
Азот аммонийный 49, 153, 154, 156, 177, 300, 311, 316, 335, 341, 373, 380, 418
Азот биологический 161, 162, 418
Азот гидролизуемый 164
Азотное голодание растений 162, 163, 335
Азот органический в почвах 156, 418
Азот общий в почвах 155
Азотфиксация ассоциативная 82, 160, 161, 419
Азотфиксация биологическая 82, 160, 161, 419
Аммонификация 156, 186, 419
Баланс элементов питания 58
Баланс гумуса 77, 78, 321
Баланс азота в почвах 160
Баланс калия 226
Биогумус 319, 387,405-410
Биологическая поглотительная способность почвы 81, 419
Биологическая денитрификация 158,
Буферность почвы 63, 93, 94, 419
Вид минерального удобрения 17, 419
Вымывание питательного элемента из почвы 40, 91, 160, 226, 234, 419
Вынос элемента питания растениями - биологический, хозяйственный, остаточный 53, 54, 160
Гумус 69, 70, 74-80, 90, 112
Действующее вещество (д.в.) 17, 18, 421
Денитрификация 158, 159, 186
Динамика потребления питательных элементов 24, 59, 421
Динамика потребления азота 146
Динамика потребления калия 219
Динамика потребления фосфора 189
Древесная кора 403
Ёмкость поглощения катионов почвой 89, 421
Иммобилизация питательных элементов в почве 50, 160, 421
Калий в растениях 218, 219
Калий почвы валовой 221, 222, 422
Калий почвы обменный 223, 226, 421
Калий почвы фиксированный 224, 422
Калий почвы водорастворимый 224, 421
Калийное голодание 220
Кислотность почвы 23, 94, 107, 108, 108, 116, 117, 119, 138, 422
Кислотность почвы актуальная 102, 103, 422
Кислотность почвы гидролитическая 94, 104, 105, 112, 173, 208, 422
Кислотность почвы обменная 103, 104, 112, 124, 138, 422
Кислотность почвы потенциальная 103, 207, 208, 422
Макроэлементы:32, 67, 200, 232, 247, 295, 315, 346, 402
- бор 30, 248, 250, 249-258
- кобальт 30, 32, 200, 247, 248, 268-274, 294, 302, 371, 397
- марганец 30, 32, 289, 290-295
- медь 30, 110, 269, 274-281, 295
- молибден 7, 30, 46, 110, 113, 200, 247, 258-268
- цинк 30, 32, 56, 110, 247, 248, 278, 282-288, 294, 346, 371
Механическая поглотительная способность почвы 83, 425
Навоз подстилочный 322-339
Навоз бесподстилочный 344-350, 355, 356, 408
Навозная жижа 16, 319, 320, 357, 360, 372, 373
Нитрификация 157, 158, 423
Основное удобрение 63, 181, 200, 204, 209, 303, 308, 360, 364, 423
Обменная поглотительная способность 86, 425
Подкормка 63, 256, 264, 266, 273, 279, 287, 294, 410, 424
Помёт 16, 314, 318, 344, 36-365, 373, 378, 404, 406-408
Почвенная диагностика 64
Припосевное удобрение 63
Растительная диагностика питания растений 64, 65
Ретроградация 201
Сапропель 318, 402

Солома 325, 326, 334, 396, 397, 401
Торф 16, 33, 40, 365-386
Удобрения
- азотные 53, 69, 147, 167-185, 281
- борные 107, 253-258
- гуминовые 411, 412
- жидкие комплексные 298, 306
- зелёные 387-394
- известковые 16, 17, 100, 107, 114, 115, 116
- калийные 17, 30, 91, 102, 227-231, 234, 235, 313, 374
- кобальтовые 271, 272
- магниевые 236, 239, 240-245
- марганцевые 292, 293
- медные 278, 279
- микроудобрения 17, 247, 248
- минеральные 15, 16, 17, 50, 145, 206, 298, 320, 342, 385, 423
- молибденовые 262, 263
- органические 16, 33, 49, 118, 318-321, 412

- сложные 17, 196, 240, 297, 298, 300-304
- сложно-смешанные 297, 298, 304-310
- смешанные 298, 310-317
- фосфорные 17, 69, 194-206, 213, 214, 234, 243, 300, 338, 374
- цинковые 285, 286
Ультромикроэлементы 32, 425
Физиологическая уравновешенность 44
Физиологическая реакция удобрений 47
Физическая поглощательная способность почвы 83, 425
Форма минерального удобрения 17, 426
Фосфор почвы общий 192, 426
Фосфор почвы минеральный 193, 426
Фосфор почвы органический 193, 426
Химическая мелиорация почв 72
Химическая поглощательная способность почвы 84, 425
Элементы органогенные 27, 426

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И ПЕРСОНАЛИЙ (ГЛОССАРИЙ)

Агрономическая эффективность удобрений и мелиорантов – результат действия удобрений и мелиорантов, выраженный прибавкой натуральной основной продукции или прибавкой основной и побочной продукции, пересчитанной в зерновые или кормовые единицы в расчёте на гектар или на единицу удобрения и мелиоранта.

Агрохимическая характеристика почвы – совокупность химических и физико-химических показателей, характеризующих эффективное плодородие почв - уровень обеспеченности с.-х. растений элементами минерального питания и условиями роста.

Агроценоз – (агробиоценоз) – совокупность живых (растения, животные, насекомые и др.), косных (приземный слой атмосферы, солнечная энергия, кора выветривания), биокосных (почва, природные воды) и антропогенных (растения, удобрения, мелиоранты, пестициды и др.) компонентов природы и деятельности человека, обитающих на землях сельскохозяйственного и лесного пользования, занятых посевами или посадками культурных растений или древесных насаждений, взаимодействующих путём обмена вещества и потоков энергии в пределах однородного участка земной поверхности.

Адсорбция – процесс аккумуляции (повышения концентрации) вещества на поверхности сорбента.

Азот аммонийный – минеральный азот, находящийся в аммонийной форме.

Азот биологический - атмосферный азот, фиксированный симбиотическими и свободноживущими (несимбиотическими) микроорганизмами.

Азот валовой (общий) – сумма органического и минерального азота в почве, растениях или удобрениях.

Азот минеральный – сумма аммонийного, нитратного и нитритного азота почвы, растений или органических удобрений.

Азот негидролизуемый – часть общего (в основном органического) азота почвы, который не переходит в раствор (негидролизуются) при обработке её концентрированными растворами минеральных кислот или щелочей.

Азот нитратный – азот, находящийся в форме нитрат-иона.

Азот органический – азот, входящий в состав органических соединений почвы, растений или органических удобрений.

Азотфиксация – усвоение молекулярного азота атмосферы симбиотическими и свободноживущими (несимбиотическими) микроорганизмами.

Алюминий почвы подвижный – алюминий, переходящий из почвы в раствор нейтральной соли.

Аммоний необменный – аммоний, не переходящий в раствор при экстракции обменного аммония.

Аммоний обменный – аммоний, адсорбированный почвенным поглощающим комплексом, способный к эквивалентному замещению другими катионом.

Аммоний фиксированный – аммоний, закрепленный в межпакетном пространстве трехслойных глинистых минералов.

Аммонификация – разложение азотосодержащих органических веществ микроорганизмами с образованием аммиака.

Вид минерального удобрения – категория минерального удобрения, выделяемая по действующему веществу.

Баланс элементов – соотношение статей прихода и расхода питательного элемента в агроценозе. Абсолютные показатели баланса: положительный (со знаком «+»), если приход больше расхода на установленную величину (кг/га, г/м² д.в.); отрицательный или дефицитный (со знаком «–»), если приход меньше расхода на установленную величину; нулевой (уравновешенный, бездефицитный, со знаком «0»), если приход равен расходу.

Биологическая поглотительная способность почвы – поглощение растениями и почвенной микрофлорой элементов питания из почвы, внесенных удобрений и/или воздуха.

Буферность почвы – способность почвы поддерживать исходное содержание элементов питания, pH, температурный и водный режимы, биологическую активность и др. свойства и параметры.

Вымывание питательного элемента из почвы – передвижение растворимых элементов из верхних слоев почвы в нижележащие под действием фильтрующихся вод.

Вынос элемента питания растениями – общее количество питательного элемента, содержащегося в основной и побочной продукции, отчуждаемой с поля. Биологический вынос элементов – содержание во всех органах надземной и подземной частей убираемой культуры, включая корневые и пожнивные остатки растений, то есть в биологическом урожае. Хозяйственный вынос элементов – содержание в основной (товарной) и побочной продукции культуры, убираемых с

поля, то есть в хозяйственном урожае. Относительный вынос (затраты) элементов – содержание в единице (т) основной с соответствующим количеством побочной продукции убираемой культуры.

Гранулированное минеральное удобрение – минеральное удобрение, полученное путем гранулирования и состоящее, в основном, из частиц размером от 1 до 6 мм.

Гумификация – сложный биохимический процесс разложения органических остатков и одновременного синтеза высокомолекулярных гумусовых веществ (гуминовые кислоты, фульвокислоты и негидролизуемый остаток).

Гумус – часть органического вещества почвы, образующаяся при гумификации органических остатков.

Диагностика питания растений – определение условий и уровня обеспеченности растений питательными элементами. По объектам и методам анализов различают:

- диагностику дистанционную – определение условий и уровня минерального питания растений методами авиакосмической, фотометрической или радиолокационной съёмки с дешифрованием снимков по результатам аналогичной диагностики на эталонных (ключевых) участках;

- диагностику почвенную – определение условий и уровня минерального питания растений методами агрохимического анализа почв;

- диагностику растительную – определение условий и уровня минерального питания растений по состоянию и химическому составу целых растений, отдельных органов, компонентов клеток, или тканей. Поэтому растительная диагностика может быть:

- визуальная – определение условий и уровня минерального питания растений по их внешнему виду и биометрическим показателям;

- листовая – определение условий и уровня минерального питания растений по содержанию элементов в листьях;

- оперативная – определение условий и уровня минерального питания растений в сжатые сроки экспресс-методами в критические развития растений;

- стеблевая – определение условий и уровня минерального питания растений по содержанию элементов в отрезках стеблей полуколичественными методами;

тканевая – определение условий и уровня минерального питания растений по содержанию элементов в индикаторных органах или тканях растений;

функциональная – определение условий и уровня минерального питания растений по отзывчивости (реакции) живого растения, его органов или тканей на изменение факторов внешней среды.

Деградация почвы – ухудшение свойств и снижение плодородия почвы в результате воздействия природных или антропогенных факторов.

Действующее вещество (д.в.) – основной питательный элемент, содержащийся в удобрениях.

Динамика потребления питательных элементов – потребление элементов питания в течение вегетационного периода.

Доза удобрения (мелиоранта) – количество удобрения (мелиоранта), вносимого под конкретную культуру за один приём, которое выражают: при внесении минеральных удобрений в кг действующего вещества (д.в.) на гектар, в г д.в./м², мг/сосуд и др.; при внесении органических удобрений и мелиорантов в т/га, кг/м², г/сосуд.

Ёмкость катионного обмена почвы – количество катионов адсорбированных почвенным поглощающим комплексом почвы в обменном состоянии.

Ёмкость поглощения катионов почвой – максимальное количество обменных катионов, которые могут быть поглощены почвой из солевого раствора.

Иммобилизация питательных элементов в почве – переход питательных элементов почвы и удобрений из доступной в недоступную для питания растений форму.

Истощение почвы – обеднение почвы питательными веществами в результате их деградации или длительного выращивания сельскохозяйственных культур без внесения удобрений.

Калий почвы валовой – общее содержание калия в почве, выраженное в процентах или т/га.

Калий почвы водорастворимый – калий, переходящий из твердой фазы почвы в водную вытяжку.

Калий почвы необменный – недоступный растениям калий, входящий в состав кристаллической решетки или закрепленный в межпакетном пространстве первичных и вторичных минералов.

Калий почвы обменный – калий, переходящий в раствор при взаимодействии почвы растворами нейтральных солей.

Катионы почвы обменные – катионы, поглощенные высоко-дисперсной частью почвы, способные к обмену.

Кислотность почвы – свойство почвы, обусловленное преобладанием в почвенном растворе ионов водорода над гидроксонием, обменных ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе.

Кислотность почвы актуальная – кислотность почвенного раствора.

Кислотность почвы гидролитическая – кислотность почвы, проявляющаяся при обработке её раствором гидролитически щелочной соли.

Кислотность почвы обменная – кислотность почвы, проявляющаяся при обработке её раствором нейтральной соли.

Кислотность почвы потенциальная – кислотность почвы, обусловленная наличием ионов водорода и алюминия в поглощенном состоянии.

Кристаллическое удобрение – минеральное удобрение, полученное в виде кристаллов с размером более 0,5 мм.

Коэффициент использования питательного элемента почвы (КИП) – отношение количества элемента, вынесенного с хозяйственным урожаем культуры (B_0) к количеству (запасу) его (в усвояемой для растений форме) в почве (Z), который определяют по формуле:

$$КИП = \frac{B_0}{Z} \cdot 100$$
 и выражают в долях от единицы или в процентах (если умножают, как в формуле, на 100).

Коэффициент использования питательного элемента удобрения (КИУ) - отношение количества элемента, вынесенного с хозяйственным урожаем культуры, к общему количеству его, внесённому с удобрением.

Локальное внесение удобрений – внесение удобрений, которое обеспечивает его размещение очагами различной формы (лентами, в гнездо, в рядок).

Макроэлементы – химические элементы, содержащиеся в растениях в количестве от целых до сотых долей процента в расчете на сухое вещество.

Мелиорация почвы химическая – комплекс мероприятий, направленных на улучшение её агрохимических, агрофизических и биологических свойств посредством химических мелиорантов – извести или гипса.

Миграция элемента питания в почве – процесс перераспределения водорастворимых веществ в профиле почвы. Вертикальная нисходящая миграция веществ в почве реализуется путем многократных актов сорбции-десорбции.

Минерализация органических веществ в почве – микробиологические процессы разложение органических веществ в почве с образованием минеральных соединений.

Минерализация азота – разложение азотсодержащих органических соединений под влиянием микроорганизмов до аммиака и сопутствующих минеральных и органических соединений.

Минеральные удобрения – удобрения промышленного или ископаемого происхождения, содержащие питательные элементы в минеральной форме (соли).

Мобилизация питательных элементов в почве – переход минеральных и органических веществ почвы в доступную для питания растений форму.

Нитрификация – окисление аммонийных ионов нитрифицирующими бактериями до нитратов и нитритов.

Нитрификаторы – микроорганизмы, окисляющие аммоний до нитратов и нитритов.

Обменные основания почвы – обменные катионы, входящие в почвенный поглощающий комплекс.

Окультурирование почвы – совокупность мероприятий, направленных на улучшение, агрохимических, агрофизических и биологических свойств почвы.

Органическое вещество почвы – совокупность всех органических веществ, находящихся в форме гумуса и остатков животных и растений.

Основное внесение удобрений – внесение основной массы удобрения до посева и посадки.

ПДК – предельно допустимые концентрации химических элементов в почвах и растениях.

Питательный элемент – элемент удобрения, необходимый для роста и развития растений.

Плодородие почвы – способность почвы обеспечивать условия необходимые для жизни растений.

Поглощенные основания почвы – поглощенные катионы почвой, за исключением водорода.

Подкормка растений – внесение удобрений в период вегетации растений.

Подкисление почвы – увеличение кислотности почвы, вызванное почвообразовательным процессом, внесением физиологически кислых удобрений, отчуждением оснований с урожаем и другими видами воздействия.

Подщелачивание почвы – увеличение щёлочности почвы, вызванное почвообразовательным процессом, внесением физиологически щелочных удобрений, химических мелиорантов и другими видами воздействия.

Потери азота газообразные – потери азота почвы и удобрений вследствие улетучивания газообразных соединений азота.

Почвенный поглощающий комплекс (ППК) – совокупность минеральных, органических и органоминеральных частиц твердой фазы почвы, обладающих поглотительной и обменной способностью.

Разбросное внесение удобрений – внесение удобрения, которое обеспечивает сплошное его размещение по поверхности почвы разбрасывателями.

Рядковое внесение удобрений – внесение удобрений при посеве или посадке растений в рядки.

Свойства почвы агрохимические – совокупность химических свойств почвы, определяющих режим питательных веществ, превращение внесенных удобрений и условия питания растений.

Способ внесения удобрения – прием внесения удобрения под сельскохозяйственную культуру. По способам внесения различают допосевное (основное) удобрение, послепосевное удобрение (подкормка), припосевное (припосадочное) удобрение, обработка семян перед посевом.

Способность почвы азотфиксирующая – способность почвы связывать молекулярный азот, обусловленная жизнедеятельностью азотфиксирующих микроорганизмов.

Способность почвы денитрификационная – способность почвы переводить окисленные формы азота в газообразные соединения.

Способность почвы нитрификационная – способность почвы накапливать нитраты в результате жизнедеятельности микроорганизмов.

Способность почвы поглотительная – способность почвы поглощать ионы и молекулы различных веществ из раствора и удерживать их.

Способность почвы поглотительная механическая – способность почвы механически задерживать в тонких капиллярах мелкие твердые частицы, взвешенные в фильтрующейся через нее воде.

Способность почвы поглотительная обменная – свойство почвы удерживать на поверхности своих частиц ионы, способные к эквивалентному обмену.

Способность почвы поглотительная физическая – способность почвы удерживать на поверхности твердой фазы минеральные и органические вещества за счет молекулярных взаимодействий.

Способность почвы поглотительная химическая – способность почвы удерживать образовавшиеся в результате химических реакций необменно адсорбированные ионы и нерастворимые или труднорастворимые в воде соединения.

Степень насыщенности почвы основаниями – отношение суммы поглощённых оснований к ёмкости поглощения катионов, выраженное в процентах.

Сумма поглощённых оснований – общее количество поглощённых оснований в почве.

Технология внесения удобрений – комплекс последовательных производственных операций по внесению удобрения.

Трансформация азота в почве – переход одних форм соединений азота в другие.

Токсичность – высокая концентрация элементов в почвенном растворе останавливает рост корней и вызывает гибель растений.

Тяжелые металлы – химические элементы с относительной атомной массой более 40.

Удобрение – вещество, используемое для питания растений и воспроизводства плодородия почвы.

Удобрение физиологически кислое – удобрение, при внесении которого подкисляется почвенный раствор из-за преимущественного использования растениями катионов.

Удобрение физиологически щелочное – удобрение, при внесении которого подщелачивается почвенный раствор из-за преимущественного использования растениями анионов.

Ультрамикроэлементы – химические элементы, содержащиеся в растениях в количестве менее стотысячной доли процента в расчете на сухое вещество.

Фиксация аммонийного азота в почве – необменное связывание аммонийного азота почвы.

Форма минерального удобрения – характеристика вида удобрения по химическому составу.

Формы элементов подвижные – формы химических элементов, извлекаемые из почвы или субстратов различными вытяжками.

Фосфаты почвы остаточные – фосфаты, накопленные почвой в результате внесения фосфорных удобрений и взаимодействия их с почвой.

Фосфор почвы валовой – общее содержание фосфора в почве.

Фосфор почвы минеральный – часть фосфора почвы, представленная минеральными соединениями.

Фосфор почвы органический – фосфор, входящий в состав сложных органических соединений.

Химическая мелиорация почв – улучшение физико-химических свойств кислых и солонцовых почв путем проведения известкования и гипсования почв.

Экономическая эффективность удобрений и мелиорантов – результат действия удобрений и мелиорантов, выраженный в стоимостных показателях: чистый доход, производительность труда, окупаемость затрат, себестоимость продукции и др.

Энергетическая эффективность удобрений и мелиорантов (энергоотдача или биоэнергетический КПД) – отношение накопленной в прибавке продукции энергии к суммарным энергетическим затратам на производство, транспортировку, хранение и внесение удобрений (мелиорантов) и на уборку, транспортировку, доработку, хранение и реализацию этой прибавочной продукции.

Элемент питания – химический элемент, необходимый для роста и развития растений.

Элементы необходимые – химические элементы, без которых растения не могут полностью закончить цикл своего развития и не могут быть заменены другими элементами.

Элементы органогенные – химические элементы (С, О, Н, N), которые при нагревании (озолении) удаляются из материала в газообразной форме.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Авдонин, Н.С. Свойства почвы и урожай / Н.С. Авдонин. – М.: Колос, 1965. – 271 с.
2. Авдонин, Н.С. Научные основы применения удобрений / Н.С. Авдонин. – М., 1972. – 175 с.
3. Агрохимия / Под редакцией Б.А. Ягодина. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
4. Анспок, П.И. Справочник агрохимика Нечерноземной полосы / П.И. Анспок, Ю.А. Штиканс, Р.Р. Визла. – Л.: Колос, 1981. – 328 с.
5. Безносков, А.И. Урожай озимой ржи и эффективность суперфосфата в зависимости от содержания подвижного фосфора в почве / А.И. Безносков. // Химия в сельском хозяйстве. – 1973. – №9. – С. 13-14.
6. Васильев, В.А. Справочник по органическим удобрениям / В.А. Васильев, Н.В. Филиппова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 255 с.
7. Вендило Г.Г. Удобрение овощных культур: справочное руководство / Г.Г. Вендило, Т.А. Миконаев, В.Н. Петриченко, А.А. Скаржинский. – М.: Агропромиздат, 1986. 206 с.
8. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 237 с.
9. Державин, Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии / Л.М. Державин. – М.: Колос. 1992. – 272 с.
10. Державин, Л.М. Составление проекта на составление удобрений: рекомендации / Л.М. Державин, И.В. Колокольцева, Н.К. Скворцов. – М.: Ростинформагротех, 2000. – 155 с.
11. Дерюгин, И.П. Питание и удобрение овощных и плодовых культур / И.П. Дерюгин, А.Н. Кулюкин. – М.: МСХА, 1998. – 326 с.
12. Ефимов, В.Н. Торф в сельском хозяйстве Нечернозёмной зоны / В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, Л.М. Кузнецова и др.; сост. В.Н. Ефимов. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.
13. Журбицкий, З.И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений / З.И. Журбицкий – М.: АН СССР, 1963. – 293 с.
14. Кидин, В.В. Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур: учебное пособие / В.В. Кидин. – М.: Изд-во РГАУ–МСХА, 2009. – 412 с.
15. Кидин, В.В. Система удобрения: учебник / В.В. Кидин. – М.: Изд-во РГАУ–МСХА, 2012. – 534 с.
16. Ковальский, В.В. Геохимическая экология / В.В. Ковальский. – М.: Знание, 1969. – 64 с.
17. Ковальский, В.В. Микроэлементы в почвах СССР / В.В. Ковальский, Г.А. Андрианов. – М.: Наука, 1970. – 180 с.
18. Колосов, Н.А. Влияние кислой реакции среды на растения / Н.А. Колосов // Агрохимия. – 1965. – № 2. – С. 81-86.
19. Коротаев, Н.Я. Почвы Пермской области / Н.Я. Коротаев – Пермь, 1962. – 271 с.
20. Корляков, Н.А. Влияние молибдена и бора на увеличение сбора кормового протеина при культуре бобовых / Н.А. Корляков. // Тр. Пермского СХИ, т. 39. – Пермь, 1968. – С. 285-298.

21. Кротких Т.А. Эколого-агрохимические основы применения удобрений в Среднем Предуралье]: учебное пособие / Т.А. Кротких, Л.А. Михайлова,
22. А.С. Пискунов; под редакцией Т.А. Кротких; М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО «Пермская ГСХА». – Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2012. – 379 с.
23. Кулаковская, Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т.Н. Кулаковская – М.: Агропромиздат, 1990. – 219 с
24. Ламанов, А.А. О применении цинка, меди и марганца для удобрений некоторых сельскохозяйственных культур в условиях Пермской области: Автореф. дис...канд. с.- х. наук / А.А. Ламанов. – Пермь, 1967 – 23 с.
25. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения – М.: Росинформагротех, 2003. – 240 с.
26. Минеев, В.Г. Агрохимия: учебник. / В.Г. Минеев. – М.: Из-во Моск. Ун-та; Наука, 3-е изд., 2006. – 720 с
27. Небытов, В.Г. Влияние фосфорных удобрений и их длительного последствия на устойчивость озимой ржи к неблагоприятным погодным условиям. / В.Г. Небытов. //Агрохимия. 2005. - № 2. – С. 27-32.
28. Олехов, В.Р. Эффективность обожженного магнезита на дерново-подзолистых почвах Предуралья: Автореф. дис...канд. с.- х. наук / В.Р. Олехов. – Омск, 1999. – 16 с.
29. Панников, В. Д. Погода, климат, удобрения и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. Изд. 2-е и дополн. - М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.
30. Петухов, М.П. Применение удобрений в Предуралье./ М.П. Петухов, В.Н. Прокошев – Пермь: Пермское книжное издательство, 1964. – 365 с.
31. Пискунов, А.С. Азотный режим дерново-подзолистых почв и условия эффективного использования азотных удобрений под зерновые культуры в Предуралье: Автореф. дис...докт. с.- х. наук / А.С. Пискунов. – М., 1988. – 31 с.
32. Прокошев, В.Н. Об эффективности фосфорных удобрений на посевах озимой ржи в условиях Пермской области / В.Н. Прокошев, К.А. Гусева // Химия в сельском хозяйстве.– 1970. – № 11. – С. 2-7.
33. Прокошев, В.Н. Вопросы известкования тяжелых почв Предуралья / В.Н. Прокошев, С.И. Попова //Сб.: Вопросы известкования кислых почв.- Материалы координац. Совещ. – Пермь, 1976. – Вып. 3. – С. 87-90.
34. Сигаркин, С.С. Особенности действия удобрений на дерново-подзолистых почвах / С.С. Сигаркин. // Земледелие. – 1963. - №9. – С. 3-7.
35. Чунарёв, М.Л. Изучение эффективности сложных гранулированных удобрений при местном внесении под яровую пшеницу и картофель: автореф. дис... канд. с. – х. наук. / М.Л. Чунарёв. – Пермь, 1970. – 26 с.
36. Шеуджен, А.Х. Агрохимия: учебное пособие / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. 2-е изд., перераб. и доп. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – С. 766-852.
37. Школьник, М.Я. Значение микроэлементов в жизни растений и в земледелии / Я.М. Школьник. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 512 с.
38. Ягодин, Б.А. Микроэлементы в овощеводстве / Б.А. Ягодин. – М.: Колос, 1964.
39. Ягодин, Б.А. Кобальт в жизни растений / Б.А. Ягодин. – М.: Наука, 1970. – 312 с.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

а) основная литература

1. Кидин В.В. Система удобрения: учебник для бакалавров / В.В. Кидин. - Москва: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012. – 479 с.
2. Кротких Т.А. Эколого-агрохимические основы применения удобрений в Предуралье: <учебное пособие> / Т.А. Кротких, Л.А. Михайлова; рец.: С.Л. Елисеев, А. И. Косолапова. - Пермь : Пермская ГСХА, 2013. – 298 с.
3. Михайлова Л.А. Особенности питания и удобрение основных сельскохозяйственных культур на почвах Предуралья : учебное пособие / Л А. Михайлова, Т.А. Кротких; ред. Л.А. Михайлова - Пермь: Пермская ГСХА, 2012. – 223 с.
4. Практикум по агрохимии / Под общей ред. В.В. Кидина. – М.: Колос, 2008. – 512 с.

б) дополнительная литература:

1. Агрохимия: учебник. / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во Моск. ун-та, Наука, 2006. – 720 с.
2. Кидин В.В. Основы питания растений и применения удобрений. / В.В. Кидин. – М.: изд-во РГАУ-МСХА, 2008. – Ч. 1. – 415 с.
3. Кидин В.В. Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур. /Кидин В.В. – М.:изд. РГАУ-МСХА, 2009. – 412 с.

Учебное издание
Михайлова Людмила Аркадьевна

АГРОХИМИЯ

Часть 1
Удобрения: виды, свойства, химический состав

Курс лекций

Подписано в печать 10.12.2015. Формат 60×84¹/₁₆
Усл. печ. л 26,62. Тираж 50 экз. Заказ № 133

ИПЦ «Прокростъ»
Пермской государственной сельскохозяйственной академии
имени академика Д.Н. Прянишникова,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23
тел. (342) 210-35-34